



MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

DIVISIÓN TÉCNICA DE ESTUDIO Y FOMENTO HABITACIONAL



CÓDIGO DE NORMAS Y  
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE  
OBRAS DE PAVIMENTACIÓN

VERSIÓN 2008



GOBIERNO DE CHILE  
**MINVU**

Publicación N° 332 octubre 2008 Santiago Chile  
CDU: 625.712

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO  
DIVISION TECNICA DE ESTUDIO Y FOMENTO HABITACIONAL

Colección: Monografías y Ensayos

Serie II: Tecnología de la Construcción

Título: Código de Normas y Especificaciones  
Técnicas de Obras de Pavimentación

Editor: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.  
División Técnica de Estudio y Fomento  
Habitacional

Publicación: N° 332

CDU: 625.712

Santiago de Chile, Octubre 2008

Por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo han participado los siguientes profesionales:

Jaime Téllez Téllez  
Departamento de Desarrollo Urbano  
SEREMI MINVU REGIÓN METROPOLITANA

Joel Prieto Villarreal  
Subdirección de Pavimentación y Obras Viales  
SERVIU METROPOLITANO

Alfonso Bolado López  
División Técnica de Estudios-MINVU

María Esperanza Ávila Valenzuela  
División Técnica de Estudios-MINVU

En este trabajo han colaborado además los siguientes profesionales:

Carlos Wahr Daniel  
Jefe y Coordinador del Estudio  
Diseño y Construcción de Pavimentos

Gabriela Eguiluz Rodríguez  
Cristián Masana Petersen  
Pavimentos de hormigón

Oscar Plaza Plaza  
Darío Cabrera Valencia  
Pavimentos asfálticos

Gonzalo Benavides Oyedo  
Diseño Hidráulico y  
Obras Anexas

Miguel Petersen Acevedo  
Mecánica de suelos

CÓDIGO DE NORMAS Y  
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS  
DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO  
DIVISIÓN TÉCNICA DE ESTUDIO Y FOMENTO HABITACIONAL



## I PRESENTACIÓN

En el año 1982 se publicó la primera edición del Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación. En la Presentación del mismo, se decía que el objeto buscado era el de poder disponer de un texto convenientemente ordenado que unificara la normativa técnica para el diseño, construcción y conservación de los pavimentos urbanos, sirviendo al mismo tiempo como un medio de consulta de carácter general dentro del campo de su aplicación.

Luego de un periodo de doce años, durante el cual se pudo apreciar que el Código cumplía en gran medida con el objetivo señalado, y que realmente logró satisfacer una necesidad que se hacía sentir entre los funcionarios técnicos del Sector, como asimismo entre los contratistas y constructores que trabajan en el campo de esta especialidad, se publicó la segunda versión del Código, introduciendo algunas modificaciones necesarias para ponerlo al día con las técnicas constructivas y de diseño de pavimentos, existentes hasta ese entonces.

Desde 1994 a la fecha, se ha hecho necesario actualizar dichas técnicas de acuerdo a las nuevas tecnologías y procedimientos existentes hoy en día en el país. Por esta razón, se ha considerado necesario realizar una tercera edición del Código, la cual permitirá que el diseño y construcción de obras de pavimentación, vayan de la mano con el Estado del Arte de la Ingeniería y Construcción actual.

El contenido de este Código se presenta en forma similar a las ediciones anteriores, con una Primera Parte que contiene las Especificaciones de Construcción de Pavimentos, una Segunda Parte que contiene las Normas de Diseño y finalmente una Tercera Parte, donde se presentan los Apéndices ya existentes en la versión anterior, junto con una serie de Anexos, los cuales complementan y permiten una mejor comprensión de los temas tratados en el presente Código.

En esta oportunidad se desea reiterar lo expresado en la Presentación de las anteriores ediciones, solicitando a los usuarios de este Código, hagan llegar a la División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional del Ministerio, los comentarios y observaciones que estimen convenientes.

Santiago, 2008.



## II INDICE

### SECCIÓN 1. INTRODUCCIÓN

ART. 1.1 GENERALIDADES .....	1
ART. 1.2 PARTE I “CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS” .....	1
ART. 1.3 PARTE II “DISEÑO DE PAVIMENTOS Y OBRAS ANEXAS” .....	2
ART. 1.4 PARTE III: “APÉNDICES Y ANEXOS” .....	3

### PRIMERA PARTE: CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS

#### SECCIÓN 2. MOVIMIENTO DE TIERRAS

ART. 2.1. DEFINICIÓN .....	7
ART. 2.2. REPLANTEO GEOMÉTRICO .....	7
ART. 2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS .....	7
ART. 2.4. EXCAVACIÓN EN CORTE .....	8
ART. 2.5. RELLENOS .....	8
ART. 2.6. SUB-RASANTE NATURAL .....	9
ART. 2.7. SUB-RASANTE MEJORADA .....	9
ART. 2.8. CONTROLES .....	10
ART. 2.9. ESTABILIZACIÓN DE SUB-RASANTE .....	11

#### SECCIÓN 3. BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

ART. 3.1. DEFINICIÓN .....	21
ART. 3.2. SUBBASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS .....	21
ART. 3.3. BASES GRANULARES PARA CARPETAS ASFÁLTICAS .....	25
ART. 3.4. BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS DE HORMIGÓN .....	30
ART. 3.5. BASES ESTABILIZADAS CON CEMENTO .....	34
ART. 3.6. BASES ESTABILIZADAS CON ESTABILIZADORES QUÍMICOS .....	34

#### SECCIÓN 4. PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

ART. 4.1. DEFINICIÓN Y ALCANCE .....	35
ART. 4.2. MATERIALES .....	35
ART. 4.3. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN .....	36
ART. 4.4. FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN .....	37
ART. 4.5. TRANSPORTE DEL HORMIGÓN .....	38





ART. 4.6. CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO .....	38
ART. 4.7. ENTREGA DEL PAVIMENTO AL TRÁNSITO .....	48
ART. 4.8. CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN .....	48
 <b>SECCIÓN 5. PAVIMENTOS ASFÁLTICOS</b>	
ART. 5.1. GENERALIDADES .....	55
ART. 5.2. MATERIALES ASFÁLTICOS .....	55
ART. 5.3. AGREGADOS PÉTREOS .....	79
ART. 5.4. RIEGO DE IMPRIMACIÓN .....	80
ART. 5.5. RIEGO DE LIGA .....	84
ART. 5.6. RIEGO DE NEBLINA .....	86
ART. 5.7. RIEGOS MATAPOLVOS .....	90
ART. 5.8. LECHADA ASFÁLTICA Y MICROPAVIMENTO .....	90
ART. 5.9. SELLO DE AGREGADOS. ....	99
ART. 5.10. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO .....	110
ART. 5.11. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE .....	116
ART. 5.12. NORMAS ADICIONALES SOBRE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS .....	139
 <b>SECCIÓN 6. PAVIMENTOS CONSTRUÍDOS CON ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN</b>	
ART. 6.1 CONDICIONES GENERALES .....	143
ART. 6.2 ADOQUINES .....	145
ART. 6.3 PASTELONES .....	154
ART. 6.4 BALDOSAS .....	157
ART. 6.5 SOLERAS .....	163
ART. 6.6 SOLERILLAS .....	168
ART. 6.7 SOLERAS CON ZARPA .....	173
ART. 6.8 SOLERAS HECHAS EN SITIO SOBRE CALZADA DE HORMIGÓN .....	176
 <b>SECCIÓN 7. OBRAS COMPLEMENTARIAS</b>	
ART. 7.1 ALCANCE .....	177
ART. 7.2 DIVERSOS TRABAJOS DE DEMOLICIÓN O EXTRACCIÓN .....	177
ART. 7.3 RECONSOLIDACIÓN DE ZANJAS Y EXCAVACIONES EN GENERAL .....	178
ART. 7.4 EVACUACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES .....	178
ART. 7.5 OBRAS DE DRENAJE .....	180



ART. 7.6 MUROS DE CONTENCIÓN .....	181
ART. 7.7 LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO .....	184
ART. 7.8 EMPAREJAMIENTO DE VEREDONES .....	185
 <b>SECCIÓN 8. ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS</b>	
ART. 8.1. GENERALIDADES .....	187
ART. 8.2. DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS .....	187
ART. 8.3. PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN DE ACCIONES DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y REPOSICIÓN .....	189
ART. 8.4. EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA DE PAVIMENTOS .....	190
 <b>SECCIÓN 9. CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN, ADOQUINES Y BALDOSAS</b>	
ART. 9.1 GENERALIDADES .....	209
ART. 9.2 MÉTODOS APLICABLES A LAS OBRAS DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS .....	209
ART. 9.3 REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS .....	209
ART. 9.4 TIPOS DE FALLA Y TRABAJOS A EJECUTAR EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN .....	210
ART. 9.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA REPARACIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS URBANOS DE HORMIGÓN .....	220
ART. 9.6 CONSERVACIÓN Y REPARACIÓN DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES .....	236
ART. 9.7 CONSERVACIÓN Y REPARACIÓN DE VEREDAS DE HORMIGÓN Y BALDOSAS .....	238
 <b>SECCIÓN 10. CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS</b>	
ART. 10.1 INTRODUCCIÓN .....	239
ART. 10.2 PRINCIPALES DETERIOROS DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS .....	240
ART. 10.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE TRABAJOS DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS .....	253
 <b>SECCIÓN 11. CONSERVACIÓN Y REPOSICIÓN DE BASES, SUBBASES Y SUBRASANTES</b>	
ART. 11.1 REPOSICIÓN DE BASES Y SUB-BASES .....	265
ART. 11.2 REPOSICIÓN DE MATERIALES DE SUELOS EN ÁREAS NO PAVIMENTADAS .....	266
ART. 11.3 TÚNELES BAJO PAVIMENTO .....	266
ART. 11.4 VEREDAS DE ASFALTO .....	266
ART. 11.5 CALZADAS DE AFIRMADO PÉTREO O GRANULAR .....	267
ART. 11.6 CONSERVACIÓN DE CALZADAS EN TIERRA .....	268



## SEGUNDA PARTE: DISEÑO DE PAVIMENTOS Y OBRAS ANEXAS

### SECCIÓN 12. MECÁNICA DE SUELOS

ART. 12.1. EL SUELO COMO FUNDACIÓN DEL PAVIMENTO .....	273
ART. 12.2. NATURALEZA Y ORIGEN DE LOS SUELOS .....	273
ART. 12.3. RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS DE LOS SUELOS .....	274
ART. 12.4. GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS .....	275
ART. 12.5. PERMEABILIDAD .....	276
ART. 12.6. RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACIÓN .....	277
ART. 12.7. TEORÍA DE LA CONSOLIDACIÓN .....	278
ART. 12.8. ESFUERZO DE CORTE EN LOS SUELOS .....	279
ART. 12.9. PRUEBAS ESPECIALES EN LA TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS .....	280
ART. 12.10. CLASIFICACIÓN DE SUELOS .....	284
ART. 12.11. COMPACTACIÓN DE SUELOS .....	284
ART. 12.12. MÉTODOS DE COMPACTACIÓN EN EL TERRENO .....	285
ART. 12.13. PRUEBAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO .....	288
ART. 12.14. ENSAYOS MÍNIMOS PARA EL ÁREA MECÁNICA DE SUELOS .....	289

### SECCIÓN 13. ESTUDIOS DE TRÁNSITO

ART. 13.1. VOLÚMENES DE TRÁNSITO .....	291
ART. 13.2. PROCEDIMIENTOS PARA MEDICIÓN DE TRÁNSITO .....	294
ART. 13.3. SOLICITACIONES DE TRÁNSITO (DISEÑO EMPÍRICO MECANICISTA) .....	296
ART. 13.4. LOS VEHÍCULOS .....	303

### SECCIÓN 14. DISEÑO GEOMÉTRICO DE PAVIMENTOS

ART. 14.1. ANCHO NECESARIO DE CALZADAS Y VEREDA .....	305
ART. 14.2. USO DE SOLERAS Y OTROS ELEMENTOS DE CONFINAMIENTO .....	305
ART. 14.3. CRUCES A NIVEL Y A DIFERENTE NIVEL .....	306
ART. 14.4. CURVAS HORIZONTALES .....	309
ART. 14.5. CURVAS DE TRANSICIÓN .....	309
ART. 14.6. DISEÑO GEOMÉTRICO DE LAS JUNTAS EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN .....	310
ART. 14.7. ESTACIONAMIENTOS .....	310
ART. 14.8. TRAZADO DE LA RASANTE, PENDIENTES LONGITUDINALES .....	311



ART. 14.9. CURVAS VERTICALES .....	312
ART. 14.10. PERFILES TRANSVERSALES DE CALZADAS EN CALLES .....	312
ART. 14.11. PERFILES TRANSVERSALES DE PASAJES Y ACERAS .....	313
ART. 14.12. PERALTE EN CURVAS HORIZONTALES .....	314
ART. 14.13. TRANSICIÓN DE PERALTE .....	314
<b>SECCIÓN 15. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS RÍGIDOS</b>	
ART. 15.1 GENERALIDADES .....	317
ART. 15.2 TIPOS DE PAVIMENTOS .....	317
ART. 15.3 ASPECTOS GENERALES .....	318
ART. 15.4 METODOLOGÍA DE DISEÑO MECANICISTA PARA PAVIMENTOS DE HORMIGÓN EN PASAJES, CALLES LOCALES Y DE SERVICIO .....	327
ART. 15.5 METODOLOGÍA DE DISEÑO EMPÍRICO-MECANICISTA PARA PAVIMENTOS DE HORMIGÓN EN VÍAS EXPRESAS, TRONCALES Y COLECTORAS .....	334
ART. 15.6 CARTILLAS DE DISEÑO .....	346
<b>SECCIÓN 16. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES</b>	
ART. 16.1. GENERALIDADES .....	353
ART. 16.2. MÉTODO AASHTO 93 .....	354
ART. 16.3. MÉTODO EMPÍRICO MECANICISTA .....	361
ART. 16.4. ZONIFICACIÓN TERRITORIAL .....	365
ART. 16.5. CARTILLAS DE DISEÑO .....	366
<b>SECCIÓN 17. DISEÑO DE MEZCLAS PARA HORMIGÓN ASFÁLTICO Y CAPAS DE PROTECCIÓN ASFÁLTICAS</b>	
ART. 17.1. CAPAS ASFÁLTICAS ESTRUCTURALES .....	369
ART. 17.2. INTRODUCCIÓN .....	369
ART. 17.3. AGREGADOS PÉTREOS .....	370
ART. 17.4. FILLER .....	370
ART. 17.5. MATERIALES ASFÁLTICOS .....	370
ART. 17.6. DISEÑO PATRÓN .....	370
ART. 17.7. CAPAS ASFÁLTICAS DE PROTECCIÓN .....	371
<b>SECCIÓN 18. DISEÑO DE OBRAS DE TIERRA, TALUDES EN CORTE Y TERRAPLENES</b>	
ART. 18.1. DEFINICIÓN Y OBJETIVO .....	373
ART. 18.2. TIPOS DE FALLAS .....	373





ART. 18.3. FALLA ROTACIONAL .....	374
ART. 18.4. FALLA TRASLACIONAL .....	376
ART. 18.5. FACTORES DE SEGURIDAD .....	377
ART. 18.6. GRÁFICOS PARA LA DESCRIPCIÓN Y CÁLCULO DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO .....	377
<b>SECCIÓN 19. DISEÑO ESTRUCTURAL, ALCANTARILLAS, PUENTES Y LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO</b>	
ART. 19.1 DISEÑO ESTRUCTURAL DE ALCANTARILLAS .....	379
ART. 19.2 DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTES Y LOSAS .....	381
<b>SECCIÓN 20. DISEÑO ESTRUCTURAL MUROS DE CONTENCIÓN</b>	
ART. 20.1 GENERALIDADES .....	385
ART. 20.2 EMPUJE DE TIERRAS .....	385
ART. 20.3 GRÁFICOS Y TABLAS DE DISEÑO DE MUROS DE HORMIGÓN ARMADO .....	389
ART. 20.4 CÁLCULOS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS DE CONTENCIÓN .....	389
ART. 20.5 FACTORES DE SEGURIDAD .....	390
ART. 20.6 MUROS GRAVITACIONALES .....	392
ART. 20.7 MUROS ESTRUCTURALES .....	392
ART. 20.8 DRENAJE DE LOS MUROS DE RETENCIÓN .....	393
ART. 20.9 CARACTERÍSTICAS DEL RELLENO .....	394
<b>SECCIÓN 21. DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS EN SECTORES URBANOS</b>	
ART. 21.1 DEFINICIÓN Y OBJETIVO .....	395
ART. 21.2 CLIMA .....	395
ART. 21.3 OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL .....	398
ART. 21.4 OBRAS DE SUBDRENAJE .....	411
<b>SECCIÓN 22. DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS EN SECTORES URBANOS. DISEÑO HIDRÁULICO</b>	
ART. 22.1 ESCURRIMIENTOS ABIERTOS .....	415
ART. 22.2 ESCURRIMIENTOS CERRADOS .....	433



## TERCERA PARTE

### APÉNDICE I DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS ANTECEDENTES

ANTECEDENTES QUE CONFORMAN EL PROYECTO: .....	441
---	-----

### APÉNDICE II

NORMAS DEL INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN CITADAS EN EL TEXTO .....	445
NORMAS ASTM: .....	448
NORMAS NLT: .....	449
NORMAS AASHTO: .....	450
NORMAS UNE: .....	450

### APÉNDICE III

LÁMINAS TIPO .....	451
--------------------	-----

### ANEXOS

ART.A 2.1 SUELOS DE SUBRASANTE ESTABILIZADOS EN SITIO CON CEMENTO O CAL .....	571
ART.A 2.2 SUELOS DE SUBRASANTE CON ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN SITIO .....	586
ART.A.5.1. RECICLADO EN PLANTA EN CALIENTE DE CAPAS ASFÁLTICAS .....	603
ART.A.5.2. ENSAYOS Y MÉTODOS PARA ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS EMPLEADOS EN PAVIMENTOS .....	613
ART.A.5.3. ENSAYOS PARA AGREGADOS PÉTREOS. ....	620
ART.A 12.1 PLASTICIDAD .....	625
ART.A 13.1. ESTIMACIÓN DEL TMDA A PARTIR DE MUESTRAS .....	627
ART.A 13.2. CLASIFICACIÓN DE VÍAS URBANAS .....	631
ART.A.15.1. DESARROLLO DEL MÉTODO AASHTO 98 .....	637
ART.A.15.2. CARTILLA PROPUESTA PARA VÍAS COLECTORAS, TRONCALES Y EXPRESAS .....	649
ART.A.15.3. INSTRUCCIONES PARA EMPLEO DE CARTILLAS DE DISEÑO .....	651
ART.A.15.4. TENSIÓN DE TRACCIÓN DADA POR LA ACCIÓN COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA <sup>(1)</sup> . ....	652
ART.A.15.5. FACTORES DE EQUIVALENCIA PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS .....	658
ART.A 16.1. CARTILLAS DE DISEÑO .....	665
ART.A 16.2. DISEÑO DE VÍAS COLECTORAS, TRONCALES Y EXPRESAS .....	666
ART.A 16.3. INSTRUCCIONES PARA EMPLEO DE CARTILLAS DE DISEÑO .....	676



### III SÍMBOLOS DE UNIDADES

<i>m</i>	Metros
<i>m</i> <sup>2</sup>	Metros cuadrados
<i>m</i> <sup>3</sup>	Metros cúbicos
<i>ml</i>	Metro lineal
<i>cm</i>	Centímetros
<i>cm</i> <sup>2</sup>	Centímetros cuadrados
<i>cm</i> <sup>3</sup>	Centímetros cúbicos
<i>mm</i>	Milímetros
<i>mm</i> <sup>2</sup>	Milímetros cuadrados
<i>km</i>	Kilómetros
<i>km</i> <sup>2</sup>	Kilómetros cuadrados
" ó <i>in</i>	Pulgadas
<i>pulg</i> <sup>2</sup>	Pulgadas cuadradas
<i>pulg</i> <sup>3</sup>	Pulgadas cúbicas
<i>pulg</i> <sup>4</sup>	Pulgadas cuartas
<i>L</i>	Litros
<i>g</i>	Gramos
<i>kg</i>	Kilogramos
<i>t</i>	Toneladas
<i>kgf</i>	Kilogramo-fuerza
<i>N</i>	Newton
<i>kN</i>	Kilo Newton
<i>MPa</i>	Mega Pascales
° <i>C</i>	Grados Celsius
° <i>F</i>	Grados Fahrenheit
<i>h</i>	Horas
<i>min</i>	Minutos
<i>seg</i>	Segundos
<i>Hz</i>	Hertz
<i>grad</i>	Gradianes
<i>kip</i>	Kilo Libra-fuerza
<i>lbf</i>	Libra-fuerza



## SECCIÓN 1. INTRODUCCIÓN

### ART. 1.1 GENERALIDADES

En toda obra de pavimentación existen normas de procedimientos que tienen por objeto alcanzar los mejores resultados en los diversos aspectos relacionados con ella, como son: la estética, la funcionalidad, la resistencia estructural y la duración. Cada especialidad de la construcción posee, en tal sentido, normas o especificaciones propias.

El Código de Normas y Especificaciones Técnicas de obras de Pavimentación reúne las especificaciones aplicables a las Obras de Pavimentación Urbana, es decir, a las que se ejecutan dentro del radio urbano de todas las Comunas del país (con excepción de la Comuna de Santiago), en todos los casos en que, de acuerdo a la legislación vigente, están sometidas a la Supervisión de los Servicios de Vivienda y Urbanización (SERVIU).

Primera Parte: “Construcción y Conservación de Pavimentos” presenta Especificaciones Técnicas para la construcción, reparación y conservación de pavimentos urbanos rígidos y flexibles.

Segunda Parte: “Diseño de Pavimentos y Obras Anexas” presenta los principios básicos que son base de los estudios de suelo, tránsito, diseño geométrico y estructural de pavimentos rígidos y flexibles, su diseño de aguas lluvias y respectivas obras anexas.

La Tercera Parte: “Apéndices y Anexos” presenta una serie de especificaciones tanto de construcción como de diseño, las cuales complementan y permiten un mejor entendimiento de las secciones que conforman el presente Código.

Este documento está destinado al uso de particulares y profesionales independientes, de profesionales de la División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional, División de Política Habitacional, División de Desarrollo Urbano, Servicios Regionales de Vivienda y Urbanización del MINVU, Direcciones de Obras Municipales de todo el país, Arquitectos, Proyectistas, Constructores, docencia universitaria y el sector privado inmobiliario.

### ART. 1.2 PARTE I “CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS”

Las siguientes secciones se han actualizado de manera que faciliten especificar la construcción de una obra urbana de pavimentación:

Sección 2 *Movimiento de tierras*. Puede emplearse como una especificación técnica para los trabajos a efectuar en la subrasante. Se ha incluido un artículo destinado a orientar en la selección de técnicas de estabilización de suelos.

Sección 3 *Bases y Subbases de Pavimentos*. Se han redactado los artículos de esta sección de manera que puedan emplearse como especificación de subbase y bases de pavimentos flexibles y rígidos.

Sección 4 *Pavimentos de Hormigón*. Se ha preferido no repetir textos de la norma chilena de hormigones, sino referirse a ellas. Se incorpora una especificación de moldes deslizantes.

Sección 5 *Pavimentos Asfálticos*. Se han incorporado los materiales asfálticos en uso hoy en el país, facilitando su empleo, ya que cada artículo que describe una aplicación puede ser empleado como una especificación de construcción o conservación de pavimentos flexibles.



Sección 6 *Pavimentos contruídos con elementos prefabricados de hormigón*. En esta sección sólo se ha actualizado la especificación de baldosas.

Sección 7 *Obras complementarias*. Se mantiene esta sección según la versión anterior del Código.

Sección 8 *Estrategias de conservación, reparación y reposición de pavimentos*. Se cambia el nombre original (Conservación y reposición de pavimentos) y se entrega una definición de las estrategias y procedimientos para ejecutar las acciones de conservación, reparación y reposición de pavimentos. Se incorpora una descripción de la evaluación no destructiva de pavimentos.

Sección 9 *Conservación, reparación y reposición de pavimentos de hormigón, adoquines y baldosas*. Se definen las acciones de conservación, reparación y reposición, asociadas a los deterioros de los pavimentos de hormigón. Se describen las técnicas de reparación en forma de especificaciones constructivas.

Sección 10 *Conservación, reparación y reposición de pavimentos asfálticos*. Se definen las acciones de conservación, reparación y reposición asociadas a los deterioros de los pavimentos asfálticos y se describen las técnicas a aplicar en forma de especificaciones de construcción.

Sección 11 *Conservación y reposición de bases, sub-bases y subrasantes*. Se adecúan los materiales empleados a los descritos en secciones anteriores.

## **ART. 1.3 PARTE II “DISEÑO DE PAVIMENTOS Y OBRAS ANEXAS”**

Las secciones incluídas en esta segunda parte, se han actualizado de manera que presenten en forma resumida los principios básicos del diseño de pavimentos.

Sección 12 *Mecánica de suelos*. En general, sólo se detalla en forma más extensa el concepto de módulo resiliente y se incorporan recomendaciones relativas a la compactación.

Sección 13 *Tránsito*. En esta sección se amplían los conceptos incluídos, de manera que sirvan de apoyo para la evaluación de la factibilidad de un proyecto, en el diseño geométrico, en estudios de capacidad vial, impacto vial, y diseño estructural de un pavimento.

Sección 14 *Diseño geométrico de pavimentos*. Se mantiene esta sección según la versión anterior.

Sección 15 *Diseño estructural de pavimentos rígidos*. Se incorpora el método de diseño AASHTO 98 y se describen los fundamentos empírico-mecanicistas para el desarrollo del diseño estructural de Pasajes, Calles Locales y de Servicio. A modo de sugerencia se presenta una Cartilla de Diseño para dichas vías.

Sección 16 *Diseño estructural de pavimentos flexibles*. Se presenta el método AASHTO 93 para pavimentos flexibles y se describen los fundamentos empírico-mecanicistas para el diseño estructural de pavimentos flexibles de Pasajes, Calles Locales y de Servicio. A modo de sugerencia se propone una Cartilla de Diseño.

Sección 17 *Diseño de mezclas para hormigón asfáltico y capas de protección asfálticas*. Se reorganiza esta sección con relación a la versión anterior, ya que parte de los diseños de mezclas o capas de protección se han trasladado a Sección 5.

Sección 18 *Diseño de obras de tierra, taludes en corte y terraplenes*. Se introduce la necesidad de considerar el efecto sísmico en el proceso de obtención del Factor de Seguridad, manteniendo en general la estructura de la versión anterior.

Sección 19 *Diseño estructural alcantarillas, puentes y losas de hormigón armado*. En esta versión sólo se actualizan los gráficos para la obtención de los parámetros de cargas muertas y cargas vivas.

Sección 20 *Diseño estructural muros de contención*. En general, se mantiene el contenido de la versión anterior, complementándose con los resultados entregados del análisis en tablas de diseño, para muros de hormigón armado y muros de mampostería de piedra.

Sección 21 *Obras de captación y conducción de aguas. Generalidades*. Se modifica el título de la sección por: “Drenaje de aguas lluvias en sectores urbanos”. Se incorporan especificaciones junto con recomendaciones de técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias. Además, se incorpora una zonificación climática para Chile Continental.

Sección 22 *Obras de captación y conducción de aguas. Diseño hidráulico*. Se modifica el título de la sección por: “Drenaje de aguas lluvias en sectores urbanos. Diseño hidráulico”. Se incorpora método de diseño de colectores de aguas lluvias, introduciendo las expresiones de Manning para flujo uniforme.

#### **ART. 1.4 PARTE III: “APÉNDICES Y ANEXOS”**

Apéndice I. En general se mantiene su contenido. Se incorporan nuevos artículos, en los cuales se presenta la ubicación de movimiento de tierras y las disposiciones para la elaboración de presupuestos.

Apéndice II. Se actualizan las Normas Chilenas mencionadas en el presente Código. Además se incorporan Normas ASTM y Normas NLT.

Apéndice III. Se mantiene el contenido casi en su totalidad, salvo algunas Láminas Tipo que se han incorporado y otras que han sido eliminadas.

Anexos. Se incluyen Anexos que complementan las secciones 2,5,12,13,15 y 16 de la nueva versión del Código.



# PRIMERA PARTE: CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS



## SECCIÓN 2. MOVIMIENTO DE TIERRAS

La actividad que comprende movimiento de tierras tiene por objetivo definir una subrasante que esté en condiciones de recibir una subbase o base para, sobre ellas, construir un pavimento flexible o rígido.

En esta sección, los Artículos 2.1 al 2.8 pueden emplearse como una especificación de construcción del ítem “Movimiento de tierras”.

El Artículo 2.9 presenta un breve resumen de la estabilización de suelos y del procedimiento para seleccionar el tipo de estabilización.

La estabilización con cemento y cal y la estabilización con productos químicos se presentan en Anexo Sección 2.

### ART. 2.1. DEFINICIÓN

Las cotas de proyecto, rasante y subrasante de las obras de pavimentación, establecen la necesidad de modificar el perfil natural del suelo, siendo necesario en algunos casos rebajar dichas cotas, y en otros, elevarlas.

En el primer caso, corresponde ejecutar un trabajo de “Corte o Excavación”, en el segundo, un trabajo de “Relleno”.

En ambos casos se efectúa lo que constituye propiamente un “Movimiento de Tierras”<sup>(1)</sup>. En efecto, el material proveniente de las excavaciones es retirado; su lugar de destino puede ser un botadero debidamente autorizado, o bien un sector de la obra en que pueda ser ocupado como material de relleno o estabilizador, según sea el caso, debidamente autorizado.

<sup>(1)</sup>: Eventualmente y es responsabilidad del proyectista indicar la presencia de rocas en zonas de cortes y la naturaleza de éstas (dureza y forma de extracción), así como su ubicación. Este ítem trata en forma especial la forma de extracción, más aún si la zona de pavimentación está ya poblada.

### ART. 2.2. REPLANTEO GEOMÉTRICO

Cuando se trate de un proyecto nuevo, previo al replanteo geométrico, se procede a la limpieza y roce del terreno entre líneas de edificación. Cuando se trate de una zona ya urbanizada se procede a hacer el inventario de lo existente en el lugar y enseguida:

Se replantea la solución geométrica del proyecto en planta, definiendo los ejes, vértices y deflexiones en terreno así, como las líneas de soleras.

### ART. 2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

De acuerdo a la mecánica de suelos, se han establecido sistemas de clasificación de los suelos, siendo los más importantes el sistema de clasificación AASHTO y el de clasificación Unificada, al no existir clasificación nacional (Ver Láminas Tipo 12.1, 12.2 y 12.3 de Apéndice III).

#### **ART. 2.4. EXCAVACIÓN EN CORTE**

En aquellos sectores en que la subrasante de las calles va en corte, se excava (o se detona de haber roca) el material necesario para dar espacio al perfil tipo correspondiente. En suelos finos no se acepta corte por debajo de la cota proyectada, a fin de evitar el relleno y deficiente compactación.

En caso de encontrar material inadecuado bajo el horizonte de fundación, se extrae en su totalidad, reponiéndolo con el material especificado en el Apartado 2.7.1 y compactándolo a una densidad no inferior al 95% de la densidad máxima compactada seca (D.M.C.S.) del Proctor Modificado, NCh. 1534/2 Of.1979, o al 80% de la densidad relativa, ASTM D 4253-00, y ASTM D 4254-00 según corresponda.

Por material inadecuado ha de entenderse rellenos no controlados o suelos naturales con un Poder de Soporte de California (CBR), según NCh. 1852.Of. 1981, inferior en 20 % al CBR de Proyecto. Cuando el 20% o más de las muestras de los CBR de subrasante sea inferior al 80 % del CBR de diseño, el material de la subrasante se reemplaza por uno que corresponda a lo menos al CBR de diseño, o bien se estabiliza la fundación por técnicas reconocidas, apoyos de geotextiles cuando sea necesario y es el proyectista quien evalúa en cada caso la mejor solución en costo, rendimiento y facilidades constructivas en función del clima, menor tiempo de ejecución y mejor estándar de funcionamiento; esto es fundamental para no paralizar la obra por indefiniciones que se pueden prever en la etapa de estudio.

No es recomendable el corte por debajo de la cota proyectada, para evitar el relleno y deficiente compactación de éste, ya que está demostrado que la sobre excavación y deficiente compactación generan un plano de falla perfecto. Muy importante en suelos finos y arcillosos.

#### **ART. 2.5. RELLENOS**

Se forman con el mejor material proveniente de la excavación o empréstito si se requiere. El CBR mínimo exigible del material es el CBR de diseño.

Todos los materiales que integran el relleno no pueden contener materias orgánicas, pasto, hojas, raíces u otro material objetable. El material de relleno es aceptado siempre que su CBR sea mayor o igual el mínimo exigible y posea una composición granulométrica uniforme.

El espesor del material de relleno colocado en capas corresponde al tipo de suelo y al equipo de compactación a emplear. En todo caso, el espesor máximo de la capa compactada es de 0.15 m para suelo fino (arcilla-limo); de 0.20 m para finos con granulares y de 0.30 m para suelos granulares.

Puede aumentarse el espesor de la capa a compactar, si se dispone de equipos modernos con tecnología que asegure el propósito y que presente la debida justificación, la que debe indicar la potencia del equipo a emplear y demostrar que su efecto no causa daños a las instalaciones de servicios existentes y o a las instalaciones vecinas, lo que se debe verificar en terreno por los profesionales responsables. En esas condiciones se puede aumentar de espesor. La densidad se asegura en todo el espesor de la capa y no sólo en la parte superior de ésta.

En la formación de las diferentes capas de rellenos se pueden aceptar bolones de tamaño máximo igual a un medio ( $\frac{1}{2}$ ) del espesor compactado de la capa y en una proporción tal que quede uniformemente distribuída, sin formar nidos ni zonas inestables. Las capas de rellenos se compactan al 95% de la D.M.C.S. del Proctor Modificado, (NCh. 1534/2 Of.1979), o al 80% de la densidad relativa, (ASTM D 4253-00, y ASTM D 4254-00) según corresponda.

## **ART. 2.6. SUB-RASANTE NATURAL**

Una vez ejecutados los trabajos necesarios para dar los niveles de sub-rasante, se procede como se indica:

El suelo se escarifica 0.20 m, se aplica agua en forma uniforme y controlada en todo el ancho y longitud de la zona a trabajar (el equipo de riego tiene un corte de riego controlado y absoluto. Cualquier equipo que no cumpla esta condición se retira de la obra) y se compacta a objeto de proporcionar una superficie de apoyo homogénea, con la excepción de suelos finos del tipo CH y MH, en que se cuida de no alterar la estructura original del suelo.

La compactación se realiza hasta obtener una densidad mayor o igual al 95% de la D.M.C.S. del Proctor Modificado, (NCh. 1534/2 Of.1979), o al 80% de la densidad relativa, (ASTM D 4253-00, y ASTM D 4254-00), según corresponda.

El constructor solicita la recepción de esta partida antes de proceder a la colocación de la capa estructural siguiente. Para este efecto se presentan los resultados obtenidos por el laboratorio de terreno.

La subrasante terminada debe cumplir además de la compactación especificada, con las pendientes y dimensiones establecidas en el proyecto.

En caso de detectar napas naturales, éstas se tratan y se guía su escurrimiento fuera de la plataforma. Así también, si hay otra fuente de agua o inundación se provee su salida de la plataforma.

## **ART. 2.7. SUB-RASANTE MEJORADA**

### **2.7.1. CON REEMPLAZO DE MATERIAL**

En los casos en que las Especificaciones Técnicas del Proyecto indiquen un mejoramiento del suelo natural, éste se reemplaza por una sub-rasante mejorada, que consiste en una mezcla homogénea de suelo natural y chancado de acuerdo a los porcentajes indicados en el cuadro de obras, la que se conforma escarificando el terreno natural en un espesor mínimo de 0,20 m.

Se comprueba que antes de proceder a la colocación de la capa estructural siguiente la sub-rasante mejorada cumpla, además de la compactación especificada, con las pendientes y espesores establecidos en el proyecto.

Una vez conformada la sub-rasante mejorada, se procede a su compactación hasta obtener una densidad mayor o igual al 95% de la D.M.C.S., obtenida por el ensayo del Proctor Modificado, (NCh. 1534/2 Of.1979), o al 80% de la densidad relativa, (ASTM D 4253-00, y ASTM D 4254-00) según corresponda.



### **2.7.2. CON ESTABILIZACIÓN DE SUELOS**

- Ver Art. 2.9 para seleccionar estabilizador.
- Ver Anexo Sección 2, Art. A 2.1. para estabilización con cemento o cal.
- Ver Anexo Sección 2, Art. A 2.2. para estabilización química.

## **ART. 2.8. CONTROLES**

A continuación se describen los controles que se realizan a la subrasante natural, subrasante mejorada y rellenos.

### **2.8.1. GRANULOMETRÍA**

2.8.1.1. Graduación de la mezcla (Subrasante mejorada).

Se deberá hacer un ensayo (NCh.1533.a1978) cada 150 m<sup>3</sup> ó 1 ensayo cada 300 ml de calzada.

### **2.8.2. CBR**

Se deberá hacer un ensayo (NCh. 1852 Of.1981) por calle o pasaje como mínimo. De detectarse heterogeneidad del suelo de subrasante o de rellenos, se toman otros CBR complementarios.

### **2.8.3. DE COMPACTACIÓN**

2.8.3.1. Densidad.

Se deberá hacer un ensayo de densidad "in-situ" (NCh. 1516 Of.1979) cada 350 m<sup>2</sup> como máximo por capa o bien como alternativa cada 50 ml de Calle o Pasaje.

2.8.3.2. Compactación.

2.8.3.2.1. Modalidad de compactación.

La compactación se realiza hasta obtener una densidad mayor o igual al 95% de la D.M.C.S. del Proctor Modificado, (NCh. 1534/2 Of.1979), o al 80% de la densidad relativa, (ASTM D 4253-00, y ASTM D 4254-00), según corresponda.

2.8.3.2.2. Control de compactación.

Se controla la compactación preferentemente a través del ensayo del cono de arena. Las pruebas se hacen en terreno y con la presencia del Profesional Responsable o ITO.

#### 2.8.3.2.3. Uniformidad de compactación.

En caso que se encuentre poco homogénea la uniformidad de la compactación del material de subrasante, se procede a, un control de uniformidad de la compactación. para lo cual se genera una cuadrícula uniforme de puntos de control con un mínimo de 50 puntos por cuadra (cuadra de aproximadamente 110 m de longitud), cuidando que alguno de los puntos se encuentre aproximadamente a 50 cm de un punto de control de densidad, que cumpla con el estándar de compactación especificado.

En todas aquellas zonas en que se registre un valor de compactación inferior al de referencia, se repone localmente la compactación hasta lograr la especificada.

#### 2.8.4. CALIDAD

Las acciones de control son realizadas por el laboratorio del constructor. Éste se encontrará con inscripción vigente en los registros del MINVU.

### ART. 2.9. ESTABILIZACIÓN DE SUB-RASANTE

En este artículo se entregan los antecedentes previos que permiten emplear algún estabilizador, ya sea para colocar posteriormente una sub-base granular y base granular en el caso de vías Colectoras, Troncales o Expresas; o bien emplearla como base o subbase estabilizada en el caso de vías de Servicio, Locales y Pasajes.

#### 2.9.1. GENERALIDADES

En muchas ocasiones los suelos existentes en obra no cumplen los requisitos de calidad para ser empleados en subrasantes, sub-bases, bases, etc. Lo anterior, conlleva al desarrollo de un proceso para el mejoramiento de dichos suelos, de manera que éstos alcancen los requisitos establecidos. Tal proceso recibe el nombre de estabilización de suelos y consiste principalmente, en mejorar un suelo estabilizando su fase sólida o esqueleto resistente, obteniéndose de esta manera, el aumento de su capacidad de soporte y la disminución de las deformaciones inducidas por solicitaciones externas.

La estabilización de suelos ha tomado gran importancia debido a que materiales de buena calidad simplemente no están disponibles para la construcción de vías, llevando a factores que dificultan la construcción, como puede ser el procesamiento o el transporte de materiales desde largas distancias. Es por lo anterior, que la estabilización permite el uso de materiales en el lugar y, puede ser aplicada tanto al reciclado de materiales como a construcciones nuevas.

Dentro de la estabilización de un suelo se incluyen una serie de procesos anexados que hacen factible el aumento de sus capacidades, es así como se pueden destacar: la compactación, drenaje y protección contra erosión e infiltración de humedad. Sin embargo, la estabilización se ha restringido principalmente a la modificación en sí, del propio material, la cual se puede realizar a través de cementantes, impermeabilizantes, soluciones asfálticas, fillers (rellenos de poros) o por cambios en la graduación del suelo tratado.

La utilización de las técnicas de estabilización permite la reutilización del suelo, es por lo cual que se disminuye el impacto al medio ambiente, debido a la menor necesidad de la explotación de recursos de empréstitos, lo que se traduce en una menor alteración del entorno a una obra vial, dándose esto tanto en el área de la estabilización con cal, cemento y aditivos químicos.

### **2.9.2. BENEFICIOS DE LA ESTABILIZACIÓN**

Las técnicas de estabilización, permiten mejorar en forma total o parcial las propiedades de un suelo, por medio de un conjunto de tratamientos y técnicas implementadas en la ejecución de la vía. Sin embargo, una estabilización podría verse afectada por una gran variedad de suelos y composiciones de calle en calle, haciendo que cada método sea aplicable a un número limitado de ellos, pero en cualquier caso, es recomendable que el procedimiento a aplicar sea económico y compatible con el suelo a tratar.

Toda estabilización de suelos, al mejorar sus propiedades, permite obtener los siguientes beneficios o ventajas:

- Mejoramiento de materiales marginales, es decir, materiales que no son utilizados por sus bajas propiedades de resistencia y cohesión.
- Mejoramiento de la resistencia del suelo.
- Aumento de la durabilidad.
- Control de las deformaciones volumétricas del suelo.
- Aumento de la trabajabilidad del suelo.
- Reducción de los requerimientos de espesor de los pavimentos.
- Aumento de la impermeabilidad del suelo.
- Reducción del polvo.

La optimización de materiales trae como consecuencia un menor impacto ambiental.

### **2.9.3. TIPOS DE AGENTES ESTABILIZADORES**

Hoy en día en el mundo se utiliza una variada gama de agentes estabilizadores. Estos incluyen compuestos químicos tales como cloruro de calcio, polímeros y productos derivados del petróleo (aceites sulfonados), y otros productos y agentes ligantes más convencionales, como cemento, cal y asfalto. Todos ellos apuntan a alcanzar el mismo objetivo de ligar las partículas individuales de agregado para incrementar la resistencia y/o hacer el material más resistente al agua. Algunos son más efectivos que otros en materiales específicos, otros tienen claras ventajas de costo, pero todos tienen un lugar en el mercado.

Debido a la gran variedad y la constante innovación en el campo de productos estabilizantes, cuando se decida qué agente estabilizador se emplear hay que tener presente las siguientes variables en el orden de importancia que se dan a conocer:

*Precio:* El costo unitario de estabilizar (normalmente expresado en términos de costo por metro cuadrado de superficie completada).

*Disponibilidad de Agentes Estabilizadores Específicos:* Puede que no estén disponibles en algunas partes (las regiones).

*Características del material:* Algunos agentes estabilizadores son más efectivos que otros en ciertos tipos de materiales. Por ejemplo, la cal debiera ser preferida por sobre el cemento para suelos de alta plasticidad ( $IP > 10$ ).

Los agentes estabilizadores como el cemento y, en un grado menor, los derivados del asfalto, han sido ampliamente estudiados. Estos son usados extensamente y los métodos estándar de ensayos están disponibles para determinar diseños óptimos de mezclas y requerimientos de garantía de calidad. Además, tanto el cemento como el asfalto tienen una gran utilización en la industria de la construcción y están generalmente disponibles. Lo anterior conlleva, a que estos agentes alcancen una gran popularidad dentro del campo de los estabilizadores.

Los materiales granulares no estabilizados en pavimentos flexibles, exhiben un comportamiento dependiente del nivel de tensiones. Esto significa que, cuando se confinan en una capa de pavimento, la rigidez efectiva aumenta o disminuye con el incremento del estado de carga. Cuando los materiales son repetidamente cargados a niveles de tensiones que superan su resistencia última, se presentan deformaciones de corte (cizalle) que se traducen en ahuellamiento. Al añadir un agente estabilizador, se ligan las partículas del material, cambiando el comportamiento bajo carga, a tal nivel que una capa de material estabilizado se comporta de forma similar a una losa con distintos patrones de tensiones.

Los agentes estabilizadores cementados aportan rigidez, mientras que los agentes asfálticos tienden a producir un material relativamente flexible. El material cementado es propenso a la retracción, que se manifiesta en un agrietamiento en bloque de la capa cuando se somete a cargas repetidas, mientras que los materiales ligados con asfalto tienden a ser más blandos, con mejores propiedades elásticas, tendiendo a deformarse bajo carga. Sin embargo, en la fibra inferior de las capas de material ligado se generan tensiones de tracción cuando el pavimento se deforma bajo carga. Las cargas repetitivas causan que el material sufra una falla por fatiga, o agrietamiento de abajo hacia arriba y el tipo de agente ligante es uno de los determinantes más importantes en el número de repeticiones que una capa puede soportar antes de que se desarrolle el agrietamiento.

### 2.9.3.1. Agentes Estabilizadores Cementados.

La cal, el cemento y mezclas de estos productos con cenizas volantes, escoria de alto horno y otros materiales puzolánicos, son los agentes estabilizadores más utilizados.

La función primaria de estos agentes es aumentar la capacidad de soporte. La cal es el agente estabilizador más adecuado para materiales más plásticos. La cal liberada durante el proceso de hidratación reacciona con las partículas arcillosas en los suelos plásticos, reduciendo esa característica. El uso reactivo de mezclas de suelo con cemento puede, sin embargo, estar limitado al tratamiento de materiales con índice de plasticidad menor que 12 ( $IP < 12$ ).

La resistencia adquirida está determinada por la cantidad de agente estabilizador agregado y el tipo de material que se está tratando. En algunas ocasiones, y en especial para algunos materiales, el agregar más cemento para aumentar la resistencia puede ser perjudicial para el desempeño de la capa. El material tratado con un agente estabilizador cementado tiende a ser relativamente frágil, luego el

aumentar la resistencia hace que el material sea aún más frágil con la consecuente reducción en la flexibilidad de la capa estabilizada. Esto lleva inevitablemente a una proliferación de las grietas ante cargas repetitivas de tráfico (especialmente cargas pesadas), reduciendo así el desempeño estructural. Es por ello que es muy importante que los criterios de desempeño de la capa estabilizada sean objetivos y que se realice un diseño adecuado basado en muestras representativas para determinar la correcta tasa de aplicación.

### 2.9.3.2. Agentes Estabilizadores Asfálticos.

Debido a los grandes avances tecnológicos, el uso del asfalto como agente estabilizador ha incrementado enormemente su aplicación, principalmente aplicado en forma de emulsión o como asfalto espumado.

Estabilizar con asfalto es una manera efectiva, desde el punto de vista de los costos, de mejoramiento de resistencia de un material y al mismo tiempo, de reducción de los efectos perjudiciales del agua. Este tipo de estabilización es más flexible que aquella en que el material es tratado con un agente cementante.

El material estabilizado con asfalto, con menos de 1.5% en peso de cemento, no sufre del fenómeno de agrietamiento por retracción y puede ser abierto al tránsito de faena inmediatamente durante la ejecución de la obra, debido a su resistencia inicial, lo cual previene la pérdida de áridos superficial o desgaste bajo la acción del tráfico. Sin embargo, mientras el material adquiere resistencia y se produce el proceso de curado, es recomendable que los vehículos pesados (incluyendo a los compactadores) no se estacionen en la capa terminada. Debe tenerse presente que el material estabilizado no constituye un pavimento ya que no es una carpeta de rodadura apta para entregarse al tránsito.

Para la utilización de una emulsión asfáltica en un proceso de estabilización aplicado sobre materiales granulares, las probetas de muestra son fabricadas usando una compactación tipo Proctor y todos los procedimientos de mezclas emplean las propiedades de resistencia para determinar el nivel de aplicación requerido. Siendo esencialmente un material granular mejorado, las capas de pavimentos construídos de material estabilizado con asfalto poseen espesores mayores a 100 mm.

Estabilizar con un agente asfáltico crea un material estabilizado que no tiene la apariencia de un pavimento de asfalto. Típicamente, una base de asfalto de graduación continua presenta un contenido de vacíos entre un 3 y un 6%, y cada partícula es cubierta con una capa de asfalto delgada, actuando como un “adhesivo de contacto”. El material estabilizado con asfalto, está caracterizado por la dispersión de asfalto, principalmente entre las partículas finas, típicamente la fracción menor a 0.08 mm para asfalto espumado y una fracción más gruesa para emulsión asfáltica. Por lo tanto, se conforma un material granular con una matriz rica en asfalto. El contenido real de vacíos de este material después de compactado es rara vez menor que 10%, y la resistencia bajo carga tiende a ser tomada en parte por la fracción granular, que es capaz de resistir tensiones de compresión/aplastamiento o “crushing” debido a la fricción inter – partícula, y en parte por la matriz fina estabilizada, la cual presenta un comportamiento visco – elástico, capaz de resistir tensiones de tracción repetidas. Es por esto que se considera un material híbrido.

Ciertos materiales marginales tratados con un agente estabilizador no conservan en forma satisfactoria sus propiedades resistentes (por ejemplo, pierden resistencia al sumergirlos en agua). Esto puede ser enfrentado con la adición de un filler activo tal como cal hidratada o cemento. En pequeñas cantidades el filler activo (0.5 a 1.5% en masa) puede producir un aumento significativo de la resistencia retenida sin afectar las propiedades de fatiga de la capa.

### 2.9.3.3. Agentes Estabilizadores Químicos.

Pese a la gran variedad de productos químicos que existen en el mercado, su utilización en obras viales es muy reducida comparada con el uso del asfalto, cal y cemento (estabilizadores tradicionales). Esto se produce principalmente porque los beneficios y ventajas económicas de la mayoría de estos productos no han sido verificados en extenso mediante investigaciones de laboratorio y pruebas en terreno. Además, en general la durabilidad de estos productos es de corto y mediano plazo; en ningún caso su ciclo de vida es superior al de los estabilizadores tradicionales.

En vías de ripio y tierra, la gran mayoría de los compuestos químicos, son utilizados principalmente para suprimir el polvo, reducir la formación de deterioros superficiales (baches, calamina, otros) y para mejorar la interacción del agua con el suelo, pero a diferencia de los estabilizadores tradicionales, esto es consecuencia del pegado de las partículas finas del suelo, o de la reducción de la permeabilidad o capacidad de absorción de agua del suelo estabilizado. Debe tenerse presente que el material estabilizado no constituye un pavimento ya que no es una carpeta de rodadura apta para entregarse al tránsito.

Hay que destacar que algunos compuestos químicos también producen cementación del suelo, pero en menor grado que el efecto producido por el cemento o la cal.

Es recomendable que el proveedor del estabilizador químico asegure y certifique que su producto no daña el medio ambiente. La certificación está a cargo de un organismo internacional reconocido o por la autoridad sanitaria competente.

### 2.9.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS EFECTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

Es preciso destacar que cualquiera que sea el estabilizador a emplear se requiere espacio suficiente para que equipos como motoniveladoras u otros puedan operar revolviendo y homogeneizando el suelo, previo a su depósito en el lugar definitivo, lo cual genera efectos negativos considerables en el contorno urbano, especialmente cuando hay viviendas habitadas.

#### 2.9.4.1. Consideraciones ambientales en estabilización con cal y cemento:

La utilización de estas técnicas conlleva a la reutilización del suelo, es por lo cual que se disminuye el impacto al medio ambiente, debido a la menor necesidad de la explotación de recursos de empréstitos.

En el caso específico del cemento, se recomienda cuidar la ejecución de obras cuando éstas se realizan ante la presencia de vientos relativamente excesivos, ya que esto puede perjudicar el entorno, al producirse la dispersión de las partículas por el aire, afectando directamente a las personas que lo habitan.

En el caso de la cal, la contaminación producida por el polvo durante su incorporación se agrava seriamente cuando los trabajos se llevan a cabo en zonas urbanas, y aún más, si existe presencia de vientos.

La cal, en particular la cal viva, es un material alcalino en presencia de humedad. Se recomienda que los trabajadores que la manipulan sean entrenados y usen el equipo apropiado. De lo contrario, la cal puede causar:

Irritación severa de los ojos o quemaduras, incluyendo daño permanente.

Irritación y quemaduras en la piel, debe evitarse el contacto prolongado con la piel sin protección.

Irritaciones por inhalación del polvo de cal, contaminación de vías respiratorias, tanto de personas que la manipulan, así como la presente en el entorno.

Se debe tener especial cuidado en la mezcla accidental de cal viva y agua (en cualquier forma, incluyendo sustancias químicas que contienen agua de hidratación), y así evitar calor excesivo. El calor liberado por esta reacción puede encender materiales combustibles o causar daños en el entorno (personas, propiedades y medioambiente, en general).

Una alternativa para evitar la formación de polvo, obteniendo de esta manera un enorme beneficio sobre el medio ambiente, es la utilización del equipo mezclador móvil-estabilizador. Además de evitar la contaminación del entorno, se disminuye la pérdida económica que se produce por el desaprovechamiento de la cal que se va en forma de polvo.

En términos generales, se puede decir que las técnicas de estabilización tanto con cemento como con cal, alivian el problema de la limitación de recursos y su respectivo impacto sobre el medioambiente, obteniéndose ventajas considerables para éste, como lo son:

- La no utilización de materiales de préstamos.
- Se evitan operaciones de transporte y acopio, no produciéndose ruidos molestos por los camiones y generando una menor contaminación por funcionamiento de motores (plantas y camiones).
- Mejor aprovechamiento de terrenos marginados.
- Mejor gestión de los recursos naturales.

Siempre debe tenerse presente que el material estabilizado no constituye un pavimento ya que no es una carpeta de rodadura apta para entregarse al tránsito.

#### 2.9.4.2. Consideraciones medioambientales generales en la estabilización química:

Hoy en día existe un sinnúmero de productos químicos que sirven para mejorar las condiciones de soporte de una vía, así como eliminar la emisión de polvo. Sin embargo, los efectos ambientales no difieren de manera importante a los ya citados para las técnicas que utilizan tanto cal como cemento.

Por lo anterior, se puede señalar que la estabilización con productos químicos contribuye al mejoramiento del suelo natural sin necesidad de recurrir al movimiento de materiales de empréstitos, lo cual colabora con el medioambiente, ya que estos materiales están cada vez más limitados.

Es preciso comprobar que las tecnologías químicas tengan un impacto neutro en los suelos tratados y en el entorno de éstos, mediante técnicas de “Difracción de Rayos X” y “Lixiviación”, aplicadas a suelos en estado natural y tratados con el estabilizador químico, demostrando que no exista contaminación. La técnica de “Lixiviación” se puede hacer según Norma NLT 326: “Ensaye de Lixiviación para materiales para carreteras”.

En casos particulares (sales) se recomienda considerar que la zona destinada al acopio del agente estabilizador no se encuentre a menos de 10 m. de cualquier tipo de canalización de agua, ya que esta puede verse alterada. Además se considere remover cualquier sobrante del agente al finalizar la faena, para evitar alterar el entorno.

Es preciso emplear la norma NCh. 2505 Of 2001 para verificar que las propiedades del agente químico cumplan lo establecido en las características proporcionadas en la especificación del fabricante, esta establece los ensayos a aplicar para verificar desempeño del suelo.

### **2.9.5. SELECCIÓN DE ESTABILIZADORES**

La selección de los estabilizadores depende fundamentalmente del propósito que tenga la aplicación, distinguiéndose entonces si los requerimientos son de tipo estructural o simplemente su empleo es para eliminación de polvo en la vía como se puede apreciar en Tabla 2-2.

La característica del suelo que se va a estabilizar orientan en la selección del estabilizador, por lo cual se requiere un mínimo de ensayos para determinar qué estabilizador se empleará como ser: clasificación del suelo, granulometría, propiedades de índice y para cuantificar la mejora estructural de la estabilización es conveniente disponer de un ensayo de CBR.

Una de las metodologías de selección usual del agente estabilizador se basa en la relación entre el porcentaje de material que pasa por la malla N° 200 y el índice de plasticidad, como se muestra en la Tabla 2-1. En tabla 2-2 se puede seleccionar el estabilizador de acuerdo a objetivo y tipo de suelo.

El proceso de estabilización con asfalto se produce cuando este último se localiza en torno a las partículas, mejorando de esta forma la impermeabilización del suelo. Es así como los suelos finos, susceptibles al agua mejoran sus propiedades mecánicas, tales como la resistencia al corte, tensión, flexión y módulo de elasticidad.


Por otra parte, en suelos no cohesivos (arenas y gravas), se desarrollan dos mecanismos: la impermeabilización y la adherencia. El primero se desarrolla de manera similar al de los suelos finos. El segundo, corresponde a la unión de las partículas de agregados con asfalto, consiguiéndose el aumento de la resistencia al corte, ya que entrega cohesión.


La estabilización en suelos finos depende de sus características de plasticidad y del porcentaje de suelo que pasa por la malla N° 200 (0.08 mm). Debido a que este tipo de partículas tienen una alta superficie específica, la cantidad de asfalto requerida para cubrirlas todas es excesiva y por lo tanto, un tratamiento con asfalto sólo recubre aglomeraciones de partículas con porcentajes menores de asfalto.




TABLA 2-1 SELECCIÓN DE ESTABILIZANTES SEGÚN % QUE PASA POR MALLA N° 200 Y EL ÍNDICE DE PLASTICIDAD (\*)

Índice de Plasticidad	Mayor que 25% pasando por tamiz N°200			Menor que 25% pasando por tamiz N°200		
	IP ≤ 10	10 ≤ IP ≤ 20	IP ≥ 20	IP ≤ 6 (IP x % pasando en N°200 ≤ 60)	IP ≤ 10	IP ≥ 10
Agente Estabilizador						
Emulsión Asfáltica	■	■	□	■	■	■
Asfalto Espumado	■	■	■	■	■	■
Cemento	■	■	□	■	■	■
Cal	□	■	■	□	■	■
Químico	□	■	■	□	■	■
Mecánica	■	□	□	■	■	■

  
 Normalmente no apropiado

  
 Cuestionable

  
 Normalmente apropiado

(\*) Es una adaptación extraída de documento Estabilización de Suelos G. Hicks 2002

TABLA 2-2 MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN (\*\*)

Objetivo	Tipo de suelo	Método de estabilización recomendado
<b>1. Estabilización subrasante</b>		
1.1 Mejora de distribución de cargas y esfuerzos.	Granular grueso Granular fino Arcillas de bajo IP Arcillas de alto IP	SA, SC, MB SA, SC, MB SC, SL SL
1.2 Reduce la susceptibilidad a helada.	Granular fino Arcillas de bajo IP	SA, SC, LF SC, SL
1.3 Impermeabilizar y mejorar la escorrentía.	Arcillas de bajo IP	SA, SL
1.4 Control de contracción e hinchamiento	Arcillas de bajo IP Arcillas de alto IP Arcillas de alto IP	SC,SL SL SL
1.5 Reduce elasticidad	Limos y arcillas elásticas	SC
<b>2. Estabilización base gruesa</b>		
2.1 Mejora de materiales de baja calidad	Granular fino Arcillas de bajo IP	SC, SA, LF, MB SC, SL
2.2 Mejorar la distribución de cargas y esfuerzos	Granular grueso Granular fino	SA, SC, MB, LF SC, SA, LF, MB
2.3 Reducción del bombeo	Granular fino	SC, SA, LF, MB
<b>3. Aceras</b>		
3.1 Mejorar la resistencia de carga	Todos los suelos	SA, SC, MB SA, SC, MB SC, SL SL
3.2 Mejorar la durabilidad	Todos los suelos	SA, SC, MB SA, SC, MB SL, LMS
3.3 Impermeabilización y escorrentía	Suelos plásticos	CMS, SL
3.4 Control de contracción e hinchamiento	Suelos plásticos	SC
<b>4. Atenuar el polvo</b>		
	Granular fino Suelos plásticos	CL, SA CL, SL
<b>5. Recubrimiento de zanjas</b>		
	Granular fino Suelos plásticos	CS, SA CS
<b>6. Rehabilitación y reconstrucción</b>		
	Suelo granular	SC, SA, LF, MB
<b>Simbología</b>		
CL : Cloruros	SA : Suelo asfalto	
CS : Solidificante químico	SC : Suelo cemento	
LF : Cenizas - cal	SL : Suelo cal	
MB : Mezcla mecánica		

(\*\*) Es una adaptación de tabla de documento de US Army Corps Soil Stabilizations



## SECCIÓN 3. BASES Y SUBBASES DE PAVIMENTOS

### ART. 3.1. DEFINICIÓN

Se define como subbase una capa de agregados pétreos convenientemente graduados y compactados que cumplen con las Especificaciones Técnicas Generales y Especiales del proyecto, construída sobre la subrasante y sobre la cual se construye la base, o la carpeta de rodado rígida.

Se define como base una capa de agregados pétreos compactados muy bien graduados y provenientes de un proceso de producción mecanizado de chancado y selección, que puede o no contener un agente estabilizador y que cumpla con las Especificaciones Técnicas Generales y Especiales. Esta base se coloca sobre la sub-base; y sobre ella se construye la capa de rodado.

### ART. 3.2. SUBBASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Su ejecución se ajusta a lo establecido en los apartados siguientes:

#### 3.2.1. MATERIALES

El material a utilizar se revuelve homogéneamente, libre de grumos o terrones de arcilla, materiales vegetales o de cualquier otro material perjudicial.

##### 3.2.1.1. Granulometría.

La sub-base estará constituida por mezclas de agregados granulares y finos, de tal manera que estén comprendidos en cualquiera de las siguientes bandas de la TABLA 3-1.

TABLA 3-1: BANDA GRANULOMETRICA PARA MATERIALES DE SUBBASES

Tamiz [mm]	% que pasa en peso	
	Banda 1	Banda 2
50	100	100
40		70-85
25	55 -100	55-85
20		45-75
10	30 - 75	35-65
5	20 – 65	25-55
2	10 – 50	15-45
0.5	5 – 30	5 – 25
0.08	0 – 10	0-10

### 3.2.1.2. Condiciones de filtro.

Es recomendable que la subbase cumpla las siguientes condiciones de filtro: (esta condición es ratificada y certificada en laboratorio)

$$1) \frac{D15_{Subbase}}{D85_{Subrasante}} \leq 5$$

$$2) D15_{Subbase} \geq 0,42mm$$

$$3) \frac{D50_{Subbase}}{D50_{Subrasante}} \leq 25$$

$$4) \frac{D15_{Subbase}}{D15_{Subrasante}} \geq 5$$

Siendo:

DN = diámetro de la abertura del tamiz en que pasa N% del material.

El constructor propone y asegura el suministro (antes de iniciar la obra) de un material que cumpla con una curva característica para la sub-base, y ésta durante la obra puede tener un +/- de 10 para tamices sobre 5 mm y más menos 4 para tamices inferiores, siendo en 200 el máximo siempre 10, es decir, la uniformidad se controla en obra en función de una banda de trabajo preestablecida, la cual no se puede cambiar.

### 3.2.1.3. Requisitos de calidad de los agregados.

En la construcción de sub-bases granulares, los agregados pétreos deben cumplir además, con los siguientes requisitos de calidad:

#### 3.2.1.3.1. Límites de Atterberg.

Para la fracción fina de los agregados (que pasa por tamiz 5 mm.):

- Límite Líquido (L.L.) (NCh. 1517/1. Of 1979) : 35 máx.
- Índice de plasticidad (I.P.)(NCh.1517/2 Of.1979) : 8 máx.

#### 3.2.1.3.2. “Ensaye Desgaste Los Ángeles”.

El agregado grueso (retenido en tamiz 5 mm.) debe tener un desgaste inferior a un 40 % (NCh. 1369 Of.1978).

### 3.2.1.3.3. Poder de Soporte California (CBR).

El CBR será igual o superior al 35% (NCh.1852 Of.1981) y se mide a 0.2" de penetración en una muestra saturada y previamente compactada a una densidad igual o superior al 95% de la D.M.C.S., obtenida en el ensayo Proctor Modificado (NCh. 1534/2.Of1979).

En zonas donde la precipitación media anual sea inferior a 50 mm, el ensaye de CBR se ejecuta sobre muestras no saturadas, siempre que sea autorizado previamente por el ITO o Profesional Responsable.

### 3.2.1.3.4. Zonas de heladas.

Se exige:

- Límite Líquido (L.L.) (NCh. 1517/I Of.1979) : 25 máx.
- Desintegración por sulfato de sodio, porcentaje medio : 12% máx.

ponderado (NCh.1328.Of1977).

## 3.2.2. COMPACTACIÓN

### 3.2.2.1. Densidad.

La sub-base se compacta hasta obtener una densidad no inferior a un 95% de la D.M.C.S., obtenida en el ensayo Proctor Modificado (NCh. 1534/2 Of.1979).

### 3.2.2.2. Tolerancia de terminación.

Se acepta una tolerancia de terminación máxima de + 0 y - 10 mm. En puntos aislados, se acepta hasta un 5% menos del espesor de diseño.

## 3.2.3. CONTROLES

### 3.2.3.1. Confección y colocación.

El Inspector Técnico de la Obra o Profesional responsable verifica que:

- La confección de la subbase se ejecute en plantas procesadoras fijas o móviles, que aseguren la obtención de material que cumpla con los requisitos establecidos.
- El material se acopie en canchas habilitadas especialmente para este efecto, de manera que no se produzca contaminación ni segregación de los materiales.
- La sub-base granular debidamente preparada, se extiende sobre la subrasante de la vía, mediante equipos distribuidores autopropulsados, de manera que quede el material listo para ser compactado, sin necesidad de mayor manipulación para obtener el espesor, ancho y bombeo deseados. Alternativamente, el material puede transportarse y depositarse sobre la subrasante formando pilas que den un volumen adecuado para obtener el espesor, ancho

y bombeo especificado. En este último caso, los materiales apilados se mezclan por medios mecánicos hasta obtener la homogeneidad y humedad necesarias, tras lo cual se extienden uniformemente.

- Se aplique agua en forma uniforme y controlada en todo el ancho y longitud de la zona a trabajar (el equipo de riego, tiene corte de riego controlado y absoluto, cualquier equipo que no cumpla esta condición es retirado de la obra).
- La sub-base se construye por capas de espesor compactado no superior a 0,30 m ni inferior a 0,12 m. Espesores superiores a 0,30 m, se extienden y compactan en capas. El material extendido, al ser de una granulometría uniforme, no presenta bolsones o nidos de materiales finos o gruesos.
- Si la sub-base es de igual calidad que la base, la recepción se hace en forma independiente, es decir, por separado base y sub-base.

### 3.2.3.2. Compactación.

#### 3.2.3.2.1. Densidad.

Se verifica que la sub-base se encuentre compactada al 95% de la densidad del Proctor modificado (NCh. 1534/2 Of.1979).

#### 3.2.3.2.2. Ensayes.

En la capa de sub-base, se efectúa un ensayo de Densidad “en sitio” (NCh. 1516 Of.1979) cada 500 m<sup>2</sup> como máximo. Como alternativa se puede efectuar uno cada 75 ml de calzada de calle o pasaje.

Se controla la compactación preferentemente a través del ensayo del cono de arena.

#### 3.2.3.2.3. Uniformidad de compactación.

En caso que el I.T.O. o Profesional Responsable encuentre poco homogénea la uniformidad de la compactación del material de sub-base, solicita al autocontrol de la Empresa del constructor, un control de uniformidad de la compactación. Se genera una cuadrícula uniforme de puntos de control con un mínimo de 50 puntos por cuadra (cuadra de aproximadamente 110 m longitud), cuidando que alguno de los puntos se encuentren aproximadamente a 50 cm. de un punto de control de densidad, que cumpla con el estándar de compactación especificado.

En aquellas zonas en que se registre un valor de compactación inferior al de referencia, ésta se repone localmente hasta lograr la especificada.

### 3.2.3.3. Requisitos de calidad de los agregados.

#### 3.2.3.3.1. Poder de Soporte California (C.B.R).

Un ensayo por obra (NCh.1852 Of.1981) si el material proviene de una planta de áridos fija o uno por lugar de procedencia.

#### 3.2.3.3.2. Graduación y Límites de Atterberg.

Un ensayo por obra si el material proviene de una planta de áridos fija o uno por lugar de procedencia, empleando las siguientes normas según corresponda: NCh.1517/1 Of.1979, y NCh.1517/2 Of.1979. Además se verifica cumplimiento de las condiciones de filtrado.

#### 3.2.3.3.3. Ensayo Desgaste Los Ángeles.

Un ensayo (NCh.1369 Of.1978) por obra si el material proviene de una planta de áridos fija o uno por lugar de procedencia.

### 3.2.4. CALIDAD

Las acciones de control son realizadas por el laboratorio del constructor.

Si la sub-base es de igual calidad que la base, la recepción se hace en forma independiente, es decir, por separado base y sub-base.

## ART. 3.3. BASES GRANULARES PARA CARPETAS ASFÁLTICAS

Su ejecución se ajusta a lo establecido en los apartados siguientes:

### 3.3.1. MATERIALES

El material a utilizar está constituido por un suelo del tipo grava arenosa. Se define como base una capa de agregados pétreos muy bien graduados y provenientes de un proceso de producción mecanizado de chancado y selección, homogéneamente revuelto, libre de grumos o terrones de arcilla, de materiales vegetales o de cualquier otro material perjudicial.

#### 3.3.1.1. Granulometría.

La base debe estar constituida por mezclas de agregados granulares y finos, realizadas en una planta mecanizada de chancado y selección, de tal manera que la granulometría esté comprendida en cualquiera de las bandas de la Tabla 3-2.



TABLA 3-2. BANDA GRANULOMÉTRICA BASE GRANULAR

Tamiz [mm]	% que pasa en peso	
	Banda 1	Banda 2
40	100	100
25	55-85	100
20	45-75	75-100
10	35-65	50-80
5	25-55	35-60
2	15-45	20-40
0.5	5-25	8-22
0.08	0-5	0-10

La fracción que pasa por la malla N° 200 no debe ser mayor a los 2/3 de la fracción del agregado que pasa por la malla N° 40. La fracción que pasa la malla N° 4 puede estar constituida por arenas naturales o trituradas.

Se fija como tolerancia de la banda, +/- 7 para los gruesos y +/- 3 para el fino con límite en la malla 200.

### 3.3.1.2. Condiciones de filtro.

La base granular cumplirá las siguientes condiciones de filtro, las cuales son ratificadas y certificadas en laboratorio (ya que es parte de la teoría de diseño estructural, nunca ha sido exigida y es muy probable que las fallas en muchos pavimentos sean por no cumplir esta condición):

$$1) \frac{D_{15} \text{ _ base}}{D_{85} \text{ _ Subbase}} \leq 5$$

$$2) D_{15} \text{ _ base} \geq 0,42mm$$

$$3) \frac{D_{50} \text{ _ base}}{D_{50} \text{ _ Subbase}} \leq 25$$

$$4) \frac{D_{15} \text{ _ base}}{D_{15} \text{ _ Subbase}} \geq 5$$

### 3.3.1.3. Requisitos de calidad de los áridos.

#### 3.3.1.3.1. Partículas chancadas.

El porcentaje de partículas chancadas debe ser mayor que el 50% para lograr el CBR especificado, y que además, el 70 % mínimo de las partículas retenidas en el tamiz N° 4 ASTM tengan, a lo menos 2 caras fracturadas mecánicamente.

### 3.3.1.3.2. Granulometría y Límites de Atterberg.

El material debe cumplir con la banda de la Tabla 3-2 y sus respectivas tolerancias y que a su vez la fracción del material que pase la malla N° 40 el IP inferior a 6 sea o no plástica (NP) y el límite líquido sea inferior a 25. Los ensayos se realizan según corresponda con las normas: NCh.1533.a1978, NCh.1517/1 Of.1979 y NCh.1517/2 Of.1979.

### 3.3.1.3.3. Ensayo Desgaste Los Ángeles.

El agregado grueso debe tener un desgaste inferior a un 35%, de acuerdo a este ensayo (NCh.1369 Of.1978).

### 3.3.1.3.4. Poder de Soporte de California, Base con CBR 80 %.

El CBR debe ser superior a 80% en las bases para pavimentos asfálticos, compuestos de carpeta asfáltica y binder (NCh.1852 Of.1981).

El CBR se mide a 0.2” de penetración, en una muestra saturada y previamente compactada a una densidad mayor o igual al 95% de la D.M.C.S., obtenida en el ensayo Proctor Modificado, (NCh. 1534/2 Of.1978), o al 80% de la densidad relativa (ASTM 4253-00 y ASTM 4254-00), según corresponda.

### 3.3.1.3.5. Poder de Soporte de California, Base con CBR 100%.

Se emplean en pavimentos de calles locales y pasajes.

El CBR (NCh.1852 Of.1981) se mide a 0.2” de penetración, en una muestra saturada y previamente compactada a una densidad mayor o igual al 95% de la D.M.C.S., obtenida en el ensayo Proctor Modificado (NCh.1534/2.Of.1978), o al 80% de la densidad relativa (ASTM 4253-00 y ASTM 4254-00) según corresponda.

### 3.3.1.3.6. Equivalente de arena.

Debe tener un valor mínimo de 50%, según NCh.1325 Of.1978.

### 3.3.1.3.7. Porcentaje de sales solubles totales.

Este porcentaje no debe superar un 4%, según NCh.1444/1 Of.1980.

### 3.3.1.3.8. Zonas heladas.

Se debe cumplir con:

Un porcentaje medio ponderado de 12% máx. para la Desintegración por Sulfato de Sodio, según NCh.1328 Of.1977.

Un 0% de finos bajo la malla 200.

### **3.3.2. COMPACTACIÓN**

#### **3.3.2.1. Densidad.**

La base granular se compacta hasta obtener una densidad no inferior al 95% de la D.M.C.S., obtenida en el ensayo Proctor Modificado (NCh.1534/2.Of.1978), o al 80% de la densidad relativa (ASTM 4253-00 y ASTM 4254-00), según corresponda.

#### **3.3.2.2. Tolerancia de espesor y terminación superficial.**

Se acepta una tolerancia de terminación máxima de + 0 y - 8 mm. En puntos aislados, se acepta hasta un 5% menos del espesor de diseño.

### **3.3.3. CONTROLES**

#### **3.3.3.1. Confección y colocación.**

El Constructor y la Inspección Técnica de la Obra verifican que:

- La confección de la base se ejecute en plantas procesadoras fijas o móviles, que aseguren la obtención de material que cumpla con los requisitos establecidos.
- El material se acopie en canchas habilitadas especialmente para este efecto, de manera que no se produzca contaminación ni segregación de los materiales.
- La base granular debidamente preparada, se extienda sobre la plataforma de la vía, mediante equipos distribuidores autopropulsados, quedando así el material listo para ser compactado sin necesidad de mayor manipulación, para obtener el espesor, ancho y bombeo deseados. Alternativamente, el material puede transportarse y depositarse sobre la plataforma de la vía, formando pilas que den un volumen adecuado para obtener el espesor, ancho y bombeo especificados. En este último caso, los materiales apilados se mezclan por medios mecánicos hasta obtener la homogeneidad y humedad necesarias, tras lo cual se extienden uniformemente.
- Se aplica agua en forma uniforme y controlada en todo el ancho y longitud de la zona a trabajar (el equipo de riego, tiene corte de riego controlado y absoluto, cualquier equipo que no cumpla esta condición se retira de la obra).
- La base se construye por capas de espesor compactado no superior a 0,30 m ni inferior a 0,15 m. Espesores superiores a 0,30 m, se extienden y compactan en capas. El material que se extiende es de una granulometría uniforme, por lo que no presenta bolsones o nidos de materiales finos o gruesos.
- Si la sub-base es de igual calidad que la base, la recepción se hace en forma independiente, es decir, por separado base y sub-base.

### 3.3.3.2. Compactación.

Además se verifica:

#### a.) Densidad.

En la capa de base granular, se efectúa un ensayo de densidad “en -sitio” (NCh.1516 Of.1979) cada 350 m<sup>2</sup> como máximo, o como alternativa cada 50 ml de Calle o Pasaje.

Se controla la compactación preferentemente a través del ensayo del cono de arena.

#### b.) Uniformidad.

En caso que la I.T.O. o Profesional Responsable encuentre poco homogénea la uniformidad de la compactación del material, solicita al autocontrol del constructor, un control de uniformidad de la compactación para lo cual se genera una cuadrícula uniforme de puntos de control con un mínimo de 50 puntos por cuadra (cuadra de aproximadamente 110 m longitud) cuidando que alguno de los puntos se encuentre aproximadamente a 50 cm. de un punto de control de densidad, que cumpla con el estándar de compactación especificado.

En aquellas zonas donde se registre un valor de compactación inferior al de referencia, se repone localmente la compactación, hasta lograr la compactación especificada.

### 3.3.3.3. Terminación.

Una vez terminada la compactación y perfiladura de la base, ajustándose a los perfiles longitudinales y transversales del Proyecto, se verifica con nivel, que se presente una superficie de aspecto uniforme y sin variaciones, salvo las tolerancias aceptadas. Se entiende que tanto la compactación y perfiladura son en la superficie completa de la base, según planos y en especial la perfiladura cumple en toda la superficie de los planos que se generen de ella, es decir, el control es más allá de los puntos de estacas preestablecidos, con el fin de asegurar una correcta colocación del pavimento.

### 3.3.3.4. Material.

#### 3.3.3.4.1. Porcentaje de partículas chancadas.

Se debe realizar una verificación por obra si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija o uno por lugar de procedencia.

#### 3.3.3.4.2. Granulometría y Límites de Atterberg.

Se debe realizar un ensayo por obra si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija o uno por lugar de procedencia. Se verifica además condiciones de filtrado. Los ensayos se realizan según corresponda con las normas: NCh.1533.a1978, NCh.1517/1 Of.1979, y NCh.1517/2 Of.1979.

#### 3.3.3.4.3. Ensaye Desgaste Los Ángeles.

Se debe realizar un ensayo (NCh.1369 Of.1978) por obra si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija o uno por lugar de procedencia.

#### 3.3.3.4.4. Poder de Soporte de California CBR.

Se debe ejecutar un ensayo (NCh.1852 Of.1980) por obra si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija o uno lugar de procedencia.

#### 3.3.3.4.5. Equivalente de arena.

Se debe ejecutar un ensayo (NCh.1325 Of.1978) por obra si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija o uno por lugar de procedencia.

#### 3.3.3.4.6. Sales solubles.

Se debe realizar un ensayo (NCh.1444/I Of.1980) por obra si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija o uno por lugar de procedencia.

#### 3.3.3.4.7. Desintegración por sulfatos.

Se debe realizar un ensayo (NCh.1328 Of.1977) por obra si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija o uno por lugar de procedencia.

### 3.3.4. CALIDAD

Las acciones de control son realizadas por el laboratorio del constructor.

## ART. 3.4. BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

Su ejecución se ajusta a lo establecido en los apartados siguientes:

### 3.4.1. MATERIALES

El material a utilizar esta constituido por un suelo del tipo grava arenosa, homogéneamente revuelto, libre de grumos o terrones de arcilla, de materiales vegetales o de cualquier otro material perjudicial.

#### 3.4.1.1. Granulometría.

Está comprendida dentro una de las bandas granulométricas de la Tabla 3-3. (NCh.1533.a1978).

El constructor propone una curva característica para la base, y ésta durante la obra puede tener +/- 10 para tamices sobre 5 y +/- 4 para tamices inferiores, siendo en la malla N° 200 el máximo siempre 10, es decir, la uniformidad se controla en obra, en función de una banda de trabajo preestablecida, la cual no se puede cambiar.

Se debe verificar que:

- La fracción que pasa por la malla N° 200 (0,08 mm) no sea mayor a los 2/3 de la fracción del agregado grueso que pasa por la malla N° 40 (0,5 mm).
- La fracción que pasa la malla N° 4 (5 mm) esté constituida por arenas naturales o trituradas.

TABLA 3-3. BANDA GRANULOMÉTRICA DE LA BASE GRANULAR.

Tamiz [mm]	% QUE PASA EN PESO	
	Banda 1	Banda 2
50	100	
25	-	100
20	90 -70	70-100
10	30 -65	50-80
5	25 -55	35-65
2	15 -40	25-50
0.5	8-20	10-30
0.08	2-8	0-15

### 3.4.1.2. Requisitos de calidad de los áridos.

#### 3.4.1.2.1. Límites de Atterberg.

Se debe verificar que la fracción del material que pasa la malla N° 40, tenga un límite líquido inferior a 25% y un índice de plasticidad inferior a 6 ó No Plástico (NP) (NCh.1517/1 Of.1979), y (NCh.1517/2 Of.1979).

#### 3.4.1.2.2. Ensayo Desgaste Los Ángeles.

El agregado grueso debe tener un desgaste inferior a un 50% de acuerdo a este ensayo (NCh.1369 Of.1978).

#### 3.4.1.2.3. Poder de Soporte California, base con CBR $\geq$ 60%.

El CBR (NCh.1852 Of.1981) se mide a 0.2" de penetración, en muestra saturada y previamente compactada a una densidad mayor o igual al 95% de la D.M.C.S., obtenida en el ensayo Proctor Modificado (NCh. 1534/2.Of.1978) o al 80% de la densidad relativa (ASTM 4253-00 y ASTM 4254-00), según corresponda.

#### 3.4.1.2.4. Zona de heladas.

a.) Se exige para el material que pase por el tamiz 0,5 mm (ASTM N° 40), que el límite inferior sea de 0% y que por el tamiz 0,08 mm (ASTM N° 200), el porcentaje que pasa esté comprendido entre 0% y 5%.

b.) El porcentaje medio ponderado debe ser de 12% máx. para la Desintegración por Sulfato de Sodio, según NCh.1328 Of.1977.

### **3.4.2. COMPACTACIÓN**

#### **3.4.2.1. Densidad.**

La base granular se compacta hasta obtener una densidad no inferior al 95% de la D.M.C.S. obtenida en el ensayo Proctor Modificado, (NCh. 1534/2.Of.1978), o al 80% de la densidad relativa, o al 80% de la densidad relativa, (ASTM 4253-00 y ASTM 4254-00), según corresponda.

#### **3.4.2.2. Tolerancia de espesor y terminación superficial.**

Se acepta una tolerancia de terminación máxima de + 0 y – 8 mm. En puntos aislados, se acepta hasta un 5% menos del espesor de diseño.

### **3.4.3. CONTROLES**

#### **3.4.3.1. Confección y colocación.**

El Profesional Responsable o la Inspección Técnica de la Obra verifica que:

- La confección de la base se ejecute en plantas procesadoras fijas o móviles, que aseguren la obtención de material que cumpla con los requisitos establecidos.
- El material se acopie en canchas habilitadas especialmente para este efecto, de manera que no se produzca contaminación ni segregación de los materiales.
- La base granular debidamente preparada, se extienda sobre la plataforma de la vía, mediante equipos distribuidores autopropulsados, quedando así el material listo para ser compactado sin necesidad de mayor manipulación para obtener el espesor, ancho y bombeo deseados. Alternativamente, el material puede transportarse y depositarse sobre la plataforma de la vía, formando pilas que den un volumen adecuado para obtener el espesor, ancho y bombeo especificados. En este último caso, los materiales apilados se mezclan por medios mecánicos hasta obtener la homogeneidad y humedad necesarias, tras lo cual se extienden uniformemente.
- La base se construya por capas de espesor compactado no superior a 0,30 m ni inferior a 0,15 m. Espesores superiores a 0,30 m, se extienden y compactan en capas. El material que se extiende es de una granulometría uniforme, por lo que no presenta bolsones o nidos de materiales finos o gruesos.
- La tolerancia de espesor y terminación superficial sean aceptables.
- Una vez terminada la compactación y perfiladura de la sub base, ajustándose a los perfiles longitudinales y transversales del Proyecto, se presente una superficie de aspecto uniforme y sin variaciones (utilizando un nivel), salvo las tolerancias aceptadas.

En cuanto a las tolerancias, se acepta una tolerancia de terminación máxima de + 0 y – 8 mm. En puntos aislados, se acepta hasta un 5% menos del espesor de diseño.

### 3.4.3.2. Compactación.

#### 3.4.3.2.1. Densidad.

En la capa de base, se efectúa un ensayo de densidad “en-sitio” (NCh.1516 Of.1979) cada 350 m<sup>2</sup> como máximo, o como alternativa cada 50 ml de Calle o Pasaje.

Se controla la compactación preferentemente a través del ensayo del cono de arena.

#### 3.4.3.2.2. Uniformidad de compactación.

En caso que la I.T.O. o Profesional Responsable encuentre poco homogénea la uniformidad de la compactación del material de la sub-rasante, solicita al autocontrol del constructor, un control de uniformidad de la compactación, para lo cual se genera una cuadrícula uniforme de puntos de control con un mínimo de 50 puntos por cuadra (cuadra de aproximadamente 110 m longitud) cuidando que alguno de los puntos se encuentre aproximadamente a 50 cm. de un punto de control de densidad, que cumpla con el estándar de compactación especificado.

En todas aquellas zonas que se registre un valor de compactación inferior al de referencia, se repone localmente hasta lograr la especificada.

### 3.4.3.3. Material.

#### 3.4.3.3.1. Granulometría.

Se debe realizar un ensayo (NCh.1533.a1978) por obra si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija o uno por planta de procedencia. Además se verifican las condiciones de filtrado.

#### 3.4.3.3.2. Poder de Soporte California (CBR).

Se debe realizar un ensayo (NCh.1852 Of.1981) por obra si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija o uno por planta de procedencia.

#### 3.4.3.3.3. Límites de Atterberg.

Se debe realizar un ensayo (NCh.1517/1 Of.1979 y NCh.1517/2 Of.1979). por obra si el material proviene de una planta de áridos fija o uno por planta de procedencia.

#### 3.4.3.3.4. Ensayo Desgaste Los Ángeles.

Se debe realizar un ensayo por obra si el material a colocar proviene de una planta de áridos fija o uno por planta de procedencia (NCh.1369 Of.1978).

### 3.4.4. CALIDAD

Las acciones de control son realizadas por el laboratorio del constructor.



### **ART. 3.5. BASES ESTABILIZADAS CON CEMENTO**

Esta partida se refiere a la construcción de materiales tratados con cemento para ser empleados como subbase y/o base de pavimentos de Calles de Servicio, Locales y Pasajes, las cuales se refieren a suelos estabilizados para obtener resistencias a la compresión a 7 días, comprendidas entre 2.5 y 4.5 MPa. Su procedimiento de estabilización en sitio, es el descrito en Anexo Sección 2, Art. A 2.1.

### **ART. 3.6. BASES ESTABILIZADAS CON ESTABILIZADORES QUÍMICOS**

Esta partida se refiere a la construcción de materiales tratados con productos químicos, para ser empleados como subbase y/o base de pavimentos de Calles de Servicio, Locales y Pasajes, las cuales se refieren a suelos estabilizados para obtener resistencias a la compresión a 7 días, comprendidas entre 2.5 y 4.5 MPa. Su procedimiento de estabilización en sitio, es el descrito Anexo Sección 2, Art. A 2.2.

## SECCIÓN 4. PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

### ART. 4.1. DEFINICIÓN Y ALCANCE

El hormigón es una mezcla de cemento hidráulico, áridos gruesos y finos, agua y aditivos, preparado en la forma y condiciones que más adelante se expresan.

Los pavimentos de hormigón, pueden ser con juntas simples, con barras en juntas o continuamente armados, se construirán sobre una base preparada, de acuerdo a las especificaciones de la Sección 3 del presente Código, además de las Especificaciones Técnicas Especiales de cada proyecto, y en conformidad a las dimensiones, espesores y perfiles de los Planos respectivos.

Se debe cumplir con las disposiciones de las Normas Técnicas Oficiales del Instituto Nacional de Normalización u otras que se indiquen y en especial de la norma NCh. 170 Of. 1985 - Hormigón - Requisitos generales.

### ART. 4.2. MATERIALES

Los materiales que se usen en la preparación del hormigón y en la construcción de los pavimentos, deberán cumplir con los requisitos de las normas que apliquen a cada material y, de ser el caso, de las Especificaciones Técnicas Generales del proyecto. Para asegurar la calidad de los materiales se utilizan las siguientes normas o recomendaciones:

#### 4.2.1. CEMENTO

Según Norma Chilena NCh. 148.Of.1968.

#### 4.2.2. ÁRIDOS

Según Norma Chilena NCh. 163.Of.1979.

#### 4.2.3. AGUA

Según Norma Chilena NCh. 1498.Of.1982.

#### 4.2.4. ADITIVOS Y ADICIONES

Según Norma Chilena NCh. 2182.Of.1995.

#### 4.2.5. SISTEMA DE CURADO

El sistema de curado deberá estar certificado, y los materiales que se utilicen tendrán probada eficiencia en la protección del hormigón, de manera que éste, logre obtener todas las propiedades especificadas.

#### 4.2.6. MATERIALES DE SELLO

Los materiales de sello de juntas pueden ser a base de asfalto, poliuretanos, materiales premoldeados, elastoméricos, u otros. Se considera el tiempo de deterioro del material en servicio y se preserva de forma de garantizar la continuidad de su función sellante, según indicaciones de aplicación y conservación del fabricante.

#### 4.2.7. ARMADURAS

Las armaduras en elementos de hormigón armado deberán cumplir con las exigencias que se establecen a continuación, según el tipo y calidad del acero especificado:

- a.) Barras de acero: Según Norma Chilena NCh. 204.Of.2006.
- b.) Barras de acero con resaltes: Según Normas Chilenas NCh. 204.Of.2006 y NCh. 211.Of.1970.
- c.) Malla Estructural: Según Norma Chilena NCh. 218.Of.1977.
- d.) Malla estructural con resalte: Según Norma Chilena NCh. 219.Of.1977.
- e.) Barras de refuerzo: Según Norma Chilena NCh. 434.Of.1970.

Adicionalmente, es aconsejable que las armaduras estén libres de suciedad, lodo, escamas sueltas, aceite u otra sustancia extraña, al momento de la colocación del hormigón.

### ART. 4.3. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

#### 4.3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

La dosificación de los componentes del hormigón para pavimentos, consiste en determinar las cantidades mínimas de cemento, razón agua / cemento, proporción de áridos que se adecúen para cumplir con los valores de resistencias y otras propiedades que señalen las Especificaciones Técnicas del proyecto.

#### 4.3.2. ESPECIFICACIONES DEL HORMIGÓN

Los requisitos mínimos recomendados para el hormigón en pavimentos, son los entregados en la Tabla 4-I.

TABLA 4-I. ESPECIFICACIONES GENERALES DEL HORMIGON

REQUISITOS	PAVIMENTOS DE HORMIGÓN	
	CALZADAS	ACERAS
Mínima resistencia especificada a compresión a 28 días $f_c$ (MPa) <sup>(1)</sup>	35	25
Fracción defectuosa (%)	20	20
Dosis mínima de cemento (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>(2)</sup>	320	280

(1) Este valor, es un valor medio y está expresado sobre la base de probetas cúbicas de 20 cm, pero puede ser determinado en probetas cilíndricas o de otras formas geométricas, convirtiéndolo a continuación a cubos de 20 cm, acorde al Anexo A de la NCh. 170 Of.1985. La resistencia a compresión especificada del proyecto, se considera como la resistencia a la flexotracción de diseño del pavimento multiplicada por el valor 7,8.

(2) El valor de la dosis mínima corresponde al uso de cemento de grado corriente. En caso de emplear un cemento con un grado alto de resistencia, la dosis puede reducirse hasta en un 10%, cumpliendo necesariamente la resistencia a compresión especificada para el hormigón resultante.

El valor del tamaño máximo del árido, es el mayor posible que cumpla:  $D_n \leq 1/3$  del espesor de la losa y que la profundidad del corte sea mayor al tamaño máximo del árido.

El asentamiento de cono del hormigón se determina sobre la base de las necesidades de los equipos y maquinarias que se utilizarán en la construcción del pavimento y que asegure una buena calidad de terminación. De ser requerido se puede utilizar aditivos incorporadores de aire, sobre todo para equipos con molde deslizante.

## **ART. 4.4. FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN**

La fabricación del hormigón puede ser realizada en centrales hormigoneras o pesando los materiales en sitio, cumpliendo en este último caso las recomendaciones dadas en el apartado 4.4.2 para esta alternativa.

### **4.4.1. FABRICACIÓN EN CENTRALES HORMIGONERAS**

Las centrales hormigoneras que se usan en la fabricación del hormigón se encuentran reguladas por la norma NCh. 1934.Of.1992.

a.) Se considera que la fabricación en centrales hormigoneras cuenta con sistemas de precisión para la dosificación y preparación, por lo que el cumplimiento de los requisitos solicitados al hormigón preparado es de responsabilidad del proveedor, sin perjuicio de que la responsabilidad con el mandante es siempre del constructor o contratista.

### **4.4.2. FABRICACIÓN EN SITIO**

Se procede a la fabricación de hormigón en sitio, cuando se dispone de la dosificación de un laboratorio inscrito.

Esta disposición es recomendable que se cumpla cada vez que se produzca un cambio en la procedencia de los áridos, caso en el cual se diferencian claramente los acopios para asegurar el cumplimiento de la dosificación y la calidad del hormigón resultante.

Con el objeto de mantener uniformidad del hormigón fresco y cumplir con las propiedades establecidas en las Especificaciones Técnicas del proyecto, es aconsejable realizar los ensayos que se indican en el apartado 4.8.1.3.5 “Control del Hormigón Fresco”.

#### 4.4.2.1 Medición de los materiales.

Las tolerancias para dosificación en sitio son las siguientes:

- Cemento a granel:  $\pm 1\%$ .
- Áridos:  $\pm 3\%$ , se corrigen según el porcentaje de humedad presente.
- Agua:  $\pm 1\%$ , en peso o en volumen, se corrige según la humedad de los áridos y la cantidad de aditivo líquido, en caso de uso.
- Aditivos: se incorporan a la amasada con la tolerancia y en el momento recomendado por el fabricante.

### ART. 4.5. TRANSPORTE DEL HORMIGÓN

El transporte del hormigón asegura las propiedades del hormigón fresco desde la preparación hasta el punto de colocación en la obra.

#### 4.5.1. DESDE CENTRALES HORMIGONERAS

El transporte de hormigón desde centrales hormigoneras está normado por lo establecido en NCh. 1934.Of.1992.

#### 4.5.2. DESDE PLANTAS EN SITIO

El transporte de hormigón desde plantas en sitio esta normado por lo establecido en NCh. 170. Of.1985 en lo referente a este apartado.

### ART. 4.6. CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO

#### 4.6.1. PREPARACIÓN DE LA BASE

La preparación de la base se efectúa según lo especificado en la Sección 3 del presente Código.

Una vez que esté finalizada la base y lista para la recepción del hormigón, ésta se encuentra limpia y sin pozas de agua. Se provee un riego uniforme con agua de procedencia conocida y aceptada previo a la colocación del hormigón. En caso de que el Constructor no disponga de camiones de volteo lateral, es recomendable que éste tome las precauciones necesarias para que, al efectuar los vaciados del hormigón, el camión no produzca daños ni deformaciones en la superficie de la base.

Es conveniente que la base tenga una superficie homogénea y plana (sin segregación, depresiones o lomos), sin presentar desniveles, de manera de asegurar el espesor mínimo del pavimento en cualquier punto de la obra. Se pueden usar máquinas escarificadoras para mejorar la precisión de los niveles de la base.

#### 4.6.2. SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN

Para las operaciones de vaciado, extensión, compactación y terminación del hormigón en obra, pueden emplearse sistemas de moldes fijos o pavimentadoras de molde deslizante, asegurando el sistema elegido los anchos, espesores y pendientes transversales y longitudinales indicadas en el Proyecto, así como un buen manejo del hormigón en fresco.

Los equipos mecanizados y herramientas que se empleen en la construcción, se prueban para cumplir los requisitos de manejo, colocación, compactación y terminación del hormigón, que se establece en el presente Código.

##### 4.6.2.1 Pavimentación con Equipo sobre Moldes Fijos.

###### a.) Trabajos Previos:

El borde de las losas de hormigón en construcción queda restringido lateralmente por soleras, por la pared lateral del pavimento existente, o por moldes del espesor del pavimento, que están perfectamente nivelados y lisos para evitar imperfecciones en la superficie del pavimento.

Los moldes que son utilizados, pueden ser metálicos, de madera, una combinación de ambos materiales u otros. Deberán quedar adecuadamente fijados a la base del pavimento de manera de evitar su movimiento durante la colocación del hormigón y siendo capaces de no deformarse por el peso de la cercha mecánica ni por la presión lateral del hormigón. Longitudinalmente los moldes son rectos, con sección transversal trapezoidal, sin curvaturas, deflexiones, abolladuras, ni otros defectos; sin embargo, para curvas con radios menores de 30 m, pueden usarse moldes flexibles horizontalmente o moldes curvos de radio adecuado.

Se recomienda que el constructor mantenga en obra una cantidad de moldes adecuada, de acuerdo al avance de la faena. Al colocar los moldes, se asegura su linealidad general, el perfecto afianzamiento entre molde y base y entre cada molde y sus vecinos, así como la estanqueidad y la limpieza de las mismas, después de cada uso.

Los moldes quedan perfectamente conectados entre sí, tanto en altura como en eje longitudinal. No es necesario el apoyo de los moldes sobre la base si el sistema de moldeo y afianzamiento no lo requiere, pero en este caso se necesita dejar un espacio no mayor a 2 cm entre la parte inferior del molde y la base. Ya sea que los moldes queden en contacto o no con la base, el sistema de moldes queda firmemente sujeto en su posición, mediante estacas o apoyos tipo L que no permitan el movimiento por vibración de la cercha o por el empuje del hormigón fresco. Se recomienda por lo menos un apoyo, mediante un mínimo de tres sujeciones por cada de 3 m de molde de acero y al menos cuatro sujeciones por cada 3 m de molde de madera.

Las cotas, pendientes y alineaciones del moldaje se recibirán conforme por el Inspector Técnico de Obra o Profesional Responsable, inmediatamente antes de hormigonar. Se acepta como tolerancia hasta  $\pm 2$  mm con respecto a las cotas establecidas en el Proyecto.

b.) Colocación del hormigón.

El hormigón se coloca directamente sobre la base y se distribuye uniformemente a lo ancho de la faja por pavimentar y en el sentido de avance de la pavimentación, mediante sistemas que no produzcan segregación del hormigón.

La distribución manual se realiza con palas de punta cuadrada o esparcidores para evitar la segregación del hormigón.

Para la nivelación del hormigón, se utiliza una cercha vibradora que se desplaza apoyada sobre los moldes u otro sistema que se apoye en maestras o guías de hormigón fresco ubicada entre moldajes y previamente preparadas para nivelar y compactar. En ambos casos el espesor de la losa corresponde a la distancia entre el plano generado por los moldajes y la base.

Cuando se pavimente una faja adyacente y un costado de la cercha se apoye directamente sobre el hormigón endurecido, ésta se limpia y se elimina el eventual hormigón adherido a la superficie, de manera de asegurar la correcta nivelación de este lado del pavimento.

Los moldes metálicos se fabrican con planchas de acero de una sola pieza, con una altura igual al espesor de la losa y con una sección transversal que muestre en su pared lateral una saliente de forma trapezoidal a la mitad de la altura.

Los moldes permanecen en su lugar al menos una noche después de colocado el hormigón y siempre que el desmolde no dañe el borde del pavimento al retirar el moldaje.

Para la colocación de hormigón en pavimentos con armaduras, se siguen las especificaciones de la norma NCh. 170.Of.1985 y de la NCh. 430.Of2008, cuando corresponda.

Las condiciones atmosféricas del lugar de colocación se consideran para resguardar la protección del hormigón en etapas tempranas de endurecimiento. En condiciones extremas (tiempo frío, tiempo caluroso, viento excesivo o humedad relativa baja) se utilizan sistemas de protección especiales tales como túneles o carpas para mantener protegido el hormigón, así como también se toman en cuenta las recomendaciones establecidas en la NCh. 170.Of.1985 y en el apartado 4.6.7.

c.) Compactación del hormigón.

El hormigón se compacta debidamente a todo lo ancho del pavimento mediante vibradores de superficie, vibradores de inmersión o por otros procedimientos que produzcan resultados equivalentes, sin provocar segregación y cuidando que se obtenga una compactación homogénea de la mezcla. Los métodos de compactación del hormigón que resulten con deficiencias, tales como segregación o formación de nidos de piedra, son descontinuados y corregidos por el constructor.

Cuando se compacte con cercha vibradora, se exige además el uso de vibradores de inmersión en los bordes y al costado de los moldes del pavimento.

Se recomienda que los vibradores tengan una frecuencia de vibración igual o mayor que 3.500 vibraciones por minuto y sobre 5.000 vibraciones por minuto si son de inmersión. El radio de acción de los vibradores de inmersión es superior a 0,30 m.

Es aconsejable que los vibradores de inmersión no entren en contacto con los moldes ni se usen para esparcir la masa de hormigón depositado frente al equipo.

El mortero sobrante en la superficie es removido mediante un sistema enrasador (reglas) apoyado sobre el moldaje y no es reutilizado.

#### 4.6.2.2 Pavimentación con Equipos de Moldes Deslizantes.

##### 4.6.2.2.1. Definición de pavimentación con moldes deslizantes.

Se acepta la utilización de pavimentación con moldes deslizantes en los casos en que el lugar permita acomodar las configuraciones y restricciones inherentes a este sistema.

La pavimentación con moldes deslizantes, corresponde a un proceso continuo de colocación, moldeo, consolidación y terminación de la superficie de una masa de hormigón en estado plástico, por medio del desplazamiento de un equipo autopropulsado.

El principio de operación de los equipos pavimentadores con moldes deslizantes, es el de extrusión, es decir, dar forma al material forzándolo a través de un molde.

##### 4.6.2.2.2. Condiciones previas.

###### a.) Subrasante y base estabilizada.

Se requiere una estructura del suelo, acorde a la Sección 3 del presente Código para pavimento de hormigón y que sea capaz de soportar el peso del sistema de pavimentación sin deformarse.

Se considera la construcción de la base con sobrecanto para apoyar el sistema de propulsión de la pavimentadora.

###### b.) Suministro de hormigón.

Se recomienda contar con una capacidad de abastecimiento acorde al avance óptimo del equipo a ser usado, según las recomendaciones del fabricante. Para la correcta ejecución de la terminación superficial del pavimento se evita la detención de la pavimentadora durante la faena de colocación, de manera de evitar deformaciones sobre la superficie del pavimento.

###### c.) Proceso Constructivo.

Para el proceso constructivo, se debe tener en consideración la perfecta instalación y verificación de los equipos mencionados en el apartado 4.6.2.2.2 f.).

###### d.) Pines de referencia.

Es recomendable que se instalen pines de referencia en la posición que el sistema de pavimentación requiera, siendo su función dar el nivel de proyecto de la superficie del pavimento a ser construido y la posición de la calzada. Los pines se fijan con nivel de precisión topográfica dejando estos elementos totalmente normales al eje de la calzada y firmemente afianzados a la base, de manera que no sean interferidos por el tensado del cable guía.

Se recomienda que la distancia de separación entre estos elementos, no exceda los 10 m en tramos rectos de la vía, ni 5 m en tramos de curvas con radios inferiores a 500 m y curvas verticales con parámetros menores a 2.000 m.



Además, es necesario identificar en un estacado paralelo a los pines, la información de la rasante, como son la referencia topográfica y la distancia de desplazamiento lateral de los pines (se ajusta según el equipo), de manera que puedan ser verificados fácil y rápidamente en cualquier instante durante la ejecución del proyecto.

e.) Colocación de la Línea Guía.

La línea guía se instala sobre apoyos ajustados en los pines de referencia, dando la altura requerida para asegurar el espesor del pavimento. Es aconsejable que la línea guía se tense lo suficiente para evitar desviaciones entre apoyos en más de 1 mm cada 10 m.

Terminado este proceso, y antes de iniciar los trabajos de colocación del hormigón, la Inspección Técnica de Obras o el Profesional Responsable procede a realizar una verificación visual exhaustiva para evitar diferencias con lo que se estipula en el proyecto y posibles defectos accidentales que pudiesen haber ocurrido por efectos de variación de temperaturas o simplemente falla humana. Además, es importante considerar que la inspección visual se hace también durante el proceso de hormigonado, ya que el factor temperatura puede generar consecuencias no deseadas. Se recomienda tener especial cuidado de no interferir la línea guía apoyando herramientas o tránsito de personas u otros eventos durante la ejecución de la pavimentación.

f.) Preparación del equipo.

Antes de iniciar la pavimentación, se debe verificar el correcto funcionamiento de todos los equipos que componen el sistema pavimentador, mediante la verificación de una lista de chequeo preparada previamente con recomendaciones del fabricante. Se puede solicitar una prueba del sistema en vacío para ajuste y comprobación de los equipos. Se deberá verificar a lo menos lo siguiente:

- Colocadora – esparcidora.
- Pavimentadora y sus sistemas vibradores.
- Colocadora automática de membrana de curado.
- Sistema de colocación automático de barras.
- Sistema de sensores del equipo pavimentador.

#### 4.6.2.2.3. Proceso de pavimentación con moldes deslizantes.

El proceso de pavimentación inicia con la entrega de hormigón en el frente de ataque del equipo pavimentador, ya sea la extendedora o la pavimentadora misma. Lo importante es ajustar el flujo de entrega con la velocidad de avance del equipo, que permita obtener un pavimento con las condiciones deseadas. En los primeros metros de ejecución de la faena diaria se verifica el espesor de la calzada resultante y el correcto moldeo de la capa de hormigón formada, la cual no puede deformarse en los bordes ni desmoronarse, quedando perfectamente estructurada.

El proceso restante es fundamentalmente un control del proceso normal del equipo, verificando la tensión de la guía, el funcionamiento correcto de los vibradores, la terminación superficial, la perpendicularidad de los bordes dejados atrás por los moldes, desmoronamientos, etc., haciendo los controles de flujo y ajustes de velocidad del equipo respectivo.

#### 4.6.2.2.4. Colocación de Acero de refuerzo.

La colocación de barras de acero de refuerzo, puede hacerse en forma automática si el sistema pavimentador lo permite, o dejando el sistema de barras instalado previo a la colocación del hormigón, de manera que quede embebido e inalterado posterior al paso de la pavimentadora.

En el caso de instalación previa al hormigonado se cuenta con sistemas de sujeción de las barras en su posición final, de manera que queden perfectamente afianzadas a la base y no sean perturbadas por el movimiento de colocación del hormigón ni de los vibradores. Para ello, se acepta el uso de sistemas de canastillos u otros que fijen la posición de las barras. Se considera en la instalación de las barras, el uso dado a éstas, por lo que se recomienda que contenga sistemas especiales o recubrimientos, para asegurar el perfecto desempeño de la barra en la junta, según lo indicado en el apartado 4.6.4.

Se acepta la utilización de un sistema de colocación automática de barras (o insertadores automáticos DBI) que posea el sistema pavimentador, el que va colocando las barras a las distancias que fije el proyecto y en la posición correcta, de manera que el corte de junta de contracción posterior coincida en la ubicación exacta de éstas.

Se puede utilizar sistemas de localización que queden perdidos en la superficie del hormigón, de manera de permitir una buena definición de la posición de las barras para realizar el corte de juntas contracción.

#### 4.6.2.2.5. Juntas transversales de construcción

La culminación del trabajo de un día o la detención del proceso de avance de la pavimentadora por un tiempo mayor al que permita el revibrado del hormigón fresco, necesariamente implica la ejecución de una junta de construcción, la cual se recomienda procurar hacer coincidir con la posición de una junta de contracción. Para que la junta quede en la posición correcta, se determina la cantidad de hormigón necesaria a partir de los últimos camiones.

Para materializar esta junta se recomienda mantener el hormigonado terminando más allá que la posición de la junta. Posteriormente se realiza el corte en todo el espesor del pavimento y se retira el material sobrante. Se colocan barras de traspaso de carga según las indicaciones entregadas en el apartado 4.2.7. ( ver Lámina Tipo 4.4 del Apéndice III).

### 4.6.3. TERMINACIÓN Y TEXTURA DE LA SUPERFICIE

La terminación superficial puede ser automática por el sistema pavimentador o manual con equipos adecuados. Cualquiera sea el caso, se realiza un adecuado trabajo sobre la superficie para eliminar imperfecciones y deformaciones asegurando el cumplimiento del requisito de regularidad especificado.

Para asegurar la lisura del pavimento es importante disponer de equipos y herramientas terminadoras, como platachos largos que logren la planeidad requerida por el proyecto.

Para dar rugosidad a la superficie se emplean escobillones o arpilleras húmedas, cuya dirección de avance es preferentemente a lo largo del pavimento. Es recomendable que la rugosidad superficial sea visible a simple vista y de por lo menos 1 mm de profundidad.

#### **4.6.4. CONSTRUCCIÓN DE JUNTAS**

Se puede construir los siguientes tipos de juntas: contracción, expansión, construcción y longitudinales. Se procura que a ambos lados de las juntas del pavimento se conserve la misma lisura de las demás áreas de la calzada.

##### **4.6.4.1 Juntas transversales de contracción.**

Se construyen a la distancia y dirección que especifique el proyecto de diseño del pavimento, preferentemente formando losas cuadradas, de aristas igual al ancho de la calzada.

Las juntas se forman por aserrado (ver Lámina Tipo 4.5 Apéndice III), operación que el constructor ejecuta una vez que el hormigón haya endurecido lo suficiente, para evitar la desintegración del hormigón en el corte, pero antes de que se produzca agrietamiento de las losas. El corte puede realizarse cada dos o tres paños o 12 m iniciales para aliviar tensiones y luego ejecutar los cortes intermedios.

El proceder propuesto consiste en realizar cortes en una profundidad de 1/4 del espesor de diseño del pavimento con una profundidad no menor a 25 mm cuando se utilice corte en fresco y de 1/3 del espesor de diseño del pavimento cuando se utilice corte en hormigón endurecido.

Se permite realizar sólo un corte y no sellar la junta cuando se utilice sierra de un espesor no mayor a 2 mm.

Cuando el proyecto especifique el sello de las juntas, se ejecuta sobre el primer corte una apertura con un sistema de sierra que forme una ranura de aproximadamente 8 mm de ancho, con una profundidad no superior a 1/4 del espesor de la losa.

La sierra puede ser del tipo de hoja con insertos de diamante o de disco abrasivo.

Las barras de juntas de contracción deberán estar perfectamente paralelas al eje de la vía, con una tolerancia de 50 mm respecto de su posición horizontal y 20 mm respecto de la vertical, para evitar daños y agrietamiento por esfuerzos mecánicos debido a trabazón del movimiento del hormigón de las losas por las barras.

##### **4.6.4.2 Juntas transversales de expansión.**

Estas juntas se construyen en la unión de un pavimento nuevo con uno antiguo, en los cruces de pavimentos, en cambios de espesores o de anchos, en empalmes con obras de arte, en empalmes con losas armadas de acceso a obras de arte, o cada vez que así lo indique el proyecto.

Las juntas están provistas de barras para el traspaso de cargas de tráfico que son de acero A44-28H, lisas de 22 mm de diámetro y 40 cm de longitud, y espaciadas a 30 cm entre sí. Las barras se insertan en el pavimento endurecido en una profundidad igual a la mitad del largo especificado de la barra. Para ello se realiza una perforación perfectamente perpendicular al borde del pavimento y en la mitad del espesor de la losa. Las perforaciones para insertar las barras se materializan con una broca de diámetro 2 mm superior al de la barra a ser usada. Se asegura la perpendicularidad entre la perforación y el borde del pavimento para evitar fisuras por trabazón de las barras de acero al producirse el movimiento de las losas.

Las juntas transversales de expansión se construyen en las zonas donde especifique el proyecto y es recomendable que la nueva etapa de hormigonado quede por lo menos 2 cm separada del pavimento antiguo. Esta junta se rellena con material de sello compresible para evitar el ingreso de material duro que deteriore la junta.

#### 4.6.4.3 Juntas transversales de construcción.

Estas juntas se disponen en los términos de faena diarias, coincidiendo con una junta transversal de contracción especificada o aquella existente en pavimento contiguo ya construido, de ser el caso. Están provistas de barras de transmisión de cargas, en la misma forma que las juntas transversales de expansión, y en su construcción se procede en la misma forma que para dichas juntas, salvo que en este caso se omite la colocación de un material que las mantenga separadas.

#### 4.6.4.4 Juntas longitudinales.

Estas juntas dividen la calzada en dos o más fajas paralelas y la distancia máxima recomendada entre ellas es de 4,0 m. La junta nace de la colocación del hormigón en dos calzadas consecutivas o mediante el aserrado en el caso de que el pavimento se construya en más de una pista de una vez.

En el caso de que la junta se realice por tope de hormigonado de calzadas adyacentes, se colocan barras de amarre de acero estriado, mediante la realización de una perforación perfectamente perpendicular en el borde de la primera calzada de hormigonado en la que se introduce la barra y se adhiere con epóxico.

Se acepta la utilización de un sistema de barras con coplas de empalme en la zona de borde, que dejen la barra embebida en la etapa de hormigonado inicial, de manera que se evite la realización de perforaciones posteriores. En este último caso, se acopla las barras del pavimento contiguo, las que se encuentran limpias antes de la colocación del hormigón y quedan embebidas en éste.

En el caso de que se construya de una vez ambas fajas de pavimento, se provee un sistema que permita dejar colocadas las barras en la posición correcta al momento del hormigonado y posteriormente la junta se materializa mediante aserrado.

### 4.6.5. SELLADO DE JUNTAS

#### 4.6.5.1 Preparación de la junta.

Se debe verificar que las juntas que han sido aserradas para recibir sellos, cuenten con una cavidad de entre 8 y 12 mm de ancho, según el tipo de sellante y material de respaldo a emplear. Importante es materializar el sellado de las juntas para evitar su deterioro por introducción de partículas duras.

Previo al sellado, las juntas son limpiadas completamente de todo material extraño, mediante aire a presión; y se encuentren secas al momento de aplicar el sellante.

#### 4.6.5.2 Sellado.

Se coloca un cordón de respaldo de material compresible en el interior de la cavidad, pudiendo ser de goma, algodón u otro equivalente, y de diámetro del espesor de la abertura a ser sellada. Su función es la de limitar la profundidad del sellante, ayudar a mantener una configuración adecuada al mismo, y evitar la adherencia del sellante en la superficie inferior de la junta.

Para el sellado de las juntas se usa un material que puede ser a base de asfalto, poliuretano, polisulfuro, epoxipolisulfuro o silicona.

Las características que el material manifiesta, al ser sometido a ciclos repetidos de elongación, contracción y de variaciones de temperatura son:

- Impermeabilidad al agua y a la infiltración de humedad.
- Adherencia con el hormigón.
- Elasticidad durable en el tiempo.
- No fluir de la junta.
- Resistencia a los agentes químicos y atmosféricos.
- Invariabilidad volumétrica, 100% de reactividad sin solventes y resistencia a la acción de solventes aromáticos y alifáticos.
- Cumplir con la norma AASHTO M 173 – 74 y ASTM 1851 – 74.

Al aplicar el sellante, se tiene que considerar como mínimo la antigüedad de la fabricación del material a ser usado y las condiciones ambientales al momento de colocación. La aplicación del material de sello se realiza utilizando una pistola de calafateo, siguiendo las recomendaciones del fabricante para la aplicación eficiente y durable.

Se coloca la cantidad de sello necesaria para rellenar la junta hasta quedar 4 mm bajo la rasante del pavimento. Luego del sellado, los posibles derrames sobre la superficie fuera de la junta, se eliminan.

#### 4.6.6. CURADO DEL HORMIGÓN

El procedimiento de curado del hormigón se efectúa inmediatamente después de la terminación de la superficie. El constructor mantiene, durante todo el período de curado, una constante observación del pavimento y se encuentra atento para reparar cualquier área en que el sistema de curado haya sido deteriorado.

##### 4.6.6.1 Membranas de Curado.

El compuesto de las membranas de curado se acepta en caso de cumplir con las normas ASTM C 309 – 58 y AASHTO M 148 – 62; en base a resinas y capacidad de reflejar más de un 60% de la luz solar, poseer alta viscosidad y secarse en un tiempo máximo de 30 minutos.

Su aplicación puede ejecutarse aún en presencia de agua superficial, sin desmedro de sus propiedades, en una dosis mínima de 0,2 L/m<sup>2</sup> con una tolerancia del 5%.

Se aconseja aplicar el compuesto mediante nebulizadores sobre la superficie expuesta del pavimento (superficie de rodado y costados de borde), inmediatamente después de realizada la terminación rugosa.

En el caso de realizar cortes que no sean sellados, se repone la membrana luego de la ejecución de los cortes en la superficie del pavimento.

#### 4.6.6.2 Curado acelerado.

Se acepta la utilización de métodos de aceleración de fraguado del cemento, en el caso en que se requiera una rápida apertura al tráfico. Entre los métodos existentes, destacan la utilización de láminas de polietileno con burbujas, geotextiles o mantas de abrigo.

El sistema de curado acelerado se coloca tan pronto el hormigón no quede marcado por el peso del material del método empleado. Es removido en las zonas donde posteriormente se realicen cortes de junta de contracción y es vuelto a reponer.

La duración de la utilización del sistema de curado acelerado depende de la resistencia que se requiera para la apertura rápida al tráfico.

Se puede entregar al tráfico cuando el hormigón tenga por lo menos el 75% de la resistencia a compresión especificada por el diseño.

#### 4.6.7. COLOCACIÓN DE HORMIGÓN EN CLIMAS EXTREMOS

En climas fríos y calurosos se toman precauciones adicionales en la colocación del hormigón, de manera de asegurar una velocidad de endurecimiento independiente de las condiciones ambientales existentes y considerar la protección del hormigón para evitar choques térmicos que produzcan daño a la superficie.

En climas fríos se pueden considerar las siguientes acciones:

- Calentamiento de los materiales.
- Usar cemento de alta resistencia a temprana edad, para obtener un endurecimiento rápido.
- Usar aditivo acelerador de fraguado.

En climas calurosos se pueden considerar las siguientes acciones:

- Enfriar uno o más componentes antes de mezclarlos.
- Enfriar los equipos de manejo y terminación del hormigón rociándolos periódicamente con agua mediante nebulizadores.

En el caso de utilizar techos móviles de protección, se verifica que no se formen túneles que aumenten la velocidad del viento en su interior.

#### **ART. 4.7. ENTREGA DEL PAVIMENTO AL TRÁNSITO**

El pavimento puede abrirse al tránsito si se ha verificado el cumplimiento de los siguientes requisitos:

- Resistencia: la resistencia del pavimento es igual o superior al 75% de la resistencia a compresión especificada (apartado 4.8.2.3.).
- Espesores (apartado 4.8.2.1.).
- Regularidad superficial (apartado 4.8.2.2.).

En todo caso, necesariamente el constructor solicita a la Inspección Técnica o Profesional Responsable su autorización para la entrega. Excepcionalmente puede autorizar por escrito también su apertura al tránsito, estando aún pendientes algunos de los controles o si hubiere rechazo de algunos sectores de la obra.

Por otra parte, la entrega al tránsito se concede una vez que se haya constatado que la superficie del pavimento esté perfectamente limpia y se haya procedido al sellado de las juntas, de ser el caso, así como también de la correcta terminación y limpieza de las obras anexas al pavimento.

#### **ART. 4.8. CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN**

Las metodologías de control se deben realizar utilizando la normativa nacional vigente.

##### **4.8.1. CONTROL DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN**

Los controles a seguir para el aseguramiento de un control adecuado son:

###### **4.8.1.1 Cemento.**

Que el cemento cumpla en cualquier momento de su utilización los requisitos dados en NCh. 148. Of.1968 y NCh. 170.Of.1985.

###### **4.8.1.2 Agua.**

Que el agua para la fabricación del hormigón cumpla los requisitos de NCh. 1498.Of.1982. Si el suministro proviene de pozos con niveles freáticos fluctuantes, de canales o de ríos de caudal variable, se efectúa un análisis de aptitud en mortero u hormigón, las resistencias obtenidas no pueden ser inferiores al 90% de la resistencia de una muestra patrón con agua potable. Para las aguas con contenidos salinos, se analiza al inicio, y luego periódicamente, el contenido de cloruro y sulfatos solubles. Áridos.

###### **4.8.1.2.1. Ensayos.**

Se deben efectuar los ensayos fijados por la Norma NCh. 163.Of.1979, de acuerdo a las indicaciones del proyecto.

#### 4.8.1.2.2. Frecuencia de Muestreos.

Se debe contar con ensayos destinados a control de recepción con una antigüedad no superior a un año, los que pueden ser entregados por el proveedor del material, de manera de asegurar la fuente confiable de origen.

Se debe contar con a lo menos, un muestreo de áridos para ensayos destinados a control, para el uso antes del inicio de la fabricación del hormigón, con una antigüedad no mayor a los 3 meses.

En ambos casos, cuando exista un cambio de pozo o de proveedor se deben hacer nuevos ensayos.

#### 4.8.1.2.3. Almacenamiento.

Es de consideración tomar las siguientes precauciones para el almacenamiento de los áridos:

- Aislar los áridos del terreno, preparando la superficie para el acopio mediante una capa de 20 cm. del mismo árido, debidamente compactada.
- Separar los diferentes áridos mediante mamparas de tablestacados, o mediante acopios separados a lo menos 5 metros entre sí.
- Permitir que el agua liberada de la humedad de los áridos, pueda drenar libremente a través de la superficie del terreno.

#### 4.8.1.2.4. Aditivos.

Para el almacenamiento de los aditivos se considera el envejecimiento, sedimentación, efectos del calor, congelación y la mantención de la etiqueta del fabricante que identifique claramente: el nombre del producto, recomendaciones de uso, toxicidad y cuidados para el manejo.

#### 4.8.1.2.5. Control del hormigón fresco.

Los ensayos que se deben realizar al hormigón fresco se clasifican dependiendo del volumen de hormigón que vaya a ser utilizado en la obra.

##### a.) Hormigón fabricado in situ.

Se debe ejecutar los siguientes controles y ensayos, con la frecuencia que se indica:

- Control de la humedad para corregir el peso de los áridos y del agua en la dosificación (diario).
- Control de docilidad medido por medio del asentamiento de cono de Abrams, según NCh. 1019.EOf1974 (una vez al día).
- Control de rendimiento volumétrico de la amasada, mediante el ensayo de densidad aparente, aplicando el procedimiento de la NCh. 1564Of.1979 (una vez por semana o cada 50 m<sup>3</sup>).
- Control de resistencia mecánica. Se toman y ensayan a lo menos tres muestras de hormigón en la obra o cada 100 m<sup>3</sup>, según las normas NCh. 171.Of.1975 (extracción de muestras); NCh. 1017.EOf1975 (confección de probetas en obra).



El muestreo para ensayos de resistencia mecánica, se programa de forma que las muestras sean extraídas al azar, en función del volumen total de hormigón de la obra. Los ensayos realizados son los siguientes:

- Control del aire incorporado. Si se emplean aditivos incorporadores de aire, el control del porcentaje de aire se hace, a lo menos, una vez cada 50 m<sup>3</sup>.
- Control del aire atrapado: Se realiza en cada oportunidad que se muestree el hormigón para formar probetas destinadas al control de la resistencia mecánica.
- Control de temperatura: Se realiza en cada oportunidad que se muestree el hormigón para formar probetas destinadas al control de la resistencia mecánica.

Es recomendable que las tolerancias en los resultados de los ensayos al hormigón fresco, cumplan los valores establecidos en la normativa nacional vigente.

Cuando se detectan variaciones que superen a las tolerancias indicadas en dichas normas, se procede de inmediato a efectuar las correcciones y ajustes que corresponda.

b.) Hormigón fabricado en central hormigonera.

Los ensayos de evaluación de hormigones fabricados en central hormigonera se encuentran normados por lo establecido en la norma NCh. 1934.Of.1992.

Evaluación estadística de los resultados de probetas de hormigón fresco.

La evaluación estadística para la recepción del hormigón de pavimentos se realiza según los criterios de la Tabla 4-2.

TABLA 4-2. CRITERIOS DE MUESTREO DE HORMIGÓN FRESCO.

MAGNITUD DE OBRA	FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN	
	EN SITIO <sup>(1)</sup>	CENTRAL HORMIGONERA
Obra Menor (< 150 m <sup>3</sup> )	Probetas Hormigón Fresco	Estadística SERVIU <sup>(2)</sup> y dosificación <sup>(3)</sup>
Obra Mayor	Probetas Hormigón Fresco	Probetas Hormigón Fresco <sup>(4)</sup>

(1) La confección de probetas se realiza en la planta donde se produce el hormigón.

(2) Se permite usar la estadística de resistencias de obras anteriores de SERVIU, para hormigones del mismo proveedor y de iguales características.

(3) En caso de no contar con la información anterior, para el hormigón a ser usado, se puede utilizar la estadística industrial de producción del proveedor, con resultados de ensayos anteriores a hormigones de iguales características, incluyendo la dosificación del hormigón usado como respaldo.

(4) Probetas confeccionadas en el lugar de colocación. De ser necesario, se puede trasladar la muestra a un lugar diferente en que, posterior a su re-homogeneización, se confeccionan las probetas y se almacenan en un lugar donde pueda permanecer sin alteraciones hasta su retiro al laboratorio de ensayo.

## 4.8.2. CONTROL DE HORMIGÓN ENDURECIDO

### 4.8.2.1 Control de espesor del pavimento.

El control de espesor puede realizarse mediante la extracción de testigos de 5 cm de diámetro o inferior, o a través de otros métodos alternativos, no destructivos, como ultrasonido o similares.

Para controlar el espesor de un pavimento, se debe realizar una medición cada 1000 m<sup>2</sup> por faja con un mínimo de dos muestras, excepto obras de menos de 100 m<sup>2</sup>, de las que sólo se realiza una medición.

Luego de efectuada la medición, se acepta el área representada por ésta, si su altura no es inferior en más de un 5% respecto al espesor especificado.

Se recomienda que las áreas de pavimento representadas por mediciones cuya altura promedio, sea inferior en un 5% o más respecto del espesor especificado, o en más del 10% de dicho espesor, que su criterio de aceptación o rechazo deba definirse en las Especificaciones del Proyecto.

Sin embargo, cualquier área puede ser reevaluada por la Inspección Técnica o Profesional Responsable, mediante mediciones exploratorias, realizadas a distancias no menores de 3 m, ni mayores de 20 m. La realización de dichas mediciones corresponde al constructor.

### 4.8.2.2 Control de regularidad superficial del pavimento.

#### 4.8.2.2.1. Vías Expresas, Troncales y Colectoras en tramos superiores a 1000 metros.

El control de IRI (Índice de Regularidad Internacional) para vías Expresas, Troncales y Colectoras se hace por sectores homogéneos. Se entiende por ello que corresponden a una misma estructuración. No se considera puentes, badenes u otras singularidades que afecten la medición. Se mide en forma continua en tramos de 200 metros, o fracción en caso de que el último tramo de un sector homogéneo no alcance a los 200 m, y se informa el IRI (m/km) con un decimal, debidamente georeferenciados por kilometraje del proyecto.

La regularidad se mide longitudinalmente por pista, mediante un sistema perfilométrico láser clase I de precisión, midiendo la elevación del perfil al milímetro y con una frecuencia igual o superior a cuatro puntos por metro, es decir, cada 250 mm como máximo y ejecutando el programa IRI.

Alternativamente, este control se puede hacer con rugosímetros tipo respuesta, debidamente calibrados con algún sistema perfilométrico que cumpla con las mismas características mencionadas anteriormente.

El perfilómetro se hace pasar por la dirección de las huellas normales de circulación vehicular.

La evaluación del IRI se hace por media móvil, tomando los valores de cinco tramos consecutivos. Se entiende que la superficie del pavimento tiene regularidad aceptable si todos los promedios consecutivos de cinco valores de IRI, tienen un valor igual o inferior a 2.0 m/km y ninguno de los valores individuales supera 2.8 m/km.

En caso de incumplimiento de esta última condición, se recomienda que el constructor efectúe las reparaciones necesarias para llegar a un valor de IRI bajo el límite máximo establecido.

#### 4.8.2.2.2. Vías Locales y de Servicio.

Para las vías distintas a las del apartado 4.8.2.2.1, se puede proceder al control de la regularidad superficial del pavimento, mediante el empleo del equipo HI - LO (High - Low). Alternativamente se puede controlar la regularidad superficial con otro equipo en forma indirecta (Merlin).

El equipo recorre el pavimento en sentido longitudinal, a lo largo de tres posiciones paralelas al eje de la calzada. Se registran irregularidades superficiales a lo largo de su recorrido entre dos puntos situados en distancias de 3 m entre sí. Se marcan las zonas en que se compruebe irregularidades iguales o mayores que 5 mm.

Se recomienda aceptar de inmediato las losas del pavimento en donde se obtenga, en las tres posiciones del equipo, diferencias o irregularidades inferiores a 4 mm.

Las losas que muestren irregularidades comprendidas entre 5 mm y 12 mm se someten a cepillado en las zonas respectivas, con una herramienta aprobada, a fin de conseguir que dichas irregularidades se reduzcan a menos de 5 mm.

Las zonas rehechas se someten al control de regularidad superficial, en igual forma que lo descrito anteriormente.

No obstante lo anterior, las Bases Técnicas Especiales pueden establecer otro sistema para el control de la regularidad superficial y/o precisar la aplicación de este mismo sistema.

#### 4.8.2.3 Resistencia al deslizamiento.

En vías Expresas, Troncales, Colectoras, así como también en aquellas con pendientes longitudinales superiores al 10%, el coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) debe alcanzar un valor promedio mínimo de 0,60, ninguno de los valores individuales será menor a 0,55.

Los controles del coeficiente CRD serán de cargo del constructor y deberán efectuarse mediante el Péndulo Británico (Norma NLT-175). Se medirá por pista y a distancias máximas de 50m, se contará al menos con 2 mediciones por pista.

En caso de incumplimiento, se podrá optar por mejorar el coeficiente CRD mediante cepillado que cubra el 100% de la superficie del pavimento, cuando ésta tiene menos de una cuadra y de al menos una cuadra para proyectos de mayor longitud. En ambos casos se cubrirá con el cepillado todas las pistas de la calzada. De persistir el incumplimiento se rehará la carpeta de la zona afectada, delimitada ésta por el área de influencia que representa la o las medidas defectuosas.

#### 4.8.2.4 Control de resistencias del hormigón endurecido.

La resistencia del hormigón se controla de manera de asegurar que se cumpla la resistencia especificada en el proyecto. Para el control de la resistencia se usa la información obtenida de los ensayos de hormigón endurecido, realizados durante el control del mismo, que son medidas a los 28 días u otra fecha que indiquen las especificaciones especiales del proyecto.

Para la evaluación se considera la norma NCh. 1998.Of.1989 mediante el lote por parcialidades, obteniendo un grupo de muestras consecutivas, las que se evalúan a medida que se va utilizando el hormigón.

Se debe verificar que los resultados de los ensayos de hormigón endurecido no sean menores a los presentados en la Tabla 4-3 para  $f_i$  de valores individuales, y  $f_3$  del promedio de 3 valores consecutivos.

TABLA 4-3. RESISTENCIA MÍNIMA DE HORMIGONES PARA VALORES INDIVIDUALES  $f_i$  Y PARA PROMEDIO DE 3 MUESTRAS CONSECUTIVAS  $f_3$ .

Resistencia [MPa]	Especificada	Fracción Defectuosa	
		20%	
		$f_i$	$f_3$
35		29,5	33,5

Nota: Los ensayos de laboratorio se efectúan por un laboratorio certificado por el INN de acuerdo a la Norma 17025.Of.2001 e inscrito en los registros de la especialidad en el MINVU.



## SECCIÓN 5. PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

### ART. 5.1. GENERALIDADES

Los revestimientos y pavimentos asfálticos se clasifican de acuerdo a la función que desempeñan en el pavimento de una calzada, en tres grupos:

Riegos Asfálticos

Capas no estructurales

Capas estructurales

En el grupo a) Riegos Asfálticos se consideran los siguientes tipos:

a-1) Riego de imprimación.

a-2) Riego de liga

a-3) Riego de neblina

En el grupo b) Capas no estructurales se consideran los siguientes tipos:

b-1) Lechadas asfálticas .

b-2) Sellos asfálticos.

b-3) Cape seal.

b-4) Microaglomerados en frío

En el grupo c) Capas estructurales de un pavimento asfáltico se consideran los siguientes tipos:

c-1) Mezclas asfálticas en caliente.

c-2) Mezclas asfálticas en frío.

### ART. 5.2. MATERIALES ASFÁLTICOS

#### 5.2.1. CLASIFICACIÓN

Los materiales asfálticos a usarse en obras de pavimentación, se clasifican en los siguientes grupos:

- Cementos asfálticos.
- Emulsiones asfálticas.
- Asfaltos cortados.

### **5.2.2. ENSAYOS MÍNIMOS PARA EL ÁREA DE ASFALTO Y MEZCLAS ASFÁLTICAS EMPLEADAS EN PAVIMENTOS**

A continuación, se presentan los ensayos mínimos referidos a esta área, que deben cumplir los laboratorios inscritos en el Registro Oficial de Laboratorios de Control técnico de Calidad de Construcción del MINVU, según Decreto Supremo N° 10.

a.) Control de mezclas en laboratorio:

- i.) Determinación de la densidad máxima de mezclas asfálticas sin compactar, MC 8.302.37 Of.03, (LNV 12).
- ii.) Resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas usando el aparato Marshall, MC 8.302.40 Of.03.
- iii.) Determinación de la adherencia de árido-asfalto por el método estático, MC 8.302.29 Of.03, (LNV 9).
- iv.) Determinación de la adherencia de árido-asfalto mediante carbonato de sodio (Riedel - Weber), MC 8.302.30 Of.03, (LNV 10).

b.) Control de mezclas en terreno:

- i.) Muestreo de mezclas bituminosas, según LNV 14. Of.03.
- ii.) Determinación del contenido de bitumen en mezclas (ensayo de extracción), MC 8.302.36 Of.03, (LNV 11).
- iii.) Método para determinar el espesor o altura de probetas Provenientes de mezclas bituminosas compactadas, según ASTM D3549-03.
- iv.) Extracción de testigos de pavimentos asfálticos, según NCh 1171/I Of.2001.
- v.) Método para análisis granulométrico de agregados provenientes de extracción, MC 8.302.28 Of.03, (LNV 15).

c.) Asfaltos y sus derivados:

- i.) Muestreo, NCh 2332 Of.1998.
- ii.) Determinación de la viscosidad cinemática NCh 2335 Of.1998 o Método Superpave para medir la viscosidad mediante el viscosímetro rotacional brookfield, MC 8.302.24.
- iii.) Determinación de la viscosidad mediante viscosímetros capilares de vacío, NCh 2336 Of.1998.
- iv.) Determinación del punto de ablandamiento mediante el aparato de anillo y bola, NCh 2337 Of.1998

- v.) Ensayo de penetración, NCh 2340 Of.1999.
- vi.) Ensayo de película delgada rotatoria, NCh 2346 Of.1999.
- vii.) Asfaltenos en petróleos combustibles – Método por insolubles en n-heptano, NCh 2034 Of.1999.
- viii.) Ensayo de la mancha, NCh 2343 Of.1999.
- ix.) Ensayo de ductilidad, NCh 2342 Of.1999.
- x.) Método de ensayo para recuperación del asfalto por el método Abson, MC 8.302.34 Of 03, LNV 43.
- xi.) Ensayo de destilación de asfaltos cortados, NCh 2347 Of.1999.

### **5.2.3. CEMENTOS ASFÁLTICOS, ASFALTOS CORTADOS Y EMULSIONES ASFÁLTICAS**

#### 5.2.3.1. Cementos asfálticos.

##### 5.2.3.1.1. Definición.

Se definen como cementos asfálticos los ligantes hidrocarbonados, sólidos o viscosos, preparados a partir de hidrocarburos naturales por destilación, oxidación o fraccionamiento, que contienen una baja proporción de productos volátiles, poseen propiedades aglomerantes características y son esencialmente solubles en sulfuro de carbono.

##### 5.2.3.1.2. Condiciones generales.

Los cementos asfálticos presentan un aspecto homogéneo y están prácticamente exentos de agua, de modo que no formen espuma cuando se calienten a la temperatura de empleo. A efectos de aplicación de este artículo, la denominación del tipo de cemento asfáltico se hace de acuerdo a su penetración a 25°C. Conforme con su denominación, las características de los cementos asfálticos cumplen las especificaciones de:

- Tabla 5-1 para Cementos asfálticos 60-80 y 80-100.
- Para asfaltos modificados las especificaciones son:
- Tabla 5-2 para Cementos asfálticos elastoméricos AMP y AMPI. Se ha empleado la designación AMP al cemento asfáltico modificado con polímero elastomérico SBS a emplear en mezclas asfálticas, especialmente en carpetas de rodadura. Se ha empleado la designación AMPI al cemento asfáltico modificado con polímero elastomérico a ser empleado en mezclas de alto módulo en carpetas de binder.



TABLA 5-I. CEMENTOS ASFÁLTICOS POR PENETRACIÓN

GRADO DE PENETRACIÓN					
	NORMAS	60-80		80-100	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
ENSAYOS SOBRE EL ASFALTO ORIGINAL (POISES)					
Viscosidad absoluta 60°C.	NCh 2336.Of1998	Informar	-----	Informar	-----
Viscosidad 135 °C.(Centistokes)	NCh 2335.Of1998	Informar	-----	Informar	-----
Punto de Ablandamiento, °C	NCh 2337.Of1998	Informar	-----	Informar	-----
Penetración a 25°C, 100 g., 5 seg., 0,1 mm.	NCh 2340.Of1999	60	80	80	100
Ductilidad, 5°C, 5cm/min, cm.	NCh 2342.Of1999	100	-----	100	-----
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	NCh 2341.Of1999	99	-----	99	-----
Punto de Inflamación Copa Abierta, °C	NCh 2338.Of1998	232°	-----	232°	-----
Ensayo de la Mancha.	NCh 2343.Of1999				
Heptano/Xilol, máximo 20%.		Negativo		Negativo	
Índice de Penetración, IP	NCh 2340.Of1999	-1	1	-1	1

TABLA 5-1. (Continuación) CEMENTOS ASFÁLTICOS POR PENETRACIÓN

GRADO DE PENETRACIÓN					
	NORMAS	60-80		80-100	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
RTFOT (Película delgada en horno rotatorio)					
Penetración, (% del original)	NCh 2346.Of1999	54		50	
Pérdida por Calentamiento, %	NCh 2346.Of1999		0,8		0,8
Ductilidad 25°C, 5 cm/min, (cm).	NCh 2346.Of1999	100	-----	100	-----
Viscosidad absoluta 60°C.	NCh 2346.Of1999	Informar		Informar	
Índice de Durabilidad	NCh 2346.Of1999	-	3,5	-	3,5

$$\text{Índice de Durabilidad} = \frac{\text{Viscosidad absoluta a } 60^{\circ}\text{C (RTFOT)}}{\text{Viscosidad absoluta a } 60^{\circ}\text{C (Original)}}$$

TABLA 5-2. CEMENTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS CON ELASTÓMEROS.

ENSAYE	ESPECIFICACIÓN		NORMA
	AMP	AMP1	
ORIGINAL			
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	60-80	15-30	NCh2340.Of1999
Punto de Ablandamiento, °C	Mín. 65	Mín. 70	NCh2337.Of1998
Ductilidad,			NCh2342.Of1999
25°C, 5 cm/min, cm	Mín. 80	Mín. 10	
5°C, 5 cm/min, cm	Mín. 50	-	
Estabilidad al almacenamiento			NLT-328
Diferencia Punto Ablandamiento	Máx. 5	Máx. 5	NCh2337.Of1998
Diferencia Penetración	Máx. 10	Máx. 5	NCh2340.Of1999
Recuperación Elástica, torsión			NLT 329
25 °C, %	Mín. 60	-	
40 °C, %	-	Mín. 15	
Punto de Quiebre Fraass, °C	Máx. -17	Máx. -4	NCh2344.Of1999
Punto de Inflamación, °C	Mín. 235	Mín. 235	NCh2339.Of1999
RESIDUO DESPUÉS DE PELÍCULA ROTATORIA			
Variación de masa	Máx.0.8	Máx.1	
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	Mín 65	Mín 70	NCh2340.Of1999
Variación del Punto de Ablandamiento	-5 a +10	-4 a +8	NCh2337.Of1998
Ductilidad 5°C	Min.15	-	NCh2342.Of1999
Ductilidad 25°C	-	Mín 5	NCh2342.Of1999

Se recomienda incluir un reporte del ensayo de Microscopía de Epifluorecencia, para la visualización de la compatibilidad Betún-Modificador, aceptando un rango “Bueno” a “Regular”, en la compatibilidad.

### 5.2.3.1.3. Transporte y almacenamiento.

El cemento asfáltico se transporta en camiones estanques con sistema de aislación térmica, calefacción y provistas de termómetros situados en puntos bien visibles. Los estanques están preparados para poder calentar el cemento asfáltico cuando, por cualquier anomalía, la temperatura de éste baje excesivamente, impidiendo su vaciado. Asimismo, disponen de un elemento adecuado para la toma de muestras. El cemento asfáltico se almacena en planta asfáltica en uno o varios estanques, adecuadamente aislados entre sí, están provistos de bocas de ventilación para evitar que trabajen a presión y cuentan con los aparatos de medida y seguridad necesarios, situados en puntos de fácil acceso.

Los estanques en planta asfáltica se calefaccionan y están provistos de termómetros situados en puntos bien visibles y dotados de su propio sistema de calefacción, capaz de evitar que, por cualquier anomalía, la temperatura del producto se desvíe de la fijada para el almacenamiento, en más de 10 grados Celsius (10 °C). Asimismo, disponen de una válvula adecuada para la toma de muestras.

Cuando los estanques de almacenamiento no dispongan de medios de carga propios, se recomienda que los camiones empleados para el transporte de cemento asfáltico, estén dotados de medios neumáticos o mecánicos para el vaciado rápido de su contenido a los mismos. Cuando se empleen bombas para vaciado, se prefiere las de tipo rotativo a las centrífugas.

Todas las tuberías y bombas utilizadas para el vaciado del cemento asfáltico, desde el camión de transporte al estanque de almacenamiento y de éste al equipo de empleo, están calefaccionadas, aisladas térmicamente y dispuestas de modo que se puedan limpiar fácil y perfectamente después de cada aplicación y/o jornada de trabajo.

El vaciado desde los camiones de transporte a los estanques de almacenamiento se realiza por tubería directa.

Se toman todas las medidas para el cumplimiento de la legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad laboral, almacenamiento y transporte.

Se recomienda comprobar y realizar un informe de visita a planta, con copias al (los) proveedor (es), en lo referente a los sistemas de transporte y vaciado y las condiciones de almacenamiento en todo cuanto pudiera afectar a la calidad del material.

### 5.2.3.1.4. Recepción e identificación.

Cada camión estanque de cemento asfáltico que llegue a planta asfáltica, debe venir acompañado de una guía de despacho (donde indica los sellos de seguridad a verificar antes de la descarga), y un certificado con los resultados de los análisis y ensayos correspondientes a la producción (se entiende 5000 toneladas máximo) a la que pertenezca el camión suministrado. Este certificado es emitido por un laboratorio inscrito en MINVU y comprende los ensayos exigidos al tipo de cemento asfáltico suministrado, de acuerdo con las Tablas 5-1 ó 5-2, según sea el caso.

La guía debe contener explícitamente, al menos, los siguientes datos:

- Nombre y dirección de la empresa suministradora.
- Fecha de fabricación y de suministro.

- Identificación del vehículo que lo transporta y chofer
- Cantidad que se suministra.
- Denominación comercial, si la hubiese.
- Tipo de cemento asfáltico suministrado, de acuerdo con la denominación especificada en el presente artículo.
- Nombre y dirección del comprador y del destino.
- Referencia del pedido.

#### 5.2.3.1.5. Control de calidad.

##### a.) Control a la entrada del mezclador.

Considera como lote, que se acepta o rechaza, de acuerdo a lo dispuesto en el apartado 5.2.3.1.6 del presente artículo, en bloque, a la cantidad de 100 toneladas (t) o fracción diaria de cemento asfáltico.

De cada lote se toman dos muestras de al menos, un kilogramo (1 kg), según NCh 2332.Of1998, en algún punto situado entre la salida del estanque de almacenamiento y la entrada del mezclador.

Sobre una de las muestras se realiza la determinación de la penetración según NCh 2340.Of1999.

#### 5.2.3.1.6. Criterios de aceptación o rechazo.

El ITO o el Profesional Responsable rechazan la partida en el caso de que el cemento asfáltico no cumpla alguna de las especificaciones establecidas en las Tablas 5-1 ó 5-2, según sea el caso.

#### 5.2.3.2. Emulsiones asfálticas.

##### 5.2.3.2.1. Definición.

Se definen como emulsiones asfálticas las dispersiones de pequeñas partículas de un cemento asfáltico en una solución de agua, aditivos y un agente emulsionante de carácter aniónico o catiónico, lo que determina la denominación de la emulsión.

Se definen como emulsiones asfálticas modificadas con elastómeros las dispersiones de pequeñas partículas de un cemento asfáltico y de un polímero en una solución de agua, aditivos y un agente emulsionante.

##### 5.2.3.2.2. Condiciones generales.

Las emulsiones asfálticas se fabrican a base de un cemento asfáltico de los definidos en el apartado 5.2.3.1, agua, emulsionantes y, en su caso, fluidificantes.

Las emulsiones asfálticas presentan un aspecto homogéneo y una adecuada dispersión del cemento en la fase acuosa.

A efectos de aplicación de este artículo, la denominación del tipo de emulsión asfáltica es la siguiente:

Catiónica de Quiebre Rápido denominadas,

CRS - 1,

CRS - 2.

Catiónica de Quiebre Medio denominadas,

CMS - 2,

CMS - 2h.

Catiónica de Quiebre Lento denominadas,

CSS - 1,

CSS - 1h.

Aniónica de Quiebre Rápido denominadas,

RS - 1,

RS - 2.

Aniónica de Quiebre Rápido Alta Flotación denominadas HFRS - 2.

Aniónica de Quiebre Medio denominadas,

MS - 1,

MS - 2,

MS - 2h.

Aniónica de Quiebre Medio Alta Flotación denominadas,

HFMS - 1,

HFMS - 2,

HFMS - 2h.

Aniónica de Quiebre Lento denominadas,

HFMS - 2s,

SS - 1,

SS - 1h.

Modificadas con elastómero denominadas,

ECR-1 - m,

ECR-2 - m,

ECM - m,

EAM - m,

ECL - 1 - m.

De acuerdo con su denominación, las características de las emulsiones asfálticas cumplen las especificaciones de la Tabla 5-3 y Tabla 5-4 según sean aniónicas o catiónicas y para emulsiones modificadas con elastómeros correspondiente con su denominación, con la Tabla 5-5.

Las emulsiones asfálticas modificadas con elastómeros presentan un aspecto homogéneo y una adecuada dispersión del cemento asfáltico en la fase acuosa.

A efectos de aplicación de este artículo, la denominación del tipo de emulsión asfáltica modificada con elastómero se compone mediante las letras EA o EC, representativas del tipo de emulsionante utilizado en su fabricación (aniónico o catiónico), seguidas de las letras R, M o L, según su tipo de rotura (rápida, media o lenta), seguida, eventualmente, de un guión (-) y de los números 1, 2 (indicador de su contenido de betún residual) y finalmente, de un guión y la letra m (que identifica el tipo de emulsión especificada en el presente artículo), especificándose para su aplicación en vías urbanas los tipos indicados en la Tabla 5-5. En el caso de emulsiones asfálticas modificadas con elastómeros con menor penetración en el residuo por evaporación, se añade la letra d, a continuación de los números 1, 2.

TABLA 5-3. EMULSIONES ASFÁLTICAS ANIÓNICAS.

TIPO GRADO	QUIEBRE RÁPIDO				QUIEBRE RÁPIDO ALTA FLOTACIÓN		QUIEBRE MEDIO					
	RS-1		RS-2		HFRS-2		MS-1		MS-2		MS-2h	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Ensayes a la emulsión:												
Viscosidad, Saybolt Furol a 25° C, SFs.	20	100	-	-	-	-	20	100	100	-	100	-
Viscosidad, Saybolt Furol a 50° C, SFs.	-	-	75	400	75	400	-	-	-	-	-	-
Ensaye de estabilidad en almacenamiento, 24 h, %. (1)	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
Demulsibilidad, 35 ml, 0,02 N Ca Cl <sub>2</sub> , %.	60	-	60	-	60	-	-	-	-	-	-	-
Capacidad de cubrimiento y resistencia al agua:												
-Cubrimiento, agregado seco.	-	-	-	-	-	-	Bueno		Bueno		Bueno	
-Cubrimiento después esparcido.	-	-	-	-	-	-	Regular		Regular		Regular	
-Cubrimiento, agregado húmedo.	-	-	-	-	-	-	Regular		Regular		Regular	
-Cubrimiento después de esparcido.	-	-	-	-	-	-	Regular		Regular		Regular	
Ensaye de Carga Partícula.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ensaye de tamizado, %.	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10
Ensaye de mezcla con cemento, %.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



TABLA 5-3. (Continuación) EMULSIONES ASFÁLTICAS ANIÓNICAS.

TIPO GRADO	QUIEBRE RÁPIDO				QUIEBRE RÁPIDO ALTA FLOTACIÓN		QUIEBRE MEDIO					
	RS-1		RS-2		HFRS-2		MS-1		MS-2		MS-2h	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Destilación:												
Residuo por destilación, %.	55	-	63	-	63	-	55	-	65	-	65	-
Aceite destilado por volumen de emulsión, %.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ensayes al residuo de la destilación:												
Penetración a 25°C, 100 g., 5 seg., 0,1 mm.	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	40	90
Ductilidad a 25°C, cm/min, cm.	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-
Ensaye de Flotación a 60°C, s.	-	-	-	-	1.200	-	-	-	-	-	-	-
Ensaye de la mancha:												
Heptano/Xilol, % Xilol.	-	25	-	25	-	25	-	25	-	25	-	25

TABLA 5-3. (Continuación) EMULSIONES ASFÁLTICAS ANIÓNICAS.

TIPO GRADO	QUIEBRE MEDIO ALTA FLOTACIÓN						QUIEBRE LENTO					
	HFMS-1		HFMS-2		HFMS-2h		HFMS-2s		SS-1		SS-1h	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Ensayes a la emulsión:												
Viscosidad, Saybolt Furol a 25° C, SFs.	20	100	100	-	100	-	50		20	100	20	100
Viscosidad, Saybolt Furol a 50° C, SFs.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ensaye de estabilidad en almacenamiento, 24 h, %, (1)	-	1	-	1	-	1		1		1		1
Demulsibilidad, 35 ml, 0,02 N Ca Cl <sub>2</sub> , %.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Capacidad de cubrimiento y resistencia al agua:												
-Cubrimiento, agregado seco	Bueno		Bueno		Bueno		Bueno		-	-	-	-
-Cubrimiento después esparcido	Regular		Regular		Regular		Regular		-	-	-	-
-Cubrimiento, agregado húmedo	Regular		Regular		Regular		Regular		-	-	-	-
-Cubrimiento después de esparcido	Regular		Regular		Regular		Regular		-	-	-	-
Ensaye de Carga Partícula.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ensaye de tamizado, % (1)	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10
Ensaye de mezcla con cemento, %.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	-	2,0

TABLA 5-3. (Continuación) EMULSIONES ASFÁLTICAS ANIÓNICAS.

TIPO GRADO	QUIEBRE MEDIO ALTA FLOTACIÓN						QUIEBRE LENTO					
	HFMS-1		HFMS-2		HFMS-2h		HFMS-2s		SS-1		SS-1h	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Destilación:												
Residuo por destilación, %.	55	-	65	-	65	-	65	-	57	-	57	-
Aceite destilado por volumen de emulsión, %.	-	-	-	-	-	-	1	7	-	-	-	-
Ensaye en el Residuo de destilación:												
Penetración a 25°C, 100 g., 5 seg., 0,1 mm.	100	200	100	200	40	90	200	-	100	200	40	90
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm.	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-
Ensaye de Flotación a 60°C, s.	1.200	-	1.200	-	1.200	-	1.200	-	-	-	-	-
Ensaye de la mancha:												
Heptano/Xilol, % Xilol.	-	25	-	25	-	25	-	25	-	25	-	25

TABLA 5-4. EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIONICAS.

TIPO GRADO	QUIEBRE RÁPIDO				QUIEBRE MEDIO				QUIEBRE LENTO			
	CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Ensayes a la emulsión:												
Viscosidad, Saybolt Furol a 25° C, seg.	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	20	100
Viscosidad, Saybolt Furol a 50° C, seg.	20	100	100	400	50	450	50	450	-	-	-	-
Ensaye de estabilidad en almacenamiento, 24 h, %.	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
Demulsibilidad, 35 ml, 0,8% dioctylsulfosuccinato de sodio, %.	40	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Capacidad de cubrimiento y resistencia al agua:												
-Cubrimiento, agregado seco.	-	-	-	-	Bueno		Bueno		-	-	-	-
-Cubrimiento, después de esparcido.	-	-	-	-	Regular		Regular		-	-	-	-
-Cubrimiento, agregado húmedo.	-	-	-	-	Regular		Regular		-	-	-	-
-Cubrimiento, después de esparcido.	-	-	-	-	Regular		Regular		-	-	-	-
Ensaye de carga de partícula.	Positiva		Positiva		Positiva		Positiva		Positiva		Positiva	
Ensaye de tamizado, %. (1)	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10
Ensaye de mezcla con cemento, %.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	-	2,0

TABLA 5-4. (Continuación) EMULSIONES ASFÁLTICAS CATIONICAS.

TIPO GRADO	QUIEBRE RÁPIDO				QUIEBRE MEDIO				QUIEBRE LENTO			
	CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Destilación:												
-Residuo, %.	60	-	65	-	65	-	65	-	57	-	57	-
-Aceite destilado por volumen de emulsión, %.	-	3	-	3	-	12	-	12	-	-	-	-
Ensaye en el Residuo de destilación:												
Penetración a 25°C, 100 g., 5 seg., 0,1 mm.	100	250	100	250	100	250	40	90	100	250	40	90
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm.	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-
Ensaye de la mancha:												
Heptano/Xilol, %	-	25	-	25	-	25	-	25	-	25	-	25

El requerimiento de estos ensayos sobre muestras representativas puede omitirse si el material se está aplicando con buenos resultados en la obra.

TABLA 5-5. EMULSIONES ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON ELASTÓMERO.

CARACTERÍSTICA	NORMAS	ECR-1-m		ECR-2-m		ECM-m		EAM-m		ECL-1-m	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Emulsión Original:											
Viscosidad Saybolt Furol a 50°C, seg.	NCh 2334.Of1998	-	50	50	200	20	-	50	-	-	50
Ensaye de carga de partícula	NCh 2348.Of1998	Positiva		Positiva		Positiva		Negativa		Positiva	
Betún asfáltico residual, %. (1)	NCh 2348.Of1998	57	-	63	-	59	-	57	-	57	-
Sedimentación (a los 7 días), %.	NCh 2348.Of1998	-	5	-	5	-	5	-	5	-	10
Ensaye de tamizado, %.	NCh 2348.Of1998	0,10		0,10		0,10		0,10		0,10	
Ensaye de mezcla con cemento, %.	NCh 2348.Of1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
Penetración a 25°C, 100 g., 5 seg., 0,1 mm.	NCh 2340.Of1999	50	90	50	90	-	-	-	-	50	90
Punto de ablandamiento anillo y bola, °C.	NCh 2337.Of1998	50	-	50	-	40	-	40	-	50	-
Ductilidad, 5°C, 5cm/min, cm.	NCh 2342.Of1999	10	-	10	-	10	-	10	-	10	-
Recuperación elástica (25°C torsión).	NLT-329	12	-	12	-	12	-	12	-	12	-

Destilación por Evaporación. El residuo se obtiene en horno a  $T = 110^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , hasta masa constante, llegando a una temperatura máxima de  $120^{\circ}\text{C}$  durante los últimos 15 minutos. Para la evaporación se usa una bandeja plana, con la altura de la emulsión de 1 cm.

TABLA 5-6. TIPOS Y APLICACIONES DE EMULSIONES MODIFICADAS.

Emulsión Asfáltica	Carácter Iónico	Rotura	Aplicación
ECR-1-m	Catiónica	Rápida	Riego de adherencia
ECR-2-m	Catiónica	Rápida	Riego de adherencia Tratamiento superficial
ECM-m	Catiónica	Media	Mezclas en frío
EAM-m	Aniónica	Media	Mezclas en frío
ECL-1-m	Catiónica	Lenta	Microaglomerados en frío

#### 5.2.3.2.3. Transporte y almacenamiento.

Las Especificaciones Técnicas Especiales establecen las medidas a tomar para el cumplimiento de la legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad laboral, almacenamiento y transporte.

##### a.) En estanques:

Los estanques empleados para el transporte de emulsión asfáltica están constituidos por un anillo de una sola pieza; no presentan desperfectos ni fugas y su sistema de cierre es hermético.

Se recomienda evitar la utilización, para emulsiones asfálticas aniónicas, de estanque que hubiesen contenido emulsiones asfálticas catiónicas y viceversa, para lo cual los estanques van debidamente marcados por el fabricante.

Los estanques con emulsión asfáltica se almacenan en instalaciones donde queden adecuadamente protegidos de la humedad, calor excesivo, de la acción de las heladas, y de la zona de influencia de motores, máquinas, fuegos o llamas.

##### b.) En camiones estanques:

Las emulsiones asfálticas se pueden transportar en camiones estanques ordinarios, sin aislamiento ni sistema de calefacción, incluso en los empleados normalmente para el transporte de otros líquidos, siempre que antes de su carga estén completamente limpios. Los camiones estanques disponen de un elemento adecuado para la toma de muestras.

La emulsión asfáltica transportada en camiones estanques se almacena en uno o varios estanques, adecuadamente aislados entre sí, que están provistos de bocas de ventilación para evitar que trabajen a presión, y que cuenten con los aparatos de medida y seguridad necesarias, situadas en puntos de fácil acceso. Asimismo, disponen de un elemento adecuado para la toma de muestras.

Cuando los estanques de almacenamiento no dispongan de medios de carga propios, los camiones estanques empleados para el transporte de emulsión asfáltica requerirán estar dotados de medios neumáticos o mecánicos para el vaciado rápido de su contenido a los mismos. Cuando se empleen bombas de vaciado, es preferible usar las de tipo rotativo a las centrífugas.

Todas las tuberías y bombas utilizadas para el traslado de la emulsión asfáltica, desde el camión estanque de transporte al estanque de almacenamiento y de éste al equipo de empleo, se disponen de modo que se puedan limpiar fácil y perfectamente, después de cada aplicación y/o jornada de trabajo.

El vaciado desde los camiones estanques de transporte a los estanques de almacenamiento se realiza por tubería directa.

#### 5.2.3.2.4. Recepción e identificación.

Para cada partida (estanques o camiones estanques) de emulsión asfáltica que llegue a obra, se recomienda ir acompañada de una guía de despacho (donde se indica los sellos de seguridad a verificar antes de la descarga), y el certificado de análisis del producto.

La guía contiene, explícitamente, los siguientes datos:

- Patente del vehículo que lo transporta.
- Nombre y dirección de la empresa suministradora.
- Fecha de fabricación y de suministro.
- Identificación cantidad que se suministra.
- Denominación comercial, si la hubiese, y tipo de emulsión asfáltica suministrado, de acuerdo con la denominación especificada en el presente artículo.
- Nombre y dirección del comprador y del destino.
- Referencia del pedido.
- La hoja de características contiene, explícitamente, al menos:
- Referencia de la de guía de la partida.
- Denominación comercial, si la hubiese, y tipo de emulsión asfáltica suministrado, de acuerdo con la denominación especificada en el presente artículo.

#### 5.2.3.2.5. Control de calidad.

Las empresas requieren conservar la muestra durante un máximo de quince días para realizar ensayos de contraste, si fueran necesarios.

En cualquier caso, las Especificaciones Técnicas Especiales, el ITO o el Profesional Responsable, pueden fijar otro criterio para el control de recepción de los estanques.



i.) Suministro en camiones estanques:

De cada camión estanque de emulsión asfáltica que llegue a la obra sugiere tomar dos muestras de, al menos, dos kilogramos (2 kg), según NCh 2332.Of1998, en el momento del traslado del material del camión estanque al estanque, de almacenamiento.

Sobre una de las muestras se sugiere realizar los siguientes ensayos:

- Carga de las partículas, según NCh 2348.Of1998.
- Viscosidad Saybolt - Furol, según NCh 2348.Of1998.
- Residuo por destilación, según NCh 2348.Of1998.
- Tamizado, según NCh 2348.Of1998.

Para emulsiones asfálticas elastoméricas se detalla además:

Porcentaje de cemento asfáltico residual. Destilación por Evaporación. El residuo se obtiene en horno a  $T=110^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , hasta masa constante llegando a una temperatura máxima de  $120^{\circ}\text{C}$  durante los últimos 15 minutos. Para la evaporación se usa una bandeja plana, con la altura de la emulsión de 1 cm.

- Penetración, según NCh 2340.Of1999.
- Punto de ablandamiento, según NCh 2337.Of1998.
- Recuperación elástica  $25^{\circ}\text{C}$ , según la Norma NLT 329.
- La otra se puede conservar durante un máximo de quince días para realizar ensayos de contraste, si fueran necesarios.

a.) Criterios de aceptación o rechazo.

El Inspector de Obra o el Profesional Responsable rechaza la emulsión asfáltica en caso que no cumpla alguna de las especificaciones establecida en las Tablas 5-3, 5-4 y 5-5.

### 5.2.3.3. CEMENTOS ASFÁLTICOS CORTADOS

#### 5.2.3.3.1. Definición.

Se definen como asfaltos cortados a los productos resultantes de la incorporación a un cemento asfáltico de fracciones líquidas, más o menos volátiles, procedentes de la destilación del petróleo.

#### 5.2.3.3.2. Condiciones generales.

Los asfaltos cortados presentan un aspecto homogéneo y están prácticamente exentos de agua, de modo que no formen espuma cuando se calienten a la temperatura de empleo y no presenten signos de coagulación antes de su utilización.

La designación de los asfaltos cortados se realiza mediante las letras CR, CM representativas de su tipo de curado, medio o rápido, seguidas por un número indicador del valor mínimo de viscosidad cinemática según la NCh 2335.Of1998, distinguiéndose los tipos indicados en las Tablas 5-7 y 5-8.

Además y según su designación, cumplen las exigencias que se señalan en las Tablas 5-7 y 5-8.

### 5.2.3.3.3. Transporte y almacenamiento.

#### a.) En estanques.

Los estanques empleados para el transporte de los asfaltos cortados están constituidos por un anillo de una sola pieza, no presentan desperfectos ni fugas. Sus sistemas de cierre son herméticos y se conservan en buen estado, lo mismo que la unión del anillo con el fondo.

A la recepción en obra de cada partida, el ITO o el Profesional Responsable inspecciona el estado de los estanques y procede a dar su conformidad para controlar el material, o rechazarlos.

Los estanques empleados para el transporte de los asfaltos cortados se almacenan en instalaciones donde queden adecuadamente protegidos de la humedad, lluvia, calor excesivo y de la zona de influencia de motores, máquinas, fuegos o llamas. Se colocan, preferentemente, tumbados. Se extrema la vigilancia de estas condiciones cuando se teme que la temperatura ambiente pueda alcanzar valores cercanos al punto de inflamación del betún fluidificado.

Se comprueba, con la frecuencia que crea necesaria que del trato dado a los estanques durante su descarga no se producen desperfectos que puedan afectar, a la calidad del material, de no ser así, se puede utilizar el sistema de descarga que estime más conveniente.

#### b.) A granel.

Cuando el sistema de transporte sea a granel, se recomienda comunicar al ITO o al Profesional Responsable, con la debida antelación, el sistema que vaya a utilizar, a objeto de obtener la aprobación correspondiente.

Los camiones estanques empleados para el transporte de asfalto cortado fluidificado están dotados de medios mecánicos para el traslado rápido de su contenido a los depósitos de almacenamiento. Para tal fin, son preferibles las bombas de tipo rotativo, a las centrífugas. Dichas bombas se pueden limpiar perfectamente después de cada utilización.

Los asfaltos cortados se transportan en caliente, para lo cual, los camiones estanques a emplear están perfectamente calorifugados y provistos de termómetros situados en puntos bien visibles. Además, están dotados de su propio sistema de calefacción, para evitar que, por cualquier accidente, la temperatura del producto baje excesivamente.

El asfalto cortado, transportado en camiones estanques, se almacena en uno o varios estanques, adecuadamente aislados entre sí, los cuales están provistos de bocas de ventilación para evitar que trabajen a presión, cuentan con los aparatos de medida y seguridad necesarios, situados en puntos de fácil acceso.

Todas las tuberías a través de las cuales haya de pasar el asfalto cortado, desde el elemento de transporte al estanque de almacenamiento, están dotadas de calefacción y/o aisladas.

A la vista de las condiciones indicadas en los párrafos anteriores, así como de aquellas otras que, referentes a la capacidad de los camiones estanques, rendimiento del suministro, etc., que se estimen necesarias, el ITO o el Profesional Responsable, recomienda aprobar o a rechazar el sistema de transporte y almacenamiento presentado.

Se comprueba, con la frecuencia que se crea necesaria, que durante el vaciado de los camiones estanques no se lleven a cabo manipulaciones que puedan afectar la calidad del material, de no ser así, se recomienda suspender la operación hasta que se tomen las medidas necesarias para que aquélla, se realice de acuerdo con sus exigencias.

#### 5.2.3.3.4. Control de calidad.

En la recepción en obra de cada partida, siempre que el sistema de transporte y la instalación de almacenamiento cuenten con la aprobación del ITO o del Profesional Responsable, se lleva a cabo una toma de muestras, según NCh 2332.OfI 998, y sobre ellas se deben realizar los siguientes ensayos:

- Viscosidad Saybolt, según NCh 2334.OfI 998.
- Destilación, según NCh 2347.OfI 999.

Con independencia de lo anteriormente establecido, cuando se estime conveniente, se llevan a cabo las series de ensayos que se consideren necesarias para la comprobación de las demás características señaladas en las Especificaciones Técnicas Especiales. En particular, se recurre a determinar el punto de inflamación (Copa Abierta Tag) según NCh 2339.OfI 999 siempre que se tema que la temperatura ambiente pueda alcanzar el valor de dicho punto.

Si la partida es identificable y el Constructor presenta una hoja de ensayos, suscrita por un Laboratorio aceptado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo; se recomienda efectuar únicamente los ensayos que sean precisos para completar dichas series, bien entendido que la presentación de dicha hoja no afecta en ningún caso a la realización ineludible de los ensayos de viscosidad y destilación.

TABLA 5-7. REQUISITOS PARA ASFALTOS CORTADOS DE CURADO RÁPIDO.

DESIGNACIÓN	RC-70		RC-250		RC-800		RC-3.00	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Viscosidad Cinemática a 60°C, mm <sup>2</sup> /s (1)	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
Punto de Inflamación (Copa Abierta Tag.), °C			27		27		27	
Destilación:								
- Destilado, % en volumen del total destilado a 360 °C.								
a 190° C	10							
a 225° C	50		35		15		25	
a 260° C	70		60		45		70	
a 315° C	85		80		75			
- Residuo de la destilación a 360 °C, % en volumen por diferencia.	55		65		75		80	
Ensaye al residuo de destilación:								
- Viscosidad a 60°C, Pa·s (2)	60	240	60	240	60	240	60	240
- Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm. (3)	100		100		100		100	
- Solubilidad en Tricloroetileno, %	99,0		99,0		99,0		99,0	
Agua, %		0,2		0,2		0,2		0,2
Ensaye de la Mancha:								
- Heptano/Xilol (% Xilol)		20		20		20		20

Nota 1: Como alternativa puede especificarse viscosidad Saybolt Furol.

Grado RC-70 :Viscosidad Saybolt Furol a 50° C, 60-120 seg.

Grado RC-250 :Viscosidad Saybolt Furol a 60° C, 125-250 seg.

Grado RC-800 :Viscosidad Saybolt Furol a 82° C, 100-200 seg.

Grado RC-3000 :Viscosidad Saybolt Furol a 82° C, 300-600 seg.

Nota 2: En lugar de viscosidad del residuo, opcionalmente se puede especificar la Penetración a 5 s, 100g y 25°C de 80 a 120 (0,1 mm) para los grados RC-70, RC-250, RC-800 y RC-3000. Se recomienda que en ningún caso se recurra a ambos.

Nota 3: Si la ductilidad a 25°C es menor que 100, el material se puede aceptar si su ductilidad a 15°C es mayor que 100.

TABLA 5-8. REQUISITOS PARA ASFALTOS CORTADOS DE CURADO MEDIO.

DESIGNACIÓN	MC-30		MC-70		MC-250		MC-800		MC-3000	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Viscosidad Cinematica a 60°C, mm <sup>2</sup> /s (1)	30	60	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
Punto de Inflamación (Copa Abierta Tag.), °C	38		38		66		66		66	
Destilación:										
- Destilado, % en volumen del total destilado a 360 °C.										
a 225° C		30		20		10				
a 260° C	40	70	20	60	15	55		35		15
a 315° C	75	93	65	90	60	87	45	80	15	75
- Residuo de la destilación a 360 °C, % en volumen por diferencia.	50		55		67		75		80	
Ensaye al residuo de destilación:										
- Viscosidad a 60°C, Pa·s (2)	30	120	30	120	30	120	30	120	30	120
- Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm. (3)	100		100		100		100		100	
- Solubilidad en Tricloroetileno, %	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
Agua, %		0,2		0,2		0,2		0,2		0,2
Ensaye de la Mancha:										
- Heptano/Xilol (% Xilol)		20		20		20		20		20

Nota 1: Como alternativa puede especificarse viscosidad Saybolt Furol.

Grado MC-30 : Viscosidad Saybolt Furol a 25° C, 75-150 seg.

Grado MC-70 : Viscosidad Saybolt Furol a 50° C, 60-120 seg.

Grado MC-250 :Viscosidad Saybolt Furol a 60° C, 125-250 seg.

Grado MC-800 :Viscosidad Saybolt Furol a 82° C, 100-200 seg.

Grado MC-3000 :Viscosidad Saybolt Furol a 82° C, 300-600 seg.

Nota 2: En lugar de viscosidad del residuo, opcionalmente se puede especificar la Penetración a 5 s, 100g y 25°C de 120 a 250 para los grados MC-30, MC-70, MC-250, MC-800 y MC-3000. Se recomienda que en ningún caso se recurra a ambos.

Nota 3: Si la ductilidad a 25°C es menor que 100, el material se puede aceptar si su ductilidad a 15°C es mayor que 100.

### **ART. 5.3. AGREGADOS PÉTREOS**

Se recomienda que los agregados pétreos cumplan, en general, con las normas correspondientes que se indican en cada caso.

#### **5.3.1. AGREGADOS GRUESOS**

Son los agregados pétreos retenidos en el tamiz 2,5 mm. (malla N° 8).

#### **5.3.2. AGREGADOS FINOS**

Son los agregados pétreos que pasan por el tamiz 2,5 mm. (malla N° 8) y retenido en tamiz 0,08 mm. (malla N° 200).

##### **5.3.2.1. Filler Mineral**

Se define como parte del agregado fino, cuyo material pasa por el tamiz 0,63 mm. (malla N° 30).

#### **5.3.3. POLVO MINERAL**

Se define como el material que pasa por el tamiz 0,08 mm. (malla N° 200).

#### **5.3.4. ENSAYOS PARA AGREGADOS PÉTREOS.**

Los ensayos mínimos de áridos utilizados para asfalto y mezclas asfálticas son los siguientes:

a.) Áridos para asfalto:

- i.) Áridos para tratamientos superficiales y mezclas asfálticas - Tamizado y determinación de la granulometría, NCh 165.Of1977.
- ii.) Áridos para tratamientos superficiales y mezclas asfálticas - Determinación del material fino menor a 0,08 mm, NCh 1223.Of1977.

- iii.) Determinación de la cubicidad de partículas, MC 8.202.6 Of.03, (LNV 3).
- iv.) Determinación del desgaste de las gravas - Método de la máquina de los Ángeles, NCh 1369. Of1978.
- v.) Extracción y preparación de muestras de pétreos, NCh 164.EOf1976.
- vi.) Áridos para tratamientos superficiales y mezclas asfálticas - Determinación de la densidad aparente, NCh 1116.EOf1977.
- vii.) Áridos para tratamientos superficiales y mezclas asfálticas - Determinación de las densidades real y neta y absorción de agua de las gravas, NCh 1117.E Of1977.
- viii.) Áridos para tratamientos superficiales y mezclas asfálticas - Determinación de las densidades real y neta y absorción de agua de las arenas, NCh 1239.Of1977.
- ix.) Índice de Plasticidad NCh 1517/1.Of1979 y NCh 1517/2.Of1979.

## **ART. 5.4. RIEGO DE IMPRIMACIÓN**

### **5.4.1. DESCRIPCIÓN Y ALCANCES**

En esta Sección se definen las operaciones requeridas para aplicar un riego de asfalto cortado de baja viscosidad, o emulsión imprimante, sobre una base no tratada (pavimento asfáltico).

### **5.4.2. MATERIALES**

#### **5.4.2.1. Asfaltos.**

Para imprimir se emplearán productos en base a emulsiones especialmente diseñadas, con una dosis entre 0.8 y 1.2 l/m<sup>2</sup>, alternativamente es posible considerar asfaltos cortados tipo MC 30 o MC 70, pero ha de tenerse en cuenta que estos últimos, provocan efectos nocivos sobre el medio ambiente, además de restricciones importantes para su aplicación (temperatura y humedad ambiental).

El grado a utilizar depende de la textura y humedad de la base y de la temperatura ambiental. Se recomienda una viscosidad creciente para bases más abiertas y climas más calurosos. Para bases que contengan algunas sales, en especial, cuando ellas provengan del agua utilizada en su preparación, es recomendable utilizar los grados de menor viscosidad. Los asfaltos cortados cumplen con los requisitos estipulados en la especificación descrita en el apartado 5.2.3.3, con un equivalente de xilol no mayor al 20% en el Ensaye de la Mancha con heptano-xilol, determinado según NCh 2343. Of1999.

Las emulsiones cumplirán a lo indicado en la Especificación descrita en las Tablas 5-3 y 5-4 según corresponda, con un porcentaje de xilol no mayor a un 25% en el Ensaye de la Mancha con heptanoxilol, medido según NCh 2343.Of1999.

La emulsión imprimante, debe cumplir con los requisitos señalados en la Tabla 5-9.

TABLA 5-9. REQUISITOS EMULSIÓN IMPRIMANTE.

ENSAYE	EXIGENCIA	METODO
Viscosidad Saybolt Universal a 25°C (sSU)	20 – 100	NCh 2334.Of1998
Punto Inflamación (°C)	Mín. 90	NCh 2338.Of1998
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	960 – 980	NCh 2333.Of1998
Destilación		
Residuo (%)	Mín. 20	NCh 2348.Of1998
Aceite (%)	Máx. 15	NCh 2348.Of1998
Ensaye en el residuo		
Flotación a 50 °C (s)	Mín. 60	ASTM-D139-07

Es preciso, verificar que los materiales se ajusten a estas especificaciones. El muestreo de los materiales asfálticos se ajusta a lo dispuesto en NCh 2332.Of1998.

### 5.4.3. PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

#### 5.4.3.1. Instalaciones y Equipos.

Se recomienda que todas las instalaciones y equipos se mantengan en forma adecuada y en buen funcionamiento, de tal manera, que en todo momento se asegure una correcta aplicación del asfalto y se cumpla con las normas de seguridad.

#### 5.4.3.2. Almacenamiento de los Asfaltos

Los asfaltos se almacenan en estanques cerrados metálicos, de hormigón armado o de fibra de vidrio (en ningún caso del tipo diques) los que, en todo momento, se mantienen limpios y en buenas condiciones de funcionamiento. El manejo de los asfaltos se efectúa de manera de evitar cualquier contaminación con materiales extraños.

Los estanques deben tener equipos para calentar el asfalto, los que están conformados por serpentines y equipo generador de vapor; serpentines y caldera de aceite, calentamiento por gases de combustión u otros diseñados de modo que no exista contacto entre el asfalto y el vehículo usado para calentarlo. Bajo ninguna circunstancia las llamas del calentador pueden entrar en contacto directo con el estanque o con el asfalto. Es aconsejable que los estanques para las emulsiones imprimantes tengan agitación y o recirculación.



#### 5.4.3.3. Distribuidores de Asfalto.

Los distribuidores de asfalto consisten en depósitos montados sobre camiones o unidades similares, aisladas y provistas de un sistema de calentamiento que, generalmente, calienta el asfalto, haciendo pasar los gases a través de tuberías situadas en su interior. Disponen de un grupo de motobombas adecuadas para manejar productos con viscosidades entre 20 y 120 Centistokes (10 a 60 sSF). Antes de comenzar los trabajos de imprimación, se aconseja revisar los equipos.

Para asegurar un riego uniforme, se deben revisar los equipos, con el propósito de que:

- El equipo distribuidor mantenga continua y uniformemente la presión requerida a lo largo de toda la longitud de la barra regadora.
- Antes de comenzar el riego, la barra y las boquillas sean calentadas a la temperatura requerida.
- La disposición de las boquillas sea la adecuada, el ancho del abanico sea igual en todas ellas y forme con la barra, un ángulo apropiado, normalmente de 17 a 33 grad, en tanto que las extremas formen un ángulo entre 67 y 100 grad.
- El ángulo de incidencia del riego con la superficie de la vía sea de  $100 \pm 5$  grad.
- La altura de las boquillas asegure un adecuado traslape de los abanicos de distribución.
- El distribuidor se desplace a una velocidad tal, que mantenga una distribución constante. La velocidad del distribuidor y la bomba de asfalto se controlan mediante dispositivos incorporados al equipo.
- La temperatura del asfalto se controla con termómetros que permitan establecer en forma rápida la temperatura del contenido del estanque.
- El corte del vertido sea instantáneo y sin chorreo, ni goteo. El equipo asegure en todos sus componentes su estanquidad.

#### 5.4.3.4. Barredoras y Sopladores.

El equipo de limpieza incluye barredoras autopropulsadas, suplementadas con equipo de soplado, en que se ajusta la cantidad de equipo disponible a los requerimientos de la obra.

#### 5.4.3.5. Limitaciones Meteorológicas.

No se debe efectuar imprimaciones si el tiempo se presenta neblinoso o lluvioso. Las aplicaciones se deben efectuar únicamente, cuando la temperatura atmosférica sea de por lo menos 10°C y subiendo y la temperatura de la superficie a tratar, no sea inferior a 10°C.

Al utilizar una emulsión imprimante, la aplicación se debe realizar cuando la temperatura atmosférica sea por lo menos 5°C subiendo y la de la superficie no sea inferior a 5 °C.

#### 5.4.3.6. Preparación de la Superficie a Imprimir.

Previo al inicio de la imprimación sobre la superficie, es preciso tener presente que la humedad de ésta es un factor determinante para la absorción del ligante, la cual se aconseja, esté cercana a la óptima.

Antes de imprimir se retira de la superficie todo material suelto: polvo, suciedad o cualquier otro material extraño. Cuando la superficie presente partículas finas sueltas, como consecuencia de una excesiva sequedad superficial, se puede rociar ligeramente con agua, inmediatamente antes de imprimir.

En todo caso, no se imprime hasta que toda el agua de la superficie haya desaparecido.

Cuando se empleen asfaltos cortados tipo MC, la humedad de la base, según corresponda, se mide entre los 5 y 15 mm superiores. Si el material contiene finos cohesivos, la humedad no debe exceder el 50% de la humedad óptima, determinada según el Método descrito en NCh 1534/2.Of1979, pero si es inerte y con pocos finos, este porcentaje puede ser de hasta un máximo de 100%. El uso de emulsiones, no tiene limitación por humedad de los materiales a imprimir.

#### 5.4.3.7. Aplicación del asfalto.

El asfalto se aplica mediante distribuidores a presión que cumplan con lo dispuesto en el apartado 5.4.3.3. En los lugares de comienzo y término de los riegos asfálticos, se coloca un papel, cartón o polietileno de un ancho no inferior a 0,80 m. Una vez utilizado, éste se retira de inmediato.

Cuando se deba mantener el tránsito, se recomienda efectuar la imprimación primeramente en la mitad del ancho de la calzada. En tales circunstancias, la imprimación de la segunda mitad, se inicia sólo cuando la superficie de la primera mitad se encuentre cubierta con la capa superior y transitable.

Los asfaltos cortados no pueden ser calentados a una temperatura superior a la correspondiente al punto de inflamación. La temperatura de aplicación es aquella que permite trabajar con viscosidades comprendidas entre 20 y 120 centistokes (10 a 60 sSF). Las emulsiones imprimantes se aplican a la temperatura indicada por el proveedor.

Dependiendo de la textura de la superficie a imprimir, la cantidad de asfalto a colocar, en general, esta comprendida entre 0,8 y 1,5 kg/m<sup>2</sup> de superficie, debiéndose establecer la cantidad definitiva considerando un residuo colocado de 35% y obtener una absorción, después de un tiempo de absorción y secado de 6 a 12 horas en ambientes calurosos; de 12 a 24 horas en ambientes frescos y de 24 a 48 horas en ambientes fríos, o frescos y húmedos. Si la imprimación seca antes de 6 horas, salvo en épocas muy calurosas, se debe verificar la dosis y las características del imprimante y de la superficie que se esté imprimando. El material asfáltico se distribuye uniformemente por toda la superficie, aplicando la dosis establecida con una tolerancia de  $\pm 5\%$ . Al usar emulsión imprimante, el residuo asfáltico en terreno cumple con un mínimo de 35%. Se verifica la tasa de aplicación resultante cada 500 m de imprimación por pasada como mínimo, frecuencia que el Inspector Técnico de la Obra o Profesional responsable puede aumentar o disminuir de acuerdo a la tecnología que se utilice y a la longitud del tramo a imprimir. Como mínimo, esta verificación se aconseja realizarla una vez al día.

Si no se obtiene la absorción y secado requeridos a pesar de ajustar todos los trabajos a los requisitos estipulados, se debe proceder a imprimir con la base compactada hasta alcanzar aproximadamente el 90% de la D.M.C.S., determinada según ASTM 4253-00, para posteriormente, una vez absorbido y secado el asfalto, terminar con la compactación de la base hasta alcanzar la mínima densidad exigida.

Por otra parte, toda área que no haya quedado satisfactoriamente cubierta con la aplicación del riego, se trata en forma adicional, mediante riego manual. Si estas reparaciones no resultan satisfactorias, a juicio del Inspector Técnico de la Obra o del Profesional responsable, se procede a escarificar en 10 cm la superficie afectada, para volver a recompactar e imprimir.

Las estructuras, la vegetación y todas las instalaciones públicas o privadas ubicadas en el área de trabajo, se protegen cubriéndolas adecuadamente para evitar ensuciarlas. Se aconseja mantener las protecciones hasta que el asfalto haya curado o quebrado completamente.

Las superficies imprimadas se conservan sin deformaciones, saltaduras, baches o suciedad, hasta el momento de colocar la capa siguiente. Esta se coloca una vez que se verifique que el imprimante haya curado o quebrado totalmente, según se utilice asfalto cortado o emulsión, respectivamente.

## **ART. 5.5. RIEGO DE LIGA**

### **5.5.1. DESCRIPCIÓN Y ALCANCES**

En esta Sección se definen los trabajos necesarios para aplicar un riego de emulsión asfáltica sobre una superficie pavimentada, con el objeto de producir adherencia entre esa superficie y la capa asfáltica que la cubre.

### **5.5.2. MATERIALES**

#### **5.5.2.1. Emulsión.**

En los riegos de liga se emplean emulsiones asfálticas, preferentemente de quiebre rápido, las cuales cumplen con los requisitos estipulados en la Especificación descrita en el apartado 5.2.3.2 según corresponda, con un porcentaje de xilol no mayor a 25% en el Ensaye de la Mancha con heptano-xilol, medido según NCh 2343.Of1999. Además, se puede utilizar una emulsión elastomérica de quiebre lento según se especifica en la Tabla 5-5 del apartado 5.2.3.2, u otro tipo propuesto por el proveedor.

Se verifica que los materiales a emplear, se ajusten a las especificaciones. Para ello, se recomienda la presentación de certificados de ensayos de, como mínimo, una muestra de emulsión por cada partida que llegue a la faena y que se ajuste a lo dispuesto en la NCh 2332.Of1998.

### **5.5.3. PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO**

#### **5.5.3.1. Instalaciones y Equipos.**

El almacenamiento de la emulsión, así como el equipo de distribución y barrido, se debe ajustar a los requisitos estipulados en el apartado 5.4.3. de la Sección Imprimación.

#### **5.5.3.2. Limitaciones Meteorológicas.**

No se debe efectuar riegos de liga si el tiempo se presenta neblinoso o lluvioso. Las aplicaciones se efectúan únicamente cuando la temperatura atmosférica sea de por lo menos 10°C y subiendo y la temperatura de la superficie del pavimento no sea inferior a 10°C.

#### 5.5.3.3. Preparación de la Superficie a Regar.

Antes de aplicar el riego de liga, se debe preparar el pavimento existente eliminando los materiales sueltos, el polvo, la suciedad y todo otro material extraño, la superficie así preparada, es aprobada por el ITO o Profesional Responsable previo al riego.

#### 5.5.3.4. Aplicación de la emulsión.

La aplicación de la emulsión se efectúa mediante distribuidores a presión que cumplan con lo dispuesto en el apartado 5.4.3.3.

Cuando se deba mantener el tránsito, se recomienda aplicar el riego de liga primeramente en una mitad del ancho de la calzada. En tales circunstancias, el riego de la segunda mitad se inicia sólo cuando la primera mitad se encuentre cubierta con la capa superior de rodadura correspondiente.

No se transita por la superficie regada, si ello ocurre, ésta se repara completamente mediante un riego adicional, antes de colocar la capa de recubrimiento.

Las emulsiones se aplican sin diluir y a razón de 0,4 a 1,0 kg/m<sup>2</sup> de superficie. La dosis definitiva a aplicar se determina de acuerdo al estado de la superficie, siendo un mínimo absoluto un residuo asfáltico de 250 gr/m<sup>2</sup>, pudiendo llegar hasta 500 gr/m<sup>2</sup>.

En el caso de emulsiones modificadas con elastómeros, la dosis se fija entre 0,4 y 1,1 kg/m<sup>2</sup> de superficie sin diluir en agua.

Las emulsiones se aplican a una temperatura comprendida entre 20° y 50° C.

La emulsión se distribuye cuidadosa y uniformemente sobre toda la superficie a tratar, incluso sobre las paredes verticales que se generan en las uniones longitudinales entre pistas pavimentadas con mezcla asfáltica, así como también, en las juntas transversales de construcción. La dosis establecida en terreno se aplica con una tolerancia de  $\pm 5\%$ . Se verifica la tasa de aplicación con la frecuencia que el Inspector Técnico de la Obra o Profesional Responsable estime. Toda área que no resulte satisfactoriamente cubierta con la aplicación del riego, puede tratarse en forma adicional mediante riego manual.

Las estructuras, vegetación y todas las instalaciones públicas o privadas ubicadas en el área de trabajo, se protegen cubriéndolas adecuadamente para evitar ensuciarlas. Las protecciones se mantienen hasta que la emulsión haya quebrado completamente y no se produzcan salpicaduras.

Las superficies regadas se conservan sin saltaduras o suciedad hasta el momento de colocar la capa siguiente. Se aconseja no permitir el tránsito sobre las superficies regadas.

#### 5.5.3.5. Medidas de Seguridad.

Durante la ejecución de las obras, el Constructor debe tener presente lo establecido en las Disposiciones de Seguridad Vigentes.

## ART. 5.6. RIEGO DE NEBLINA

### 5.6.1. DESCRIPCIÓN Y ALCANCES.

El riego neblina es un procedimiento mediante el cual se adiciona asfalto emulsionado a una superficie de pavimento, con el objetivo de cubrir, proteger, y/o rejuvenecer la carpeta de asfalto existente. La adición de emulsión también mejora la impermeabilización de la superficie y reduce su susceptibilidad al envejecimiento, al reducir la permeabilidad al agua y al aire.

Este procedimiento se aplica en pavimentos asfálticos que presenten los primeros indicios de envejecimiento, tales como:

- Agrietamiento superficial de baja severidad.
- Perdida leve de cemento asfáltico en la superficie.
- Decoloración superficial del asfalto caracterizada por un cambio de tonalidad tendiente al color gris.

### 5.6.2. MATERIALES

#### 5.6.2.1. Emulsión.

Se utilizan emulsiones asfálticas del tipo: CSS-1h, SS-1h, CSS-1 o SS-1, según el clima y la compatibilidad con el agregado. Además, deben cumplir con los requisitos dispuestos en la Tabla 5-3 ó Tabla 5-4 según corresponda.

Dependiendo del clima característico de la zona donde se aplica el Riego Neblina es la selección de la emulsión, según la Tabla 5-10.

TABLA 5-10. TIPO EMULSIÓN A UTILIZAR.

Clima	Tipo De Emulsión
Caluroso	Emulsión de residuo duro tipo CSS-1h o SS-1h.
Frío	Emulsión de residuo normal tipo CSS-1 o SS-1.

#### 5.6.2.2. Agua.

El agua a utilizar debe ser potable y compatible con la mezcla de la emulsión, y estar libre de materias orgánicas, sales nocivas y otros contaminantes. Dar cumplimiento a lo dispuesto en la NCh 1333 Of.1987.

### 5.6.3. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO.

#### 5.6.3.1. Equipo de extensión.

Para la aplicación de la emulsión se utiliza un camión distribuidor (regador), que consiste básicamente en un estanque montado sobre el camión.

El equipo debe contar con:

- a.) Un sistema de calefacción controlado que permita mantener la temperatura óptima de trabajo de la emulsión.
- b.) Una barra regadora en la parte posterior, con una serie de boquillas, las cuales están correctamente calibradas (disposición de boquilla y altura de barra) con el fin de cumplir con la taza requerida de emulsión, sobre la superficie.
- c.) Un sistema de bombas para expulsar productos de distintas viscosidades.

Antes de comenzar los trabajos de riego, se aconseja revisar los equipos para asegurar un riego uniforme. Se deben cumplir con los siguientes requisitos:

- d.) El equipo distribuidor mantenga continua y uniformemente la presión requerida a lo largo de toda la longitud de la barra regadora.
- e.) Antes de comenzar el riego, la barra y las boquillas se calienten a la temperatura requerida.
- f.) La disposición de las boquillas sean las adecuadas; el ancho del abanico sea igual en todas ellas y formen con la barra, un ángulo apropiado, normalmente de 17 a 33 grad. En tanto, que las extremas formen un ángulo entre 67 y 100 grad.
- g.) El ángulo de incidencia del riego con la superficie de la calzada es de  $100 \pm 5$  grad.
- h.) La altura de las boquillas se ajusten para asegurar un adecuado traslape de los abanicos de distribución.
- i.) El distribuidor se circule a una velocidad tal, que mantenga una distribución constante. La velocidad del distribuidor y la bomba de asfalto se controlan mediante dispositivos incorporados al equipo.
- j.) La temperatura del asfalto se controla con termómetros que permiten establecer en forma rápida la temperatura del contenido del estanque.
- k.) El corte del vertido sea instantáneo, sin chorreo, ni goteo o usar otro sistema eficiente de corte.

#### 5.6.3.2. Estudio de la emulsión asfáltica y obtención de la fórmula de trabajo.

La emulsión se aplica diluída en agua (potable y libre de materias extrañas), en proporción 1:1 (una parte de emulsión mas una parte de agua) y a razón de 0.5 a 1 Kg/m<sup>2</sup> de superficie, dependiendo de la mayor o menor absorción (porosidad) que ésta posea.

Para estimar la tasa de aplicación, el Constructor aplica, un litro de emulsión diluída (proporción 1:1, es decir, 0.5 Kg. de agua y 0.5 Kg. de emulsión) vertida uniformemente a lo largo de una superficie de 1 m<sup>2</sup>. Esto representa una dosis de aplicación diluída de 1 Kg/m<sup>2</sup>. Si la emulsión no se absorbe en la superficie después de 2 a 3 minutos, se recomienda disminuir la tasa de aplicación y verter sobre otra superficie de 1 m<sup>2</sup>. Se repite el procedimiento hasta encontrar la tasa de aplicación adecuada.

Si después de la primera prueba, pareciera que la superficie puede absorber una mayor cantidad de emulsión diluída, se aumenta la dosis, siguiendo el mismo procedimiento de verificación, hasta encontrar la tasa de aplicación pertinente.

Una vez encontrada la dosis, se procede a verificar la correcta aplicación de la misma por medio del camión regador. Para esto se puede utilizar el método de la bandeja, el cual consiste en la colocación de una bandeja de área conocida bajo la barra regadora. Una vez que el equipo pasa sobre la bandeja, ésta se retira y se pesa la cantidad de emulsión aplicada.

#### 5.6.3.3. Recepción de materiales.

##### 5.6.3.3.1. Recepción de la emulsión.

Cada partida que llegue a la obra se inspecciona visualmente, como un primer control. La emulsión debe verse uniforme, sin nata, grumos u otra anomalía.

Al inicio de la obra la emulsión se muestrea para realizar los ensayos de recepción. No obstante, cada partida se recibe contra presentación de un certificado que responda a los requerimientos establecidos en las Especificaciones del Proyecto o al menos los requisitos de las Tablas 5-3, 5-4 o 5-5, según corresponda.

Las emulsiones se almacenan en estanques cerrados metálicos, de hormigón armado o de fibra de vidrio (en ningún caso del tipo diques) los que, en todo momento, se mantienen limpios y en buenas condiciones de funcionamiento. El manejo de los asfaltos se efectúa de manera de evitar cualquier contaminación con materiales extraños.

Cuando se requiera, los estanques deben tener equipos para calentar la emulsión, los que están conformados por serpentines y equipo generador de vapor, serpentines y caldera de aceite, calentamiento por gases de combustión u otros diseñados, de modo que no exista contacto entre la emulsión y el vehículo usado para calentarlo. Bajo ninguna circunstancia las llamas del calentador pueden entrar en contacto directo con el estanque o con la emulsión. Es aconsejable que los estanques para las emulsiones tengan agitación.

#### 5.6.3.4. Fabricación del riego neblina.

La proporción de los componentes del riego debe corresponder a la fórmula aprobada por el ITO o el Profesional Responsable.

#### 5.6.3.5. Preparación de la superficie.

Previo a la aplicación del Riego Neblina, se debe tener una superficie limpia, con ausencia de polvo y materias extrañas. Para lograr esto, se barre la superficie con una barredora automática o con aire a presión. En los lugares inaccesibles a estos equipos se pueden emplear escobas de mano. Se cuida especialmente de limpiar los bordes de la zona a tratar.

En caso de existir materias adheridas a la superficie, se sugiere lavar y dejar secar ésta, antes de la colocación del riego.

#### 5.6.3.6. Extensión del riego.

La aplicación se debe hacer con un camión regador y la temperatura de la emulsión estar comprendida entre 20 °C y 50 °C, dependiendo del tipo de emulsión y la temperatura ambiente.

La emulsión se debe distribuir uniformemente sobre toda la superficie a tratar, aplicando la dosis establecida en terreno con una tolerancia de  $\pm 5\%$ . Si, por las características de la superficie, resultan áreas localizadas en las cuales, la cantidad aplicada es insuficiente, ellas pueden reforzarse mediante un regado manual. La dosis de aplicación se verifica cada 500 m por pasada como mínimo, frecuencia que se puede aumentar o disminuir, de acuerdo a la tecnología del equipo que se utilice y la longitud del tramo. Como mínimo esta verificación se hará una vez al día.

Cuando se mantenga el tránsito, se recomienda efectuar el riego primeramente en una mitad de la calzada. El riego de la segunda mitad, sólo comienza cuando el de la primera, haya quebrado completamente y se encuentre el pavimento en condiciones de ser entregado al tránsito.

Se evitará todo tipo de circulación sobre el sello neblina mientras la emulsión no haya quebrado.

#### 5.6.3.7. Limitaciones de la ejecución.

La aplicación del riego neblina se llevará a cabo sólo cuando la temperatura ambiente sea superior a diez grados Celsius (10 °C). Dicho límite se puede rebajar a cinco grados Celsius (5 °C), si la temperatura ambiente tiende a aumentar. No se debe realizar trabajos si hay tiempo neblinoso, probabilidades de lluvia o viento fuerte.

En general, cuando se utilicen emulsiones asfálticas en zonas frías, se debe poner especial atención en que las condiciones climáticas sean las adecuadas para permitir el tiempo de quiebre de las emulsiones, antes que se produzca el congelamiento.

#### 5.6.3.8. Recepción de la unidad terminada.

El ITO o el Profesional Responsable verificarán visualmente la homogeneidad superficial del riego.



## **ART. 5.7. RIEGOS MATAPOLVOS**

### **5.7.1. DESCRIPCIÓN Y ALCANCES**

Se usan para eliminar el polvo en vías no pavimentadas de suelo estabilizado, carpeta de rodado granular existente o suelo natural.

### **5.7.2. MATERIAL ASFÁLTICO**

Para los riegos matapolvos se recomienda usar un asfalto diluido de curado medio o lento, o emulsiones, según lo especifiquen las Bases Técnicas Especiales, dependiendo del tipo de suelo a tratar.

### **5.7.3. PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO**

Se rigen por lo establecido en el apartado 5.4.3 del presente Código.

## **ART. 5.8. LECHADA ASFÁLTICA Y MICROPAVIMENTO**

### **5.8.1. DESCRIPCIÓN Y ALCANCES**

La Lechada asfáltica es una mezcla compuesta por emulsión asfáltica de quiebre lento, árido bien graduado, polvo mineral y agua. Eventualmente, se puede incorporar algunos aditivos, si se requieren.

El Micropavimento posee los mismos componentes que la Lechada asfáltica, pero la emulsión utilizada es modificada con polímeros y los áridos son de mayor calidad mecánica que los utilizados en las Lechadas, por lo cual, el Micropavimento es utilizado en vías importantes.

En actividades de conservación, se aplican principalmente para sellar la superficie del pavimento, rellenando las grietas superficiales de baja severidad y defectos menores. Se utilizan también para detener el desgaste superficial y para mejorar la fricción entre el pavimento y el neumático.

### **5.8.2. MATERIALES.**

#### **5.8.2.1. Emulsión.**

Para las Lechadas asfálticas se pueden utilizar emulsiones del tipo: CSS-1h, CSS-1, SS-1h o SS-1, según la compatibilidad con la carga del agregado y el clima. Las emulsiones deben cumplir, además, con los requisitos dispuestos en la Tabla 5-3 ó Tabla 5-4, según corresponda.

Dependiendo del clima característico de la zona donde se aplica la Lechada asfáltica, se selecciona la emulsión según Tabla 5-1 I.

TABLA 5-1 I. TIPO DE EMULSIÓN A UTILIZAR.

Clima	Tipo De Emulsión
Caluroso	Emulsión de residuo duro tipo CSS-1h o SS-1h.
Frío	Emulsión de residuo normal tipo CSS-1 o SS-1.

En algunos casos no es posible cumplir los objetivos de la aplicación de la Lechada utilizando emulsiones convencionales. En estos casos, es necesario usar una emulsión modificada con elastómeros. Las principales condiciones que requieren la utilización de emulsiones modificadas son:

- Zonas con temperaturas extremas (muy altas o muy bajas).
- Zonas de fuertes diferenciales térmicos (día- noche, invierno-verano).
- Vías Colectoras, Troncales, Expresas.
- Fuertes pendientes (8 a 10%).
- Zonas de frenado.
- Curvas cerradas.
- Los requisitos de las emulsiones modificadas se encuentran en la Tabla 5-5.
- Para los Micropavimentos se utilizan emulsiones modificadas según la Tabla 5-6.
- Nota: a continuación, todo lo referente a Lechadas asfálticas, se cumple también para Micropavimentos.

### 5.8.2.2. Áridos.

#### 5.8.2.2.1. Generalidades.

Los áridos deben estar limpios (exentos de terrones de arcilla, materia vegetal u otra), angulares, durables y de graduación continua.

#### 5.8.2.2.2. Granulometrías Lechadas.

La granulometría para los distintos tipos de Lechadas van de más finas a más gruesas y corresponden a los tipos A-I, B-I, y C-I, respectivamente (Ver Tabla 5-12). Para procedimientos de conservación en Lechadas se pueden utilizar las bandas A-I y B-I, por ser las más finas y por lo tanto, la más adecuada para sellar pequeñas grietas y defectos superficiales.

La banda A-I se utiliza para sellado de grietas y sello fino en vías con tráfico liviano. La banda B-I se utiliza en sello general y para aumentar la textura.

Para Micropavimentos se utiliza únicamente la banda C-I.

TABLA 5-12. GRANULOMETRÍAS DE LOS ÁRIDOS PARA LECHADAS ASFÁLTICAS.

TAMICES		BANDAS GRANULOMÉTRICAS		
		PORCENTAJE EN PESO QUE PASA; %		
(mm)	(ASTM)	Tipo A-1	Tipo B-1	Tipo C-1
12,5	(1/2")			
10	(3/8")		100	100
5	(N°4)	100	85 – 95	70 – 90
2,5	(N°8)	85 – 95	62 – 80	45 – 70
1,25	(N°16)	60 – 80	45 – 65	28 – 50
0,63	(N°30)	40 – 60	30 – 50	18 – 34
0,315	(N°50)	25 – 42	18 – 35	12 – 25
0,16	(N°100)	15 – 30	10 – 24	7 – 17
0,08	(N°200)	10 – 20	5 – 15	5 – 11

5.8.2.2.3. Árido Grueso.

Se define como árido grueso a la parte del conjunto de fracciones granulométricas retenida en el tamiz 2,5 mm según NCh 165 Of.1977.

El árido grueso se obtiene triturando piedra de cantera o grava natural.

Para Lechadas asfálticas el árido debe cumplir con los requisitos dispuestos en la siguiente Tabla 5-13.

TABLA 5-13. REQUISITOS PARA ÁRIDOS DE LECHADAS ASFÁLTICAS.

ENSAYE	EXIGENCIA	Norma
Equivalente de Arena	Min. 60%	NCh1325.Of1978
Partículas Chancadas	Vías Expresas, Troncales, Colectoras: Min.100%	NLT-358
	Vías De Servicio, Locales y Pasajes: Min. 75%	
Índice de Lajas	Vías Expresas, Troncales, Colectoras: Máx. 25%	NLT-354
	Vías De Servicio, Locales y Pasajes: Máx. 30%	
Desgaste Los Ángeles	Vías Expresas, Troncales, Colectoras: Máx.20 %	NCh1369.Of1978
	Vías De Servicio, Locales y Pasajes : Máx.25%	
Índice De Trituración Total	Máx. 3,5%	UNE-EN 933-5
Hervido de Texas	_	ASTM D3625-96

Para Micropavimentos los requisitos para el árido se encuentran dispuestos en la Tabla 5-14.

TABLA 5-14. REQUISITOS DE LOS ÁRIDOS PARA MICROPAVIMENTOS.

ENSAYE	EXIGENCIA	MÉTODO
Partículas Chancadas	100	NLT-358
Desintegración por sulfato de Sodio	Máx. 12%	NCh 1328.Of1977
Desgaste Los Ángeles	Máx. 25%	NCh 1369.Of1978
Equivalente Arena	Mín. 60%	NCh 1325.Of1978
Índice Plasticidad	NP	NCh 1517/2.Of1979

#### 5.8.2.2.4. Árido fino

Se define como árido fino a la parte del conjunto de fracciones granulométricas que pasa por tamiz 2.5 mm y que es retenida por el tamiz 0,08 mm, según NCh 165.Of 1977.

Se recomienda que el árido fino proceda de la trituración de piedra de cantera o grava natural en su totalidad o en parte de yacimientos naturales.

Únicamente para vías de servicios, locales y pasajes, puede emplearse arena natural, no triturada, la cual se recomienda no ser superior al veinte por ciento (20%) de la masa total del árido combinado, sin que supere, en ningún caso, el porcentaje de árido fino triturado, empleado en la mezcla.

Se recomienda que el árido fino sea de la misma naturaleza que el árido grueso y cumpla las condiciones exigidas en las Tablas 5-13 y 5-14 sobre el Ensayo Desgaste Los Ángeles.

#### 5.8.2.2.5. Polvo mineral.

Se define como polvo mineral a la parte del conjunto de fracciones granulométricas (árido y productos minerales de aportación) que pasa por el tamiz 0,08 mm según NCh 165 Of.1977.

Puede suplirse el polvo mineral incluido en el árido grueso y fino con un producto comercial o especialmente preparado, cuya misión sea acelerar el proceso de rotura de la emulsión o activar la cohesión de la Lechada asfáltica. Las Proporciones y características de esta aportación, las proporciona el laboratorio que diseñe la lechada, ya que es quien primero advierte el comportamiento árido-emulsión.

#### 5.8.2.3. Agua.

El agua debe ser potable y compatible con la mezcla de la Lechada, libre de materias orgánicas, sales nocivas y otros contaminantes y que cumpla lo dispuesto en NCh 1333.Of1987.

### **5.8.3. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO**

#### 5.8.3.1. Equipo de fabricación y extensión.

La Lechada se fabrica en mezcladoras móviles autopropulsadas que simultáneamente realizan la extensión. El equipo dispone de los elementos para realizar o facilitar la carga de todos los materiales (áridos, emulsión, adiciones, agua etc.), así como de la capacidad de carga necesaria para realizar aplicaciones en continuo de más de quinientos metros (500 m). Se recomienda que el mezclador sea de tipo continuo, y los tanques y tolvas de los distintos materiales tengan su salida sincronizada con él, con las dosis necesarias para lograr la composición correspondiente a la fórmula de trabajo. La Lechada pasa del mezclador a la caja repartidora a través de una compuerta regulable, provista del número de salidas necesarias para distribuir uniformemente la Lechada asfáltica en la caja repartidora.

La extensión de la Lechada asfáltica se realiza por medio de la caja repartidora, remolcada sobre la superficie a tratar, generalmente por el equipo que lleva la mezcladora.

Se recomienda que dicha caja sea metálica, de anchura regulable, y esté dotada de dispositivos de cierre laterales (para evitar pérdida de Lechada) y de una enrasadora de goma flexible. Es aconsejable que ambos dispositivos sean ajustables, de modo que puedan ser adaptados a las secciones con peraltes o bombeos, asegurando una aplicación uniforme de Lechada y que la goma de la enrasadora sea renovada cuantas veces resulte preciso, de modo que la caja lleve en su interior un dispositivo que reparta uniformemente la Lechada ante la enrasadora.

### 5.8.3.2. Estudio de la Lechada asfáltica y obtención de la fórmula de trabajo.

La fórmula de trabajo será propuesta al ITO o Profesional Responsable, para su aprobación, al menos con 15 días de anticipación al comienzo de las obras.

Dicha fórmula debe señalar:

- La granulometría de los áridos combinados, empleando los tamices establecidos en la definición de granulometría en la Tabla 5-16, con los porcentajes de las distintas fracciones a emplear en la mezcla.
- El tipo de emulsión.
- La dosificación de emulsión, referida a la masa total de los áridos.
- La dosificación del polvo mineral, referida a la masa total de los áridos.
- Cuando se utilicen otro tipo de adiciones, su dosificación.
- El contenido de emulsión y de las adiciones, cuando se requiera, se fijan por laboratorio donde se evalúa las dosificaciones más adecuadas de las distintas alternativas de materiales y/o aditivos.

TABLA 5-15. CRITERIOS DE DOSIFICACIÓN DE LECHADAS.

		CRITERIO SEGÚN VÍAS			
ENSAYO	MÉTODO	Expresas Y Troncales	Colectoras	Servicios Y Locales	Pasajes Y Sellos (*)
Consistencia [cm]	NLT-317	0 a 2			
Abrasión En Medio Húmedo [g/m <sup>2</sup> ]	NLT-320	450	550	650	750
Par de Torsión mínimo a 60 minutos [kg*cm]	NLT-323	Min. 20	Min. 20	-	-

(\*) Cuando la Lechada asfáltica tenga la finalidad exclusiva de sellar un pavimento.

Puede mejorarse la adhesividad entre el árido y la emulsión mediante activantes o cualquier otro producto evaluado por la experiencia. En tales casos, el laboratorio que hace el diseño define las condiciones que tienen que cumplir dichas adiciones y las Lechadas asfálticas resultantes.

### 5.8.3.3. Recepción de materiales.

#### 5.8.3.3.1. Recepción de ligante.

Al inicio de la obra se muestrea el ligante para realizar los ensayos de recepción. No obstante, cada partida se recibe contra presentación de un certificado que responda a los requerimientos establecidos en las Especificaciones Técnicas Especiales o al menos los requisitos de la Tabla 5-3, Tabla 5-4 o Tabla 5-5, según corresponda.

Se debe almacenar los asfaltos en estanques cerrados, metálicos, de hormigón armado o de fibra de vidrio (en ningún caso del tipo diques) los que, en todo momento, se aconseja mantenerlos limpios y en buenas condiciones de funcionamiento.

El manejo de los asfaltos se efectúa de manera de evitar cualquier contaminación con materiales extraños.

Cuando se requiera, los estanques deben tener equipos para calentar el asfalto, los que están conformados por serpentines y equipo generador de vapor, serpentines y caldera de aceite, calentamiento por gases de combustión u otros diseñados, de modo que no exista contacto entre el asfalto y el medio usado para calentarlo.

Bajo ninguna circunstancia las llamas del calentador pueden estar en contacto directo con el estanque o con el asfalto.

#### 5.8.3.3.2. Recepción de áridos.

Los áridos deben producirse o suministrarse en fracciones granulométricas diferenciadas, las cuales se acopian y manejan por separado. La combinación de las distintas fracciones en las proporciones definidas en la fórmula de trabajo puede hacerse en el propio acopio, empleando medios mecánicos que aseguren la homogeneidad de la mezcla resultante.

Los áridos combinados se deben acopiar por separado, tomando las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones hasta el momento de la carga en el equipo de fabricación.

Cada fracción del árido se deben acopiar separada de las demás, sobre una superficie limpia, plana y nivelada, evitando Inter-contaminaciones.

Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se debe utilizar los quince centímetros (15 cm) inferiores de los mismos. Las cargas del material se colocan adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación o contaminación.

Cuando se detecten anomalías en el suministro de los áridos, se recomienda acopiar por separado. Esta misma medida puede ser aplicada cuando se autorice el cambio de procedencia de un árido.

#### 5.8.3.3.3. Recepción de polvo mineral.

Se recomienda que por su sensibilidad a la humedad, el polvo mineral se almacene en contenedores metálicos. En caso de ser suministrados en sacos, se almacenen en una bodega.

#### 5.8.3.4. Fabricación de la Lechada asfáltica.

Las proporciones de los componentes de la Lechada se deben atener a la fórmula de trabajo aprobada por el ITO o el Profesional Responsable.

La incorporación de los materiales puede hacerse de manera que el recubrimiento de los áridos por el ligante sea completo y homogéneo, mientras la Lechada permanezca en la mezcladora.

Se debe pasar la Lechada fabricada a la caja repartidora de forma continua. El desnivel entre el vertedero del mezclador y la caja esparcidora se regula, de forma que no se produzcan segregaciones.

Toda Lechada heterogénea o que muestre un recubrimiento defectuoso de los áridos por la emulsión, pudiese ser rechazada.

#### 5.8.3.5. Preparación de la superficie existente.

Se debe, previo a la colocación de la Lechada, aplicar un riego de liga en pavimentos antiguos. Su objetivo es permitir una correcta adherencia de la Lechada a la superficie subyacente. En pavimentos nuevos la aplicación del riego puede ser opcional.

Inmediatamente antes de proceder a la aplicación de la Lechada, se debe limpiar la superficie: de polvo, suciedad, barro, materias sueltas o perjudiciales. Para ello, se utiliza barredoras mecánicas o aire a presión. En lugares inaccesibles a estos equipos se puede emplear escobas de mano. Se cuida especialmente de limpiar los bordes de la zona a tratar. En caso de existir materias adheridas a la superficie, ésta se lava y dejar secar antes de la colocación de la Lechada.

Si en la superficie de pavimento existe un exceso de ligante, se debe eliminar mediante fresado y reparan los desperfectos que pudieran impedir una correcta adherencia de la Lechada.

El ITO o Profesional responsable puede autorizar, si lo estima conveniente, la humectación de la superficie a tratar inmediatamente antes de la aplicación de la Lechada asfáltica, con la dotación de agua fijada por él, repartida de manera uniforme.

#### 5.8.3.6. Extensión de la Lechada asfáltica.

Es recomendable que las Especificaciones Técnicas Especiales, o en su defecto el ITO o el profesional responsable, establezcan la anchura extendida en cada aplicación. El avance de los equipos de extensión se puede hacer paralelamente al eje de la vía, con la velocidad conveniente para obtener la dotación prevista y una textura uniforme, de tal forma que los bordes longitudinales de la Lechada coincidan con las juntas longitudinales del pavimento existente.

Cuando se extienda la Lechada por franjas longitudinales, entre cada dos (2) contiguas puede establecerse un traslape de diez centímetros (10 cm). En el caso de aplicaciones de segunda capa, se recomienda no coincidir los traslapes de la primera y la segunda capa, para evitar una dosis excesiva.



Al finalizar la extensión de cada franja se hace una junta transversal de trabajo, de forma que quede recta y perpendicular al eje de la vía.

Cuando la Lechada se aplique en áreas de difícil acceso para la caja esparcidora, se puede extender con enrasadoras de mano, provistas de cintas de goma flexible u otros medios.

La Lechada asfáltica se coloca por capa de espesor comprendido entre 3 y 10 mm, según las Especificaciones Técnicas Especiales. Para espesores mayores se aplicarán capas sucesivas, previo quiebre de la capa precedente. Cuando se especifique el paso de un rodillo neumático para acelerar la salida del agua de la lechada y su mejor maduración, éste se efectúa con rodillo neumático autopropulsado. El paso del rodillo comienza sólo cuando el quiebre de la Lechada o Microaglomerado permita el paso de los rodillos sin que se adhiera a las ruedas.

#### 5.8.3.7. Limitaciones de la ejecución.

##### 5.8.3.7.1. Limitaciones climáticas.

La aplicación de la Lechada asfáltica se llevará a cabo sólo cuando la temperatura ambiente sea superior a diez grados Celsius (10 °C). Dicho límite se puede rebajar por el ITO a cinco grados Celsius (5 °C), si la temperatura ambiente tiende a aumentar. No se debe hacer trabajos si hay tiempo neblinoso, probabilidades de lluvia, formación de hielo en el pavimento o viento fuerte.

En general, cuando se utilicen emulsiones asfálticas en zonas frías, se debe poner especial atención en que las condiciones climáticas sean las adecuadas, para permitir el tiempo de quiebre de las emulsiones, antes que se produzca el congelamiento.

##### 5.8.3.7.2. Limitaciones técnicas.

No se debe colocar una mezcla cuya emulsión haya quebrado antes de las operaciones de esparcido, ni cuando hayan demoras de más de 30 minutos entre la preparación de la mezcla y su colocación. Se deben tener mezclas homogéneas y uniformes, para lo cual, el Constructor, dispondrá del número de unidades mezcladoras suficientes para asegurar una operación continua e ininterrumpida.

Se debe evitar todo tipo de circulación sobre la Lechada asfáltica mientras la emulsión no haya quebrado y la Lechada no haya adquirido la resistencia suficiente para soportar el tránsito.

Cuando se prevea más de una (1) capa de Lechada, se puede aplicar la última, después de haber sometido la anterior a la acción de la circulación, durante al menos un (1) día y previo barrido del material desprendido.

Cuando se requiera mantener el tránsito, se recomienda colocar la Lechada asfáltica por media calzada, no pudiéndose iniciar los trabajos en la otra mitad, hasta que no haya sido entregada al tránsito la primera, además el Constructor proveerá los medios necesarios para controlar el tránsito usuario de la ruta, de manera de minimizar las molestias e impedir que éste, interfiera en la ejecución de las obras.

#### 5.8.3.8. Especificaciones de la unidad terminada.

La superficie de la capa debe presentar una textura uniforme y exenta de segregaciones.

Para vías Expresas, Troncales y Colectoras, el coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) medido con el Péndulo Británico, según NLT-175, salvo justificación en contrario sea superior a 0,6 y ninguno de los valores individuales sea inferior a 0,55.

Se mide con dos mediciones por pista y a distancia inferior a 50 metros.

Nota:

Las Especificaciones del Proyecto definirán el criterio de aceptación y rechazo.

### ART. 5.9. SELLO DE AGREGADOS.

#### 5.9.1. DESCRIPCIÓN Y ALCANCES.

El sello de agregado es un tipo de recubrimiento sobre superficies pavimentadas, que consiste básicamente en la aplicación de un riego de liga constituido por una emulsión asfáltica normal o modificada, seguido de una cobertura de agregados monogranulares. Se pueden construir consecutivamente diversos tipos de sellos combinando riegos asfálticos y aplicaciones de agregado.

En actividades de conservación se utiliza principalmente con el propósito de mejorar e impermeabilizar la textura superficial de un pavimento asfáltico, proteger el ligante superficial del pavimento, del envejecimiento y de fijar los áridos superficiales, impidiendo su desprendimiento bajo los efectos del tránsito.

De este modo, el sello de agregados cumple con dos funciones básicas: restaurar la funcionalidad de un pavimento frente a diversas causas de deterioro y actuar en forma indirecta sobre diversas causas que provocan una pérdida acelerada de la capacidad estructural.

Para su aplicación las superficies a tratar deben cumplir con lo siguiente:

- Tener una adecuada capacidad estructural.
- Un adecuado IRI.
- En la siguiente Tabla se muestran los niveles de deterioros aceptables para la aplicación del sello.

TABLA 5-16. DEFECTOS ACEPTABLES EN UN PAVIMENTO PARA RECIBIR UN SELLO DE AGREGADOS.

TIPO DE DEFECTO	DEFECTO	SEVERIDAD	EXTENSIÓN MÁXIMA
Estructural	Deformaciones o deterioros de la base y/o subrasante.	Sin tolerancia.	Sin tolerancia.
	Grietas por fatiga.	Moderada (< 3 mm)	15%
Funcional	Ahuellamiento	< 20 mm	10%
	Pérdida de agregados	Pérdida de agregados finos.	30%
	Exudación (1)	Moderada.	10%
	Grietas transversales y longitudinales	< 6 mm selladas.	10%
< 3 mm			

Nota: Si la exudación es uniforme, se pueden aceptar extensiones mayores.

### 5.9.2. MATERIALES.

#### 5.9.2.1. Emulsión.

Se puede utilizar como ligante emulsiones tipo CRS-1 o CRS-2 y RS-1 o RS-2, según la compatibilidad eléctrica con la carga del agregado y el clima. Las emulsiones, además, se especifican con los requisitos dispuestos en la Tabla 5-3, Tabla 5-4 ó Tabla 5-5, según corresponda.

En algunos casos no es posible cumplir los objetivos de la aplicación del sello de agregados utilizando emulsiones convencionales. En estos casos, se recomienda usar una emulsión modificada con elastómeros. Las principales condiciones que requieren la utilización de emulsiones modificadas son:

- Zonas con temperaturas extremas (muy altas o muy bajas).
- Zonas de fuertes diferenciales térmicos (día- noche, invierno-verano).
- Vías Colectoras, Troncales y Expresas
- Fuertes pendientes (8 a 10%).
- Zonas de frenado.
- Curvas cerradas.
- Los requisitos de las emulsiones modificadas se encuentran dispuestos en la Tabla 5-5.

## 5.9.2.2. Áridos.

Las granulometrías de los agregados deben cumplir las bandas de la Tabla 5-17 y pueden ser de 5 tipos, dependiendo principalmente del tipo de tráfico, la dureza de la superficie y la ubicación del agregado en el sello.

TABLA 5-17. GRANULOMETRÍA DE ÁRIDOS PARA SELLOS.

PORCENTAJE EN PESO QUE PASA						
TAMICES		TN 12,5 - 5	TN 10 - 2,5	TN 10 - 6,3a	TN 10 - 6,3b	TN 5 - 1,25
(mm)	ASTM					
20	(3/4")	100	----	----	----	----
12,5	(1/2")	90 - 100	100	100	100	----
10	(3/8")	40 - 70	85 - 100	95 - 100	85 - 100	100
6,3	(1/4")	----	----	0 - 40	0 - 25	----
5	Nº4	0 - 15	10 - 30	0 - 5	0 - 10	85 - 100
2,5	Nº8	0 - 5	0 - 10	----	0 - 1	10 - 40
1,25	Nº16	----	----	0 - 1	----	0 - 10
0,315	Nº50	----	----	----	----	0 - 5
0,08	Nº200	0 - 0,5	0 - 0,5	0 - 0,5	0 - 0,5	0 - 0,5

Además, el agregado debe cumplir con los requisitos dispuestos en la Tabla 5-18, para garantizar su buen comportamiento.

TABLA 5-18: REQUISITOS DE LOS ÁRIDOS PARA SELLOS.

ENSAYE	EXIGENCIA	MÉTODO
Desgaste Los Ángeles	Máximo 25% (1)	NCh 1369.Of1978
Desintegración con Sulfato de Sodio	Máximo 12%	NCh 1328.Of1977
Árido Chancado	Mínimo 70%	NLT-358
Lajas	Máximo 10%	NLT-354
Índice de Lajas	Máximo 30%	NLT-354

(1) El proyecto puede indicar otro valor, debidamente justificado, que no supere el 35%.

### 5.9.3. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO.

#### 5.9.3.1. Equipo.

##### 5.9.3.1.1. Equipo de extensión de asfalto.

Para la aplicación de la emulsión se debe emplear un camión distribuidor (regador), que consista básicamente en un estanque montado sobre el camión y que este equipo cuente con:

- a.) Un sistema de calefacción controlado que permita mantener la temperatura óptima de trabajo de la emulsión.
- b.) Una barra regadora en la parte posterior, con una serie de boquillas, las cuales están correctamente calibradas (disposición de boquilla y altura de barra) con el fin de cumplir con la taza requerida de emulsión, sobre la superficie.
- c.) Un sistema de bombas para expulsar productos de distintas viscosidades.

Antes de comenzar los trabajos de riego, se deben revisar los equipos, los cuales para asegurar un riego uniforme, es preciso que cumplan con los siguientes requisitos:

- d.) Que el equipo distribuidor mantenga continua y uniformemente la presión requerida a lo largo de toda la longitud de la barra regadora.
- e.) Que antes de comenzar el riego, la barra y las boquillas sean calentadas a la temperatura requerida.

- f.) Que la disposición de las boquillas sean las adecuadas, el ancho del abanico sea igual en todas ellas y forme con la barra un ángulo apropiado, normalmente de 17 a 33 grad, en tanto, que las extremas formen un ángulo entre 67 y 100 grad.
- g.) Que el ángulo de incidencia del riego con la superficie de la vía sea de  $100 \pm 5$  grad.
- h.) Que la altura de las boquillas asegure un adecuado traslape de los abanicos de distribución.
- i.) Que el distribuidor se desplace a una velocidad tal, que mantenga una distribución constante. La velocidad del distribuidor y la bomba de asfalto se controlan mediante dispositivos incorporados al equipo.
- j.) Que la temperatura del asfalto se controle con termómetros que permitan establecer en forma rápida la temperatura del contenido del estanque.
- k.) Que el corte del vertido sea instantáneo, sin chorreo, ni goteo y el equipo asegure la estanqueidad en todo momento.

#### 5.9.3.1.2. Equipo de extensión de agregados (Gravillador).

El gravillador debe incluir un esparcidor de agregados autopropulsado, soportado por ruedas neumáticas cuando las superficies a sellar sean reducidas. En obras de poca envergadura, se puede utilizar un esparcidor de arrastre de diseño apropiado, que disponga de un mecanismo efectivo que deposite uniformemente el árido necesario en el ancho requerido. En todo caso, es preciso que los equipos sean capaces de distribuir los áridos en un ancho mínimo, de una pista.

#### 5.9.3.1.3. Equipo acomodador de partículas.

El equipo acomodador de partículas debe estar constituido por rodillos autopropulsados de neumáticos múltiples, de peso no inferior a 10 t, que estén en perfectas condiciones mecánicas y sus ruedas no tengan una diferencia de presión de inflado mayor a 0,03 MPa entre ellas. Optativamente, estos equipos pueden ser respaldados por rodillos lisos, todos ellos en perfectas condiciones mecánicas, en especial, en lo que se refiere a la suavidad de los arranques, paradas e inversiones de marcha.

En lugares inaccesibles para los equipos se emplean pisonos mecánicos u otros medios aprobados previamente por el ITO o Profesional Responsable, los cuales logran resultados análogos a los obtenidos por aquéllos.

#### 5.9.3.2. Estudio del sello de agregados y obtención de la fórmula de trabajo.

Debe ser responsabilidad del Constructor determinar la dosificación a emplear, la cual se establece de acuerdo con el método de la "Dimensión Mínima Promedio".

El sello de agregados no se inicia hasta que haya sido aprobado por el Inspector de obra o Profesional responsable la correspondiente fórmula de trabajo, la cual señala:

- La granulometría de cada fracción del árido, por los distintos tamices.
- La dotación máxima, media y mínima de cada riego de ligante y de cada fracción de árido.
- Cuando se utilicen adiciones, su dosificación.
- La temperatura de aplicación del ligante.

Las dotaciones de cada mano de ligante, de cada fracción de árido y en su caso, de las adiciones se fijan basándose principalmente en la experiencia obtenida en casos análogos y a la vista de:

- El tipo de riego con gravilla previsto en las Especificaciones Técnicas Especiales.
- Los materiales a emplear.
- El estado de la superficie que se vaya a tratar.
- La intensidad de la circulación, especialmente de vehículos pesados.
- El clima.

#### 5.9.3.3. .Recepción de materiales.

##### 5.9.3.3.1. Recepción de la emulsión.

Es recomendable que cada partida que llegue a la obra sea inspeccionada visualmente, como un primer control y que la emulsión se vea uniforme, sin nata, grumos u otra anomalía. Las emulsiones modificadas pueden presentar algunas diferencias como espuma, grumos de color, etc., en este caso es preferible consultar al proveedor acerca de las características particulares de la emulsión.

Al inicio de la obra se debe realizar el muestreo de la emulsión, realizando ensayos para recepción. No obstante, cada partida puede ser recibida contra presentación de un certificado que responda a los requerimientos establecidos en las especificaciones o al menos los requisitos de la Tabla 5-3, Tabla 5-4 ó Tabla 5-5, según corresponda.

Se debe almacenar la emulsión en estanques cerrados, metálicos, de hormigón armado o de fibra de vidrio (en ningún caso del tipo diques) los que, en todo momento, se mantengan limpios y en buenas condiciones de funcionamiento. El manejo de la emulsión se efectúa de manera de evitar cualquier contaminación con materiales extraños.

Cuando se requiera, los estanques pueden tener equipos para calentar la emulsión, los cuales se conforman por serpentines y equipo generador de vapor, serpentines y caldera de aceite, calentamiento por gases de combustión u otros diseñados, de modo que no exista contacto entre la emulsión y el vehículo usado para calentarla. Bajo ninguna circunstancia las llamas del calentador pueden entrar en contacto directo con el estanque o con la emulsión.

##### 5.9.3.3.2. Recepción de áridos.

Se deben verificar que los áridos se suministren fraccionados. Cada fracción, debe ser suficientemente homogénea y se pueda acopiar y manejar sin peligro de segregación, observándose las precauciones que se detallan a continuación:

- Cada fracción del árido se acopia separada de las demás, sobre una superficie limpia, plana y nivelada, debiendo evitar Inter-contaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no puede utilizar los quince centímetros (15 cm) inferiores de los mismos. Las cargas del material se colocan adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación o contaminación.
- Cuando se detecten anomalías en el suministro de los áridos, se recomienda acopiarlos por separado hasta confirmar su aceptación. Esta misma medida se puede aplicar cuando se autorice el cambio de procedencia de un árido.
- El volumen mínimo de acopio de áridos antes de iniciar la fabricación de la lechada viene fijado en él las Especificaciones Técnicas Especiales y salvo justificación, en contrario, se aconseja no ser inferior al cincuenta por ciento (50%) del total de la obra o al correspondiente a un mes de trabajo.
- En caso de que el ITO o el Profesional Responsable lo juzgue necesario, se recomienda humedecer los áridos convenientemente, antes de su empleo.

#### 5.9.3.4. Fabricación del sello de agregados.

Las proporciones de los componentes del sello de agregados se deben atener a la fórmula de trabajo.

Si el Constructor no dispone en todo momento del total de equipo necesario para continuar satisfactoriamente con las faenas, el ITO o el Profesional Responsable puede ordenar la paralización de los trabajos hasta que se normalice dicha situación.

Se debe rechazar todo sello heterogéneo o que muestre un recubrimiento defectuoso.

#### 5.9.3.5. Preparación de la superficie existente.

Inmediatamente antes de proceder a la aplicación de la primera capa de emulsión, se debe limpiar la superficie: de polvo, suciedad, barro, materias sueltas o perjudiciales. Para ello, se pueden utilizar barredoras mecánicas o aire a presión. En los lugares inaccesibles a estos equipos se pueden emplear escobas de mano. Se recomienda un especial limpiado de los bordes de la zona a tratar. En caso de existir materias adheridas a la superficie, ésta se lava y se deja secar antes de la colocación del sello.

Si en la superficie de pavimento existe un exceso de emulsión, se puede eliminar mediante micro-fresado y se pueden reparar los desperfectos que pudieran impedir una correcta adherencia del sello.

#### 5.9.3.6. Extensión del sello de agregados.

Cuando se deba mantener el tránsito, el sello de agregados se puede construir por media calzada y se recomienda no iniciar los trabajos en la otra mitad, hasta que no haya sido entregada al tránsito la primera. Es aconsejable que el Constructor provea los medios necesarios para controlar el tránsito usuario de la ruta, de manera de minimizar las molestias e impedir que éste interfiera en la ejecución de las obras.



En los lugares de comienzo y término de los riegos asfálticos, se puede colocar una protección transversalmente al eje de la vía, compuesta por una tira de papel o cartón de un ancho no inferior a 0,80 m. También se usa esta protección en las zonas donde se interrumpa el riego, para evitar el exceso de emulsión. Una vez utilizado, éste se retira de inmediato.

Se recomienda que la distancia entre el gravillador y el distribuidor de ligante sea tal, que el agregado sea aplicado en un lapso no superior a un minuto después de aplicado el ligante, para asegurar que quede adecuadamente embebido. En general, se aconseja que la distancia entre ambos equipos no sea nunca mayor de 60 m.

#### 5.9.3.6.1. Primera extensión de emulsión.

La emulsión se debe distribuir uniformemente sobre la superficie a sellar, aplicando la dosis establecida con una tolerancia de  $\pm 5\%$ . cualquier área que quede con deficiencia de emulsión, se repase de inmediato mediante equipo manual.

Se aconseja verificar la tasa de aplicación del riego cada 500 m de sello por pasada. Se puede aumentar o disminuir esta frecuencia, de acuerdo a la tecnología del equipo que se utilice y la longitud del tramo a controlar. Como mínimo, esta verificación se puede hacer una vez al día.

Se recomienda no aplicar más emulsión que el que pueda ser cubierto con agregado, dentro de un lapso breve de tiempo.

#### 5.9.3.6.2. Primera extensión de árido.

Una vez aplicada la emulsión sobre la superficie a sellar, se debe proceder de inmediato a cubrirlo con los áridos.

Los áridos pueden ser transportados a los lugares de colocación en camiones tolva, convenientemente preparados para este objetivo.

En el caso que se estime necesario se puede ordenar que los áridos sean ligeramente humedecidos, previos a su colocación.

La extensión del árido se puede hacer de manera uniforme y con la dotación prevista en la fórmula de trabajo.

Tan pronto como se haya cubierto un determinado tramo, se recomienda su revisión para verificar si existen zonas deficientes de áridos, las que se pueden recubrir con material adicional, de manera que se evite el contacto de las ruedas del gravillador con el ligante sin cubrir.

Salvo que el equipo para la aplicación de la emulsión tenga dispositivos para asegurar la uniformidad de su reparto transversal junto a los bordes, donde aquélla se realice por franjas, el árido se puede extender de forma que quede sin cubrir una banda de unos veinte centímetros (20 cm) de la franja regada, junto a la que todavía no lo haya sido, para conseguir un ligero solape al aplicar el ligante en esta última.

Las eventuales áreas con exceso de emulsión, se pueden recubrir de inmediato con arena limpia.

Los áridos aplicados en exceso o sobre superficies regadas con un sobrecancho casual, pueden ser removidos de inmediato.

#### 5.9.3.6.3. Primer “rodillado sin vibración”.

Inmediatamente después de la extensión de la primera capa de áridos, en sellos bicapa, se debe proceder a su rodillado en sellos monocapa doble engravillado, se proceda a un rodillado auxiliar siempre que se requiera.

El rodillado se puede ejecutar longitudinalmente, comenzando por el borde inferior, progresando hacia el centro y traslapando cada pasada, un mínimo de 0.30 m, con la anterior, hasta cubrir el ancho total de la superficie.

En los trabajos de rodillado puede continuar utilizando equipo complementario, hasta lograr un perfecto acomodo de las partículas. La faena de rodillado consiste en un mínimo de tres pasadas completas de rodillo sobre la misma superficie.

El procedimiento de rodillado aquí establecido, se puede modificar con previa autorización del ITO o Profesional Responsable, según los requerimientos de la obra.

#### 5.9.3.6.4. Segunda extensión de emulsión.

En el caso de sello bicapa, el segundo riego de emulsión, se recomienda su aplicación con la dosis y la temperatura aprobadas, prevista en la fórmula de trabajo, de la misma forma que la primera.

#### 5.9.3.6.5. Segunda extensión de árido.

En el caso de sello bicapa o monocapa doble engravillado, la segunda extensión y compactación del árido se puede realizar con la dotación prevista en la fórmula de trabajo, de la misma forma que la primera.

#### 5.9.3.6.6. Rodillado final.

Inmediatamente después de la extensión del último árido se procede a su rodillado, que se puede ejecutar longitudinalmente, comenzando por el borde inferior, progresando hacia el centro y solapándose cada pasada, un mínimo de 0.30 m, con la anterior, hasta obtener una superficie lisa y estable.

El rodillado se complementa con el trabajo manual necesario para la corrección de todos los defectos e irregularidades que se puedan presentar.

#### 5.9.3.6.7. Terminación.

Una vez terminado el rodillado del árido y transcurrido el plazo necesario para que el ligante utilizado en el riego alcance una cohesión suficiente, para resistir la acción de la circulación normal de vehículos, se debe eliminar todo exceso de árido que haya quedado suelto sobre la superficie, antes de permitir dicha circulación.

Cuando se emplee un ligante del tipo emulsión normal o emulsión modificada con elastómero y una vez terminado el rodillado final de la superficie sellada, se debe proceder a efectuar un barrido que asegure únicamente la eliminación del árido en exceso, tras lo cual, se aplica un riego neblina según el procedimiento descrito en el Art. 5.6. RIEGO DE NEBLINA, en dosis de 0,7 kg/m<sup>2</sup> de emulsión normal diluida en agua 1:1 (una parte de agua por una parte de emulsión), con una tolerancia de  $\pm 0,1$  kg/m<sup>2</sup>. Esta dosis puede ser adicional a la establecida en la dosificación del sello asfáltico.

Sobre el riego neblina se puede efectuar una aplicación de mezcla de polvo, arena o mezcla de ambos, uniformemente distribuido, el cual se ajusta a la banda granulométrica de la Tabla 5-19 y a los requisitos de la Tabla 5-20, dejando la superficie terminada a plena satisfacción.

TABLA 5-19. GRANULOMETRÍA MEZCLA DE POLVO DE ROCA ARENA.

TAMICES		PORCENTAJE QUE PASA EN PESO, %
mm	ASTM	
5	Nº 4	100
0,16	Nº 100	10 - 30
0,08	Nº 200	0 -10

TABLA 5-20. REQUISITOS A MEZCLA DE POLVO DE ROCA ARENA PARA SELLOS DE AGREGADO.

ENSAYE	EXIGENCIA	MÉTODO
Desintegración con sulfato de sodio	Máximo 12 %	NCh 1328.Of1977.
Partículas Lajeadas	Máximo 10 %	NLT-358

A menos que el Proyecto establezca otra cosa, la superficie del sello de agregado puede barrerse una vez que transcurran, a lo menos, 24 horas de aplicado el riego neblina y polvo de roca cuando corresponda y cuando el ligante haya curado o quebrado completamente.

En el caso que ocurra desprendimiento de áridos incrustados en el ligante, el barrido puede ser postergado por un período adicional al señalado.

La velocidad de operación se puede restringir mediante la señalización adecuada, hasta la mañana siguiente o hasta que se lo determine.

Asimismo, dicha señalización sirve para prevenir a los usuarios de la presencia de gravilla suelta en la calzada.

Alternativamente, el tramo terminado se puede entregar al tránsito al día siguiente de su construcción, previo barrido de su superficie e instalación de la señalización adecuada, incluso con velocidad restringida cuando lo estime necesario.

Conjuntamente se recomienda barrer la superficie de todo tramo terminado y entregado al tránsito, cada mañana, por los siguientes cuatro días consecutivos a su construcción. Inmediatamente, después del último barrido, se recomienda despejar la plataforma de la vía de todo árido suelto que se encuentre en sus costados y que dicho material se disponga de manera que no interfiera con el drenaje superficial de la calle.

#### 5.9.3.7. Limitaciones de la ejecución.

La aplicación del sello se debe llevar a cabo sólo cuando la temperatura ambiente sea superior a diez grados Celsius (10 °C). Dicho límite se puede rebajar por el ITO o el Profesional Responsable a cinco grados Celsius (5 °C), si la temperatura ambiente tiende a aumentar. No se recomienda realizar trabajos si hay tiempo neblinoso, probabilidades de lluvia, hielo en la superficie o viento fuerte.

En general, cuando se utilicen emulsiones asfálticas en zonas frías, es recomendable poner especial atención en que las condiciones climáticas sean las adecuadas para permitir el tiempo de quiebre de las emulsiones, antes que se produzca el congelamiento.

#### 5.9.3.8. Especificaciones de la unidad terminada.

Se debe presentar la superficie de la capa con una textura uniforme y exenta de segregaciones.

Para vías Expresas, Troncales y Colectoras, el coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) medido con el Péndulo Británico, según NLT-175, salvo justificación en contrario sea superior a 0,6 y ninguno de los valores individuales sea inferior a 0,55. Se mide con dos mediciones por pista y a distancia inferior a 50 metros.

Los controles del coeficiente CRD serán de cargo del constructor y deberán efectuarse mediante el Péndulo Británico (Norma NLT-175). Se medirá por pista y a distancias máximas de 50 m, y se contará al menos con 2 mediciones por pista.

En caso de incumplimiento se podrá optar por mejorar el coeficiente CRD mediante cepillado que cubra el 100% de la superficie del pavimento cuando ésta tiene menos de una cuadra y de al menos una cuadra para proyectos de mayor longitud.

En ambos casos, se cubrirá con el cepillado todas las pistas de la calzada. En situación de persistir el incumplimiento, se rehará la carpeta de la zona afectada, delimitada ésta por el área de influencia que representa la o las medidas defectuosas.

Nota:

Las Especificaciones del Proyecto definirán el criterio de aceptación y rechazo.

## **ART. 5.10. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO**

### **5.10.1. DESCRIPCIÓN Y ALCANCES**

En esta Sección se definen los trabajos de construcción de mezclas de áridos no calentados, mezclados con emulsiones asfálticas. Las mezclas en frío se confeccionan en planta.

### **5.10.2. MATERIALES**

#### **5.10.2.1. Áridos**

Los áridos se deben clasificar y acopiar separadamente en al menos tres fracciones, en canchas habilitadas especialmente para este efecto, de manera que no se produzca contaminación ni segregación de los materiales y que se ajusten a los requisitos señalados en 5.11.2.2, de Art. 5.11 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.

##### **5.10.2.1.1. Fracción Gruesa**

La fracción retenida en tamiz 2,5 mm (ASTM N° 8), debe estar constituida por partículas chancadas, tenaces, limpias, entendiéndose por esto, partículas libres de materia orgánica, arcilla o materias extrañas.

Ante alguna duda, se puede exigir su limpieza por lavado, aspiración u otro método. La fracción gruesa se ajusta de acuerdo a los requisitos que se indican en la Tabla 5-21, para el tipo de mezcla que se especifique en el Proyecto.

##### **5.10.2.1.2. Fracción Fina**

La fracción fina, es decir, aquella que pasa por tamiz 2.5 mm (ASTM N° 8), debe estar constituida por arenas naturales o provenientes de la trituración de rocas o gravas.

Sus partículas sean duras, tenaces y libres de arcilla o sustancias perjudiciales.

Ante alguna duda al respecto, se puede exigir su limpieza por lavado, aspiración u otro método reconocido.

##### **5.10.2.1.3. Mezcla de Áridos**

Las distintas fracciones de áridos se deben combinar en proporciones tales, que la mezcla resultante, se ajuste a aquellas bandas granulométricas especificadas en las Tablas 5-21 ó 5-22, o las que indique el Proyecto.

TABLA 5-21. GRANULOMETRÍA DE ÁRIDOS. GRANULOMETRÍA DENSA.

DENOMINACIÓN	IV – 10 (1)	IV – 12 (2)	IV – 20 (2)	IV – 25 (2)
TAMICES (mm) (ASTM)	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO, %			
40 (1 1/2")				100
25 (1" )			100	80 - 100
20 (3/4")		100	80 - 95	---
12,5 (1/2")	100	80 - 95	65 - 80	---
10 (3/8")	80 - 100	67 - 85	57 - 75	55 -75
5 (Nº 4)	55 -75	46 - 65	45 - 63	45 -62
2,5 (Nº 8)	35 -50	35 - 48	33 - 48	35 -50
0,63 (Nº 30)	18 -29	15 - 25	17 - 29	19 -30
0,315 (Nº 50)	13 -23	13 - 23	13 - 23	13 -23
0,16 (Nº 100)	8-16	8-16	7-14	7-15
0,08 (Nº 200)	4-10	4-10	4-8	0-8

(1) La banda IV-10 se puede utilizar sólo para ciclovías, veredas o reparaciones puntuales en vías de bajo tránsito o empalmes de desniveles.

(2) Estas bandas se utilizan cuando sobre ellas se coloque una mezcla drenante u otra de similares características.

(1 y 2) En pasajes, según experiencia de cada región.

TABLA 5-22. GRANULOMETRÍA DE ÁRIDOS. GRANULOMETRÍA SEMIDENSA.

DENOMINACIÓN	IV – A – 12	IV – A – 20	IV – A – 25
TAMICES (mm) (ASTM)	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO; %		
40 (1 1/2")			100
25 (1" )		100	80 - 100
20 (3/4")	100	80 - 95	73 -88
12,5 (1/2")	80 - 95	65 - 80	60 -75
10 (3/8")	70 - 85	57 - 73	55 -70
5 (Nº 4)	43 - 58	40 - 55	39 -54
2,5 (Nº 8)	28 - 42	28 - 42	28 -42
0,63 (Nº 30)	13 - 24	13 - 24	13 -24
0,315 (Nº 50)	8-17	8-17	8-17
0,16 (Nº 100)	6-12	6-12	6-12
0,08 (Nº 200)	4-8	4-8	4-8

#### 5.10.2.2. Emulsión.

Salvo indicación en contrario en el Proyecto, se debe emplear emulsiones asfálticas que cumplan con el apartado 5.2.3.2. EMULSIONES ASFÁLTICA y en el Ensaye de la Mancha, el equivalente de xilol, con heptano-xilol, no sea mayor a 30% para las emulsiones, medidas según la NCh 2343.Of1999.

#### 5.10.2.3. Propiedades de las Mezclas Asfálticas.

El Constructor debe presentar al ITO o Profesional Responsable la dosificación de las mezclas asfálticas antes de comenzar la pavimentación. La dosificación puede ser hecha por un Laboratorio con inscripción vigente MINVU. El contenido de asfalto se puede determinar por el Método descrito en la norma NLT-165.

Las mezclas asfálticas de graduación gruesa con asfaltos emulsificados se pueden diseñar según la norma NLT-365, y una vez fijada una granulometría que cumpla con la banda especificada, se confecciona la banda de trabajo.

### 5.10.3. PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

#### 5.10.3.1. Preparación de la Superficie.

Antes de iniciar las faenas de colocación de las mezclas asfálticas, se debe verificar que la superficie satisfaga los requerimientos establecidos en el Art. 5.4. RIEGO DE IMPRIMACIÓN, si corresponde a una base granular, y del Art. 5.5. RIEGO DE LIGA, si es un pavimento.

#### 5.10.3.2. Producción de las Mezclas.

##### 5.10.3.2.1. Plan de Trabajo.

Se recomienda que antes de poner en marcha la planta asfáltica, el Constructor proporcione al Inspector Técnico de la Obra o Profesional Responsable, un plan detallado de trabajo para su aprobación, que incluya, como mínimo, un análisis y descripción de los siguientes aspectos:

##### i.) Equipo Disponible:

Se recomienda que se indique la cantidad, estado de conservación y características de los equipos de mezclado, transporte y colocación, incluyendo los ciclos programados para cada fase y los resultados de los procesos de calibración de los mismos.

##### ii.) Personal de Faenas:

Se recomienda que se presente un organigrama detallando las áreas de competencia y las responsabilidades de los diversos jefes de fases o faenas, así como el número de personas que se asignan a las diversas operaciones.

##### iii.) Programación:

Se recomienda incluir el programa al que se ajustan las faenas, de manera de asegurar la continuidad y secuencia de las operaciones, la disposición del tránsito usuario de la ruta si corresponde, los controles de rendimientos y las características de la producción.

##### 5.10.3.2.2. Preparación de la Mezcla.

Las mezclas se deben preparar en plantas fijas o móviles; éstas pueden ser del tipo continuo o discontinuo, que permitan reproducir la dosificación dentro de las tolerancias indicadas en el apartado 5.10.2.3., para lo cual, su funcionamiento se compone de las siguientes unidades principales, las cuales, deben estar en óptimas condiciones de funcionamiento:

- Almacenaje y alimentación de áridos con un mínimo de 4 tolvas.
- Unidad de control de graduación del árido.
- Reja protectora que impida el ingreso de sobretamaño.
- Cribas vibratorias separadoras.
- Tolvas de almacenaje del árido.



- Capacho de pesaje o reguladores de cantidad para operación continua.
- Elemento independiente para el control del pesaje de asfalto o bomba conectada al sistema de alimentación que permita controlar la cantidad incorporada.
- Mezclador de doble paleta.
- Alimentación por medio de cinta transportadora y compuertas regulables.
- Alimentador de vaivén con compuerta regulable.

### 5.10.3.3. Transporte y Colocación.

#### 5.10.3.3.1. Requisitos Generales.

Las mezclas se deben transportar a los lugares de colocación en camiones tolva, convenientemente preparados para este objetivo y se distribuyan mediante una terminadora autopropulsada.

Las mezclas sólo pueden extenderse sobre superficies secas y previamente imprimadas o con un riego de liga, según corresponda.

Se recomienda sólo colocar y compactar mezclas, cuando la temperatura ambiental sea de por lo menos 10 °C y subiendo, y el tiempo no sea brumoso ni lluvioso.

#### 5.10.3.3.2. Compactación.

Una vez esparcida, enrasada y alisada la mezcla, cuyo espesor suelto sea el adecuado para obtener el espesor compactado señalado en el Proyecto, ésta se deba compactar hasta que la superficie presente una textura uniforme y se alcance el nivel de densificación requerido. Para lograr los efectos señalados, en el rodillado inicial, se puede utilizar de preferencia un compactador de ruedas de acero tipo tándem. Posteriormente, se puede continuar con rodillos vibratorios, para finalizar con rodillos neumáticos. En todo caso, se requiere que la cantidad, peso y tipo de rodillos que se empleen, sean los adecuados para alcanzar la compactación requerida.

Previo al comienzo del proceso de compactación, se recomienda verificar que el agua, se haya evaporado suficientemente de la mezcla. Aunque en la generalidad de los casos, la evaporación producida durante el mezclado es suficiente para comenzar la compactación, se recomienda comprobar, cuando se utilicen emulsiones asfálticas, que el contenido de agua corresponda al indicado en la fórmula de trabajo.

La compactación puede comenzar por los bordes más bajos, para proseguir longitudinalmente en sentido paralelo al eje de la vía, traslapando cada pasada en la mitad del ancho del rodillo, de manera de avanzar gradualmente hacia la parte más alta del perfil transversal.

Cuando se pavimente una pista adyacente a otra colocada previamente, se recomienda compactar primero la junta longitudinal, para enseguida, continuar con el proceso de compactación antes descrito. En las curvas con peralte, la compactación puede comenzar por la parte baja, y progresar hacia la parte alta, con pasadas longitudinales paralelas al eje. Los rodillos se pueden desplazar lenta y uniformemente hasta eliminar toda marca del rodillado y alcanzar la densidad especificada. Las maniobras de cambios de velocidad o de dirección de los rodillos, no se realizan sobre la capa que se está compactando.

Para evitar la adherencia de la mezcla a los rodillos, las ruedas se mantienen húmedas o se tratan con aceites lubricantes quemados u otro material aprobado.

En las superficies cercanas a aceras, cabezales, muros u otros lugares no accesibles a los rodillos, la compactación se puede hacer por medio de pisones manuales, alisadores o con pisones mecánicos, previamente calentados.

Cualquier mezcla suelta, quebrada, contaminada con polvo o tierra o que en alguna forma quede defectuosa, se recomienda sea retirada y sustituida por una mezcla nueva, la que se compacta ajustándola al área circundante.

#### 5.10.3.4. Controles.

Antes de proceder a la colocación de una mezcla, se debe verificar que la temperatura sea de por lo menos 10 °C y subiendo, el tiempo no sea brumoso ni lluvioso y que la superficie a cubrir esté limpia, seca y libre de materiales extraños.

##### 5.10.3.4.1. Control de la Producción.

La mezcla se controla mediante muestras para verificar, fundamentalmente, el cumplimiento de las siguientes condiciones:

- a.) La granulometría está dentro de la banda de trabajo especificada en el diseño.
- b.) La densidad aparente está dentro de los rangos utilizados para determinar el contenido de asfalto que requiere la mezcla.
- c.) La humedad de los áridos a mezclar con asfaltos cortados no excede de 1,5% y está dentro del rango propuesto en la fórmula de trabajo, cuando se utilizan emulsiones.
- d.) La temperatura de aplicación de la emulsión está dentro de los rangos especificados.
- e.) El contenido de asfalto, determinado mediante extracciones, está dentro de las tolerancias admisibles.

##### 5.10.3.4.2. Control de la Compactación.

Se recomienda que la densidad promedio de la mezcla compactada no sea inferior al 96% de la densidad obtenida en el diseño.

##### 5.10.3.4.3. Espesor.

Este control se debe hacer según lo establecido en el apartado 5.11.6.3. del Art. 5.11. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.

##### 5.10.3.4.4. Cantidad de asfalto.

Este control se debe hacer según lo establecido en el apartado 5.11.6.2. del Art. 5.11. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.

#### 5.10.3.4.5. Lisura.

Este control se debe hacer sólo cuando las Bases Especiales lo pidan y se haga según lo establecido en el apartado 5.11.6.5. del Art. 5.11. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.

Nota:

Las Especificaciones del Proyecto definirán el criterio de aceptación y rechazo.

### ART. 5.11. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

#### 5.11.1. DEFINICIÓN Y ALCANCES

Se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de cemento asfáltico (CA), áridos (incluido el polvo mineral) y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del árido queden recubiertas por una película homogénea de cemento asfáltico (CA). Su proceso de fabricación implica calentar el cemento asfáltico (CA) y los áridos (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra se haga a una temperatura muy superior a la ambiente.

A efectos de aplicación de este artículo, se define como mezcla asfáltica en caliente de alto módulo para su empleo en capa de base o binder asfáltico con espesor entre siete y trece centímetros (7 a 13 cm), aquella que, además de todo lo anterior, el valor de su módulo dinámico a quince grados Celsius (15 °C), según la NLT-349, sea superior a trece mil Megapascals (13.000 MPa).

Las mezclas asfálticas en caliente de alto módulo cumplen además, excepto en el caso que se mencionen expresamente otras, las especificaciones que se establecen en este artículo para las mezclas semidensas.

La ejecución de cualquier tipo de mezclas asfálticas en caliente, de las definidas anteriormente, incluye las siguientes operaciones:

- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- Fabricación de la mezcla de acuerdo con la fórmula de trabajo.
- Transporte de la mezcla al lugar de empleo.
- Preparación de la superficie que va a recibir la mezcla.
- Extensión y compactación de la mezcla.
- Criterios de recepción

#### 5.11.2. MATERIALES

Los materiales se ajustan en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia: ambiental, de seguridad, salud, de almacenamiento y transporte de productos de la construcción.

### 5.11.2.1. Cemento asfáltico (CA).

Las Especificaciones Técnicas Especiales fijan el tipo de cemento asfáltico a emplear, que se selecciona en función de la capa a que se destine la mezcla asfáltica en caliente, de la zona térmica en que se encuentre y de la categoría de la vía, entre los que se indican en Tabla 5-1; para cementos asfálticos 60-80 y 80-100 y en la Tabla 5-2, para cementos asfálticos elastoméricos AMP y AMP I.

Se emplea las siguientes abreviaturas:

E	:Vía Expresa;
T	:Vía Troncal;
C	:Vía Colectora;
S	: Calle de Servicio;
L	: Calle Local;
P	: Pasaje;
60-80	: Cemento Asfáltico por Penetración;
80-100	: Cemento Asfáltico por Penetración
AMP	: Cemento Asfáltico Modificado con Elastómero;
AMP-I	: Cemento Asfáltico para MAM;
ITO	: Inspector Técnico de la Obra o Inspección Técnica de la Obra.

TABLA 5-23. TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO A EMPLEAR.

a.) EN CAPA DE RODADURA Y SIGUIENTE:

Zona térmica	CATEGORÍA DE TRÁFICO				
	E	T	C	S y L	P
Calida	AMP	AMP 60-80	AMP 60-80	60-80	60-80 80-100
Intermedia	AMP	AMP 60-80		60-80 80-100	
Fria	AMP	AMP 80-100			

b.) EN CAPA DE BASE, BAJO OTRAS DOS:

Zona térmica	CATEGORÍA DE TRÁFICO		
	E	T	C
Cálida	60-80	60-80	60-80
Media	AMP-1	AMP-1	60-80
Fría	80-100 AMP-1		80-100

Es recomendable que para mezclas asfálticas en caliente de alto módulo (MAM) el tipo de cemento asfáltico a emplear sea AMP-I.

Para las vías Expresas, en las mezclas asfálticas a emplear en capas de rodadura o rehabilitaciones superficiales se utilizan exclusivamente cementos asfálticos modificados con elastómeros AMP.

Las mezclas drenantes se emplean en capas de rodadura y se usa sólo asfalto modificado con elastómeros AMP.

En el caso de utilizar cementos asfálticos con adiciones no incluidas en los artículos de este Código, las Especificaciones Técnicas Especiales, en su defecto, el ITO o el Profesional Responsable establecen el tipo de adición y las especificaciones que cumplan, tanto el cemento asfáltico como las mezclas asfálticas resultantes.

En el caso de incorporación de productos (fibras, materiales elastoméricos, etc.) como modificadores de la reología de la mezcla, quien diseña o produce determina la dosis y se controlan las propiedades resultantes, de tal manera que se garantice un comportamiento en mezcla semejante al que se obtuviera al emplear un cemento asfáltico de los especificados en el apartado 5.2.3.1 de este Código.

### 5.11.2.2. Áridos.

#### 5.11.2.2.1. Características generales.

Los áridos a emplear en las mezclas asfálticas en caliente, deben cumplir las especificaciones recogidas en este artículo.

Pueden emplearse como áridos, el material procedente del reciclado de mezclas asfálticas en caliente en proporciones inferiores al diez por ciento (10%) de la masa total de mezcla.

Las Especificaciones del Proyecto, pueden exigir propiedades o especificaciones adicionales, cuando se vayan a emplear áridos cuya naturaleza o procedencia así lo requiriese.

Los áridos se producen o suministran en al menos 4 fracciones granulométricas diferenciadas, que se acopian y manejan por separado hasta su introducción en las tolvas en frío.

Antes de pasar por el secador de la planta de fabricación, el equivalente de arena, según la NCh 1325.Of1978 del árido obtenido combinando las distintas fracciones de los áridos (incluido el polvo mineral) según las proporciones fijadas en la fórmula de trabajo, sea superior al definido en el apartado 5.11.2.2.5.

Los áridos no pueden ser susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico-química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en la zona de empleo y que tampoco puedan dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras u otras capas del firme o contaminar corrientes de agua.

Las Especificaciones del Proyecto fijan los ensayos para determinar la inalterabilidad del material. Si se considera conveniente, para caracterizar los componentes solubles de los áridos de cualquier tipo, naturales, artificiales o procedentes del reciclado de mezclas asfálticas, que puedan ser lixiviados y que puedan significar un riesgo potencial para el medioambiente o para los elementos de construcción situados en sus proximidades, se emplea la NLT-326.

El árido procedente del reciclado de mezclas asfálticas se puede obtener de la disgregación por fresado o trituración de capas de mezcla asfáltica. En ningún caso se admiten áridos procedentes del reciclado de mezclas asfálticas que presenten deformaciones plásticas (ahuellamiento). Se determina la granulometría del árido recuperado, según la norma NLT-165, que se emplea en el estudio de la fórmula de trabajo. El tamaño máximo de las partículas viene fijado por las Especificaciones Técnicas Especiales, debiendo pasar la totalidad por el tamiz 25 mm de la NCh 1022.Of1976.

El árido obtenido del reciclado de mezclas asfálticas, debe cumplir las especificaciones de los apartados 5.11.2.2.1, 5.11.2.2.2, 5.11.2.2.3 y 5.11.2.2.4 en función de su granulometría obtenida, según la norma NLT-165.

5.11.2.2.2. Árido grueso.

a.) Se define como árido grueso a la parte del árido total retenida en el tamiz 2,5 mm de la los tamices descritos en la NCh 1022.Of1976.

b.) La proporción de partículas chancadas del árido grueso, debe cumplir lo fijado en la Tabla 5-24.

TABLA 5-24. PROPORCIÓN MÍNIMA DE PARTÍCULAS CHANCADAS DEL ÁRIDO GRUESO (% EN MASA).

Tipo de capa	CATEGORÍA DE VÍA			
	E y T	C	S y L	P
Rodadura Drenante	98		-	
Rodadura Normal	95		70	
Intermedia	95	70		-
Base	70			-

c.) Las partículas lajeadas, según norma NLT-358, deben cumplir en capas de rodadura, un máximo de 10%, y en otras, un máximo de 15%.

d.) La forma del árido grueso Índice de Lajas según norma NLT-354 debe cumplir lo señalado en la Tabla 5-25:

TABLA 5-25. ÍNDICE DE LAJAS.

Tipo de mezcla	CATEGORÍA DE TRÁFICO	
	E	T y C
Densa, Semidensa y Gruesa	≤ 20	≤ 25
Drenante		

e.) El Ensaye Desgaste Los Ángeles, según NCh 1369.Of1978, debe cumplir lo fijado en la Tabla 5-26.

TABLA 5-26. VALORES MÁXIMOS ENSAYE DESGASTE LOS ÁNGELES DEL ÁRIDO GRUESO.

Tipo de capa	CATEGORÍA DE TRÁFICO			
	E	T y C	S y L	P
Rodadura Drenante	15	20		
Rodadura Normal	25	35		
Intermedia	35			
Base				

f.) Debe cumplir con la limpieza del árido grueso (contenido de impurezas), de manera que el árido grueso esté exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa. El contenido de impurezas, según la NCh 1223.Of.1977, del árido grueso, sea inferior al cinco por mil (0,5%) en masa, en caso contrario, se puede exigir su limpieza por lavado, aspiración u otros métodos.

g.) Para desintegración en Sulfato de Sodio (máx. 12%) según la NCh 1328.Of.1977:

Sólo se puede aceptar un máximo de 12% de Desintegración Sulfato de Sodio en obras ubicadas en las Regiones XIa y XIIa y en la alta cordillera o cuando lo indique el Proyecto.

#### 5.11.2.2.3. Árido fino.

Se define como árido fino a la parte del árido total que pasa por el tamiz 2,5 mm y retenida por el tamiz 0,08 mm de la NCh 1022.Of1976.

Se debe cumplir que:

a.) La procedencia del árido fino proceda de la trituración de piedra de cantera o grava natural en su totalidad o en parte de yacimientos naturales. La proporción de árido fino no triturado a emplear en la mezcla cumple lo fijado en la Tabla 5-27.

TABLA 5-27. PROPORCIÓN DE ÁRIDO FINO NO TRITURADO (\*) A EMPLEAR EN LA MEZCLA (% EN MASA DEL TOTAL DE ÁRIDOS, INCLUIDO EL POLVO MINERAL).

CATEGORÍA DE TRÁFICO		
E y T	C(**)	S(**), L y P
0	<10	<20

(\*) El porcentaje de árido fino no triturado que no supere el del árido fino triturado.

(\*\*) Excepto en capas de rodadura, cuyo valor es cero.



b.) La limpieza del árido fino esté exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga y otras materias extrañas.

c.) La resistencia a la fragmentación del árido fino cumpla las condiciones exigidas al árido grueso en el apartado referente al ensaye Desgaste Los Ángeles.

d.) El Índice de Plasticidad NP cumpla según la NCh 1517/2.Of1979.

Si no cumplen los áridos con esta exigencia, se puede utilizar previa incorporación de un aditivo que mejore la adherencia en obra.

Se puede emplear árido fino de otra naturaleza que mejore alguna característica, en especial la adhesividad, pero en cualquier caso, éste procede de árido grueso con el ensaye Los Ángeles inferior a veinticinco (25) para capas de rodadura e intermedias y a treinta (35) para capas de binder o base.

#### 5.11.2.2.4. Polvo mineral.

Se define como polvo mineral a la parte del árido total que pasa por el tamiz 0,08 mm de la NCh 1022.Of1976.

Se recomienda que:

a.) La procedencia del polvo mineral puede ser de los áridos, el cual se separa de ellos por medio de los ciclones de la planta de asfalto o se aporta a la mezcla por separado de aquellos, como un producto comercial o especialmente preparado.

La proporción del polvo mineral de aportación a emplear en la mezcla debe cumplir lo fijado en la Tabla 5-28.

TABLA 5-28. PROPORCIÓN DE POLVO MINERAL DE APORTACIÓN (% EN MASA DEL RESTO DEL POLVO MINERAL, EXCLUÍDO EL INEVITABLEMENTE ADHERIDO A LOS ÁRIDOS).

Tipo de mezcla	CATEGORÍA DE TRÁFICO			
	E y T	C	S y L	P
Rodadura	100		50	-
Intermedia	100	50		-
Base	100	50	-	-

El polvo mineral que quede inevitablemente adherido a los áridos tras su paso por el secador, en ningún caso puede rebasar el dos por ciento (2%) de la masa de la mezcla. Sólo, si se asegurase que el polvo mineral procedente de los áridos cumple las condiciones exigidas al de aportación, se puede rebajar la proporción mínima de éste.

b.) En la finura y actividad del polvo mineral, la densidad aparente del polvo mineral, según la NLT-176, esté comprendida entre cinco y ocho decigramos por centímetro cúbico (0,5 a 0,8 g/cm<sup>3</sup>).

#### 5.11.2.2.5. Requisitos para áridos combinados.

a.) Las sales solubles para capa de rodadura deben cumplir con un Máx. 2%, para capa intermedia y base gruesa 3% según la NCh 1444/I.Of1980.

b.) El equivalente de arena para capa de rodadura debe ser mínimo 50%, para capa intermedia 45% y para base gruesa 40% según la NCh 1325.Of1978.

#### 5.11.2.3. Aditivos

Los aditivos a emplear son de exclusiva responsabilidad del productor de las mezclas.

### **5.11.3. TIPO Y COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA.**

La granulometría del árido obtenido combinando las distintas fracciones de los áridos (incluido el polvo mineral), según la unidad de obra o empleo, debe estar comprendida dentro de alguno de los fijados en la Tabla 5-29. El análisis granulométrico se haga según la NCh 165.Of1977.

Para la formulación de mezclas asfálticas en caliente de alto módulo (MAM) se emplee la banda IV-A-20 con las siguientes modificaciones, respecto a dicha banda granulométrica: tamiz 0,315: 8-15; tamiz 0,16: 7-12 y tamiz 0,08: 6-9. La designación del tipo de mezcla se hace en función del tamaño máximo nominal del árido, que se define como la abertura del primer tamiz que retiene más de un diez por ciento en masa.

La mezcla IV-12(1) sólo se puede aceptar en pasajes y ciclo vías.

Las bandas III-12a y III-20 se puede usar solo en binder o capa intermedia.

La banda III-12a sólo en vías de Servicio.

TABLA 5-29. BANDA GRANULOMÉTRICA. PORCENTAJE QUE PASA (% EN MASA).

		25	20	12,5	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,08
Densa	IV-12(1)	-	100	80-100	70-90	50-70	35-50	-	18-29	13-23	8-16	4-10
	IV-20(1)	100	80-100	-	60-80	48-65	35-50	-	19-30	13-23	7-15	0-8
Semidensa	IV-A-12	-	100	80-95	70-85	43-58	28-42	-	13-24	8-17	6-12	4-8
	IV-A-20	100	80-95	65-80	57-73	40-55	28-42	-	13-24	8-17	6-12	4-8
Gruesa	III-12a		100	75-100	60-85	35-55	20-35	-	10-22	6-16	4-12	2-8
	III-20	100	75-100	-	45-70	30-50	20-35	-	5-20	3-12	2-8	0-4
Fina	V-12	-	100	85-100	-	65-80	50-65	37-52	25-40	18-30	10-20	3-10
Drenante	PA-12	-	100	70-100	50-80	15-30	10-22	-	6-13	-	-	3-6
	PA-10	-	-	100	70-90	15-30	10-22	-	6-13			3-5

El tipo de mezcla asfáltica en caliente a emplear, en función del tipo y del espesor de la capa del firme, se define en las Especificaciones Técnicas Especiales, según la Tabla 5-30.

TABLA 5-30. TIPO DE MEZCLA A UTILIZAR EN FUNCIÓN DEL TIPO Y ESPESOR DE LA CAPA.

TIPO DE CAPA	ESPESOR (CM)	TIPO DE MEZCLA
Rodadura	4-7	IV-12(1); IV-A-12; PA-10 y PA-12.
	>7	IV-20(1); IV-A-20.
Intermedia	5-10	IV-20(1); IV-A-20; III-12a y III-20.
Base	7-15	III-20; MAM (*) IV-A-20.

(\*) Espesor máximo de trece centímetros (13 cm).

Las Especificaciones Técnicas Especiales deben fijar la dotación mínima de cemento asfáltico de la mezcla en caliente que, en cualquier caso, supere lo indicado en la Tabla 5-31, según el tipo de mezcla o de capa.

TABLA 5-31. DOTACIÓN MÍNIMA (\*) DE CEMENTO ASFÁLTICO  
(% EN MASA SOBRE EL TOTAL DEL ÁRIDO SECO, INCLUIDO EL POLVO MINERAL).

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	DOTACIÓN MÍNIMA (%)
Rodadura	Drenante	4,5
	Densa y Semidensa	5
Intermedia	Densa y Semidensa	4,0
Base	Semidensa y Gruesa	3,5
	Alto módulo	5,2

(\*) Incluidas las tolerancias especificadas en el apartado 5.11.6.2. Se recomienda tener en cuenta las correcciones por peso específico y absorción de los áridos, si son necesarias.

#### 5.11.4. EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

Se recomienda estar, en todo caso, ajustado a lo dispuesto en la legislación vigente en materia: ambiental, de seguridad, salud y de transporte en lo referente a los equipos empleados en la ejecución de las obras.

##### 5.11.4.1. Planta de Asfalto.

Las mezclas asfálticas en caliente se deben fabricar por medio de plantas de mezcla continua o discontinua, capaces de manejar simultáneamente en frío el número de fracciones del árido que exija la fórmula de trabajo adoptada (mínimo cuatro).

El sistema de almacenamiento, calefacción y alimentación del cemento asfáltico debe permitir su recirculación y su calentamiento a la temperatura de empleo, de forma que se garantice que no se produzcan sobrecalentamientos localizados y no se sobrepasen las temperaturas máximas admisibles de dicho producto.

Todas las tuberías, bombas, estanques, etc., deben estar provistos de calefactores o aislamientos.

Se recomienda que la descarga de retorno del cemento asfáltico a los estanques de almacenamiento sea sumergida, y que se dispongan de termómetros, especialmente en la boca de salida al mezclador, como también, en la entrada del estanque de almacenamiento.

El sistema de circulación esté provisto de dispositivos para tomar muestras y para comprobar la calibración del dosificador.

Las tolvas para áridos en frío debe ser de paredes resistentes y estancas, bocas de anchura suficiente para que su alimentación se efectúe correctamente y cuya separación sea efectiva para evitar intercontaminaciones. Su número mínimo sea función del número de fracciones de árido que exija la fórmula de trabajo adoptada, pero en todo caso, no sea inferior a cuatro (4).

Asi mismo estas tolvas, pueden estar provistas de dispositivos ajustables, de dosificación a su salida, que puedan ser mantenidos en cualquier ajuste. Las tolvas aseguran el flujo calibrado en todo

momento, para lo cual pueden contar con un dispositivo automático que detecte la interrupción o aumento descontrolado del flujo.

En plantas de mezcla continua, con tambor secador-mezclador, el sistema de dosificación puede ser ponderal, al menos para la arena y para el conjunto de los áridos. Se aconseja tener en cuenta la humedad de éstos, para corregir la dosificación en función de ella.

En los demás tipos de plantas, para la fabricación de mezclas para las Vías Expresas y Troncales, también deben ser preceptivo, disponer de sistemas ponderales de dosificación en frío.

La planta puede estar provista de un secador que permita calentar los áridos a la temperatura fijada en la fórmula de trabajo, extrayendo de ellos una proporción de polvo mineral tal, que su dosificación se atenga a la fórmula de trabajo.

El sistema extractor debe evitar la emisión de polvo mineral a la atmósfera y el vertido de lodos a cauces, de acuerdo con la legislación ambiental, de seguridad y salud vigentes.

Se recomienda que la planta tenga sistemas separados de almacenamiento y dosificación del polvo mineral recuperado y de aportación, los cuales sean independientes de los correspondientes al resto de los áridos y estén protegidos de la humedad.

Las plantas, cuyo secador no sea a la vez mezclador, pueden estar provistas de un sistema de clasificación de los áridos en caliente - de capacidad acorde con su producción - en un número de fracciones no inferior a cuatro (4) y de silos para almacenarlos.

Estos silos deben tener paredes resistentes, estancas y de altura suficiente para evitar intercontaminaciones, con un rebosadero para evitar que un exceso de contenido se vierta en los contiguos o afecte al funcionamiento del sistema de dosificación. Un dispositivo de alarma, claramente perceptible por el operador, le avise cuando el nivel del silo baje del que proporcione el caudal calibrado.

Es preciso que cada silo permita tomar muestras de su contenido y su compuerta de descarga sea estanca y de accionamiento rápido.

La planta puede estar provista de indicadores de la temperatura de los áridos, con sensores a la salida del secador, en su caso, en cada silo de áridos en caliente.

Las plantas de mezcla discontinua pueden estar provistas en cualquier circunstancia de dosificadores ponderales independientes: al menos uno (1) para los áridos calientes, cuya precisión sea superior al medio por ciento ( $\pm 0,5\%$ ) y al menos uno (1) para el polvo mineral y uno (1) para el cemento asfáltico, cuya precisión sea superior al tres por mil ( $\pm 0,3\%$ ).

El cemento asfáltico se debe distribuir uniformemente en el mezclador y las válvulas que controlan su entrada, no permitan fugas ni goteos. El sistema dosificador del cemento asfáltico debe calibrarse a la temperatura y presión de trabajo; en planta de mezcla continua, estando sincronizado con la alimentación de los áridos y la del polvo mineral.

En planta de mezcla continua con tambor secador-mezclador, se dé garantía de difusión homogénea del cemento asfáltico y que ésta se realice de forma que no exista riesgo de contacto con la llama, ni de someter al cemento asfáltico a temperaturas inadecuadas.

Si se previera la incorporación de aditivos a la mezcla, la planta debe dosificarlos con precisión suficiente.

Se recomienda que, si la planta estuviera dotada de tolvas de almacenamiento de las mezclas fabricadas, sus capacidades den garantía al flujo normal de los elementos de transporte, así como que en las cuarenta y ocho horas (48 h) siguientes a la fabricación, el material acopiado no haya perdido ninguna de sus características, en especial, la homogeneidad del conjunto y las propiedades del cemento asfáltico.

#### 5.11.4.2. Elementos de transporte.

Consiste en camiones de caja lisa y estanca, perfectamente limpia, los cuales se tratan para evitar que la mezcla asfáltica se adhiera a ella, con un producto cuya composición y dotación sea la adecuada.

Se recomienda que la forma y altura de la caja sea tal que, durante el vertido en la extendedora, el camión sólo toque a ésta a través de los rodillos previstos al efecto.

Los camiones deben estar provistos de una lona o cobertor adecuado para proteger la mezcla asfáltica en caliente durante su transporte.

#### 5.11.4.3. Extendedoras, terminadora o Finisher.

Las extendedoras deben ser autopropulsadas y estar dotadas de los dispositivos necesarios para extender la mezcla asfáltica en caliente, con la geometría y producción deseada y un mínimo de precompactación. La capacidad de la tolva, así como la potencia, sean adecuadas para el tipo de trabajo a desarrollar.

Los sistemas de traslado de mezcla desde la tolva hasta delante de la plancha y los de traslado transversal a esta, sean sincronizados automáticamente por el sistema de comando de la máquina, asegurando un volumen constante en todo momento delante de la plancha.

La extendedora debe estar dotada de un dispositivo automático de nivelación, y de un elemento calefactor para la ejecución de la junta longitudinal.

La plancha puede permanecer con calefacción adicional para mantener la temperatura óptima de trabajo que indique el fabricante de la máquina.

Se recomienda comprobar, en su caso, que los ajustes del enrasador y de la plancha se atienen a las tolerancias mecánicas especificadas por el fabricante y que dichos ajustes no han sido afectados por el desgaste u otras causas.

La anchura mínima o en máxima de extensión se define en las Especificaciones Técnicas Especiales o en su defecto el ITO o Profesional Responsable.

Si a la extendedora se acoplan piezas para aumentar su anchura, éstas pueden quedar perfectamente alineadas con las originales y con todos los elementos que aseguren la misma calidad que la plancha base.

#### 5.11.4.4. Equipo de compactación.

Se pueden utilizar compactadores de rodillos metálicos, estáticos o vibrantes, de neumáticos o mixtos.

La composición mínima del equipo puede ser de un (1) compactador vibratorio de rodillos metálicos o mixtos y un (1) compactador de neumáticos.

Es recomendable que todos los tipos de compactadores sean autopropulsados, tengan inversores de sentido de marcha de acción suave, estén dotados de dispositivos para la limpieza de sus llantas o neumáticos durante la compactación y para mantenerlos húmedos en caso necesario.

Se recomienda que los compactadores de llantas metálicas no presenten surcos ni irregularidades en ellas.

Los compactadores vibratorios pueden tener dispositivos automáticos para eliminar la vibración, al invertir el sentido de su marcha.

Los de neumáticos pueden tener ruedas lisas, en número, tamaño y configuración tales que permitan el solape de las huellas de las delanteras y traseras y faldones de lona protectores contra el enfriamiento de los neumáticos.

Las presiones de contacto, estáticas o dinámicas, de los diversos tipos de compactadores son necesarias para conseguir una compacidad adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor. Sin producir roturas del árido, ni deformaciones de la mezcla a la temperatura de compactación.

En los lugares inaccesibles para los equipos de compactación normales, se pueden emplear otros de tamaño y diseño adecuados para la labor que se pretende realizar.

En mezclas drenantes el rodillado se recomienda hacerlo como mínimo, con dos rodillos lisos, de un peso comprendido entre 8 y 12 toneladas, sin vibración, para evitar variaciones en la granulometría de los áridos. Es conveniente que los rodillos sigan de cerca a la terminadora. Los tiempos requeridos para la compactación de la mezcla drenante son menores que en una tradicional y la temperatura mínima de compactación depende del ligante empleado. Para asegurar un número suficiente de pasadas (normalmente el mínimo suele ser tres), se recomienda disponer de un rodillo de reserva. Se aconseja no emplear compactadores de neumáticos porque se adhieren con facilidad a la mezcla y provocan desprendimiento de gravilla. Además, al tener un efecto de amasado superficial de la mezcla provocan una disminución de huecos en la parte superior.

Cuando se emplean rodillos vibratorios en general se recomienda:

- En capas de 40 a 65 mm, emplear alta frecuencia y baja amplitud.
- En capas mayores a 65 mm, emplear alta frecuencia y alta amplitud.
- En capas rígidas emplear alta frecuencia y alta amplitud.

En cuanto a capacidades, se recomienda emplear rodillos vibratorios cuyas capacidades varíen de 4,5 a 10 toneladas. Estas capacidades pueden variar según el fabricante y su empleo depende del espesor de mezcla a compactar.

Estas recomendaciones deberán ser verificadas en obra.

Para proteger las estructuras se recomienda el empleo de rodillos de oscilación, la diferencia es que el movimiento de compactación o fuerza aplicada no es vertical al plano de compactación de la mezcla y el principio es una generación de fuerzas en el sentido horizontal y paralelo al plano del pavimento, generando un efecto de amasado en la mezcla. El efecto es tan eficiente que con uno o dos ciclos, dependiendo del espesor y de la mezcla, se logra la densidad sin necesidad de usar rodillos neumáticos.

### 5.11.5. EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

#### 5.11.5.1. Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.

La fabricación y puesta en obra de la mezcla no se debe iniciar hasta que se haya aprobado por el ITO o el Profesional Responsable la correspondiente fórmula de trabajo, estudiada en laboratorio y verificada en la planta de fabricación.

Dicha fórmula debe fijar como mínimo las siguientes características:

- a.) La identificación y proporción de cada fracción del árido en la alimentación y, en su caso, después de su clasificación en caliente.
  - b.) La granulometría de los áridos combinados, incluido el polvo mineral, por los tamices 25; 20; 12,5; 10; 5; 2,5; 1,25; 0,630; 0,315; 0,160; y 0,08 (NCh 1022 .Of1976).
  - c.) Granulometría del árido contenido en el material asfáltico a reciclar por los tamices.
  - d.) Tipo y características del cemento asfáltico.
  - e.) La dosificación del cemento asfáltico y, en su caso, la de polvo mineral de aportación, referida a la masa del total de áridos (incluido dicho polvo mineral), y la de aditivos, referida a la masa del cemento.
  - f.) En su caso, el tipo y dotación de las adiciones, referida a la masa total del árido combinado.
  - g.) La densidad mínima a alcanzar.
- También se señalan:
- h.) Los tiempos a exigir para la mezcla de los áridos en seco y para la mezcla de los áridos con el cemento asfáltico.
  - i.) Las temperaturas máxima y mínima de calentamiento previo de áridos y cemento asfáltico. Se recomienda no introducir, en ningún caso, en el mezclador, árido a una temperatura superior a la del cemento asfáltico en más de quince grados Celsius (15 °C).
  - j.) La temperatura de mezclado con cementos asfálticos se fija dentro del rango correspondiente a una viscosidad del cemento asfáltico de ciento cincuenta a trescientos centistokes (150-300 cSt). Además, en el caso de cementos asfálticos modificados con elastómeros en la temperatura de mezclado se recomienda tener en cuenta el rango recomendado por el fabricante.
  - k.) La temperatura mínima de la mezcla en la descarga desde los elementos de transporte.
  - l.) La temperatura mínima de la mezcla al iniciar y terminar la compactación.



Se recomienda que la temperatura máxima de la mezcla, al salir del mezclador, no sea superior a ciento ochenta grados Celsius (180°C), salvo en plantas de tambor secador-mezclador en las que no se exceda de los ciento sesenta y cinco grados Celsius (165°C). Para mezclas asfálticas de alto módulo dicha temperatura máxima puede aumentarse en diez grados Celsius (10°C).

Las Especificaciones Técnicas Especiales o en su defecto, el ITO o el Profesional Responsable, puede fijar la dosificación de ligante hidrocarbonado teniendo en cuenta los materiales disponibles, la experiencia obtenida en casos análogos y siguiendo los criterios siguientes:

- En mezclas densas, semidensas, gruesas y de alto módulo:

a.) El análisis de huecos y la resistencia a la deformación plástica puede efectuarse empleando el método Marshall, según la norma ASTM D1559-89.

b.) Para capas de rodadura o intermedia se recomienda emplear ensayos de la pista de ensayo de laboratorio que se encuentren en el país.

Se pueden aplicar los criterios indicados en la Tabla 5-32, y para mezclas de alto módulo, además, el valor del módulo dinámico a quince grados Celsius (15 °C), según la norma NLT-349, no sea inferior a trece mil megapascals (13.000 MPa).

Se recomienda en mezclas en que se empleen asfaltos modificados, el Ensayo de Rueda de Carga. Para el diseño de la mezcla se considera la realización de esta prueba, con el propósito de hacer una evaluación del comportamiento de la mezcla frente a las deformaciones permanentes o ahuellamiento, para lo cual se ensaya una probeta fabricada, según la especificación correspondiente de la prueba, con la dosificación que satisfaga los criterios de diseño del Método Marshall, la que cumple con una velocidad máxima de deformación en el intervalo entre 105 y 120 minutos menor que 15 µm/min (quince micrones por minuto), al ser sometida al Ensayo de Rueda de Carga o “Wheel tracking”, según la norma NLT-173.

TABLA 5-32. CRITERIOS DE DOSIFICACIÓN EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (75 GOLPES POR CARA).

CARACTERÍSTICA		CATEGORÍA DE TRÁFICO	
		E, T, C y S	L(**)y P(**)
Estabilidad (N)	Capa de rodadura	9000 a 14000	6000 a 9000
	Binder	8000 a 12000	
Fluencia(0,25mm) (kg/cm)	Capa de rodadura	8-14	8-16
	Binder	8-16	
Estabilidad / Fluencia		2400/4300	1800/4200(***)
Huecos en mezcla (%)	Capa de rodadura	3-5	
	Capa intermedia	3-8	-
	Capa de base	5-8(*)	-
VAF (Vacíos llenos con asfalto) (%)		65-75	65-78
Huecos en áridos (%)	Mezclas-12	13	14
VAM mínimo	Mezclas -20	13	

(\*) En las mezclas asfálticas de alto módulo: 4-6.

(\*\*) Marshall con 50 golpes por cara.VAM mínimo 14.

(\*\*\*) Binder.

- En mezclas drenantes se debe cumplir para su diseño con la Tabla 5-33.

TABLA 5-33. REQUISITOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DRENANTE.

CARACTERÍSTICAS	EXIGENCIA	ENSAYES	NORMA
Desgaste seco a 25°C, %	Máx. 20	Cántabro seco	NLT-352
Desgaste húmedo a 25°C, %	Máx. 30	Cántabro húmedo	NLT-362
Huecos, %	Min. 30	Huecos	NLT-168
Escurrimiento, %	Máx. 3	Escurrimientos	NLT-365
Tiempo de evacuación, s	Máx.30	Permeabilidad	NLT-327
Asfalto, %	Mín. 4 – Máx.5	-	-

Para todo tipo de mezcla, en el caso de vías Expresas y Troncales, se comprueba asimismo la sensibilidad de las propiedades de la mezcla a variaciones de granulometría y dosificación de cemento asfáltico que no excedan de las admitidas el apartado 5.11.9.2.

En cualquier circunstancia, se comprueba la adhesividad árido-ligante mediante la caracterización de la acción del agua. Para ello, en mezclas densas, semidensas, gruesas y de alto módulo, la pérdida de resistencia en el ensayo de inmersión-compresión, según la NLT-162, no sobrepase el veinticinco por ciento (25%).

Se puede mejorar la adhesividad entre el árido y el cemento asfáltico mediante activantes o cualquier otro producto sancionado por la experiencia. En tales casos, el fabricante y el que diseñe la mezcla determinan el producto, dosis y forma de aplicación.

En todo caso, la dosis mínima de cemento asfáltico no debe ser inferior a lo indicado en la Tabla 5-31.

Se recomienda que para capas de rodadura, la fórmula de trabajo de la mezcla asfáltica en caliente asegure el cumplimiento de las características de la unidad terminada en lo referente a la macrotextura superficial y a la resistencia al deslizamiento, según lo indicado en el apartado 5.11.6.6.

Si la marcha de las obras lo aconseja, el ITO o el Profesional Responsable puede corregir la fórmula de trabajo con objeto de mejorar la calidad de la mezcla, justificándolo mediante un nuevo estudio y los ensayos oportunos. Se estudia y aprueba una nueva fórmula si varía la procedencia de alguno de los componentes o si durante la producción se superan las tolerancias granulométricas establecidas en este artículo.

#### 5.11.5.2. Preparación de la superficie existente.

Se debe comprobar la regularidad superficial y el estado de la superficie sobre la que se vaya a extender la mezcla asfáltica en caliente.

Las Especificaciones Técnicas Especiales o, en su defecto, el ITO o el Profesional Responsable indiquen las medidas encaminadas a restablecer una regularidad superficial aceptable y, en su caso, a reparar zonas dañadas.

Si dicho pavimento fuera heterogéneo se recomienda eliminar mediante fresado los excesos de ligante y sellar las zonas demasiado permeables.

Se debe comprobar especialmente que, una vez transcurrido el plazo de rotura del ligante de los tratamientos aplicados, no queden restos de agua en la superficie, asimismo, si ha transcurrido mucho tiempo desde su aplicación, se aconseja comprobar que su capacidad de unión con la mezcla asfáltica no haya disminuido en forma perjudicial, en caso contrario, el ITO o el Profesional Responsable puede ordenar la ejecución de un riego de adherencia adicional.

#### 5.11.5.3. Aprovisionamiento de áridos.

Es recomendable que los áridos se produzcan o suministren en al menos cuatro fracciones granulométricas diferenciadas (inicio y término de sus tamaños), que se acopien y manejen por separado hasta su introducción en las tolvas en frío.

Se recomienda que cada fracción sea suficientemente homogénea y se pueda acopiar y manejar sin peligro de segregación, observando las precauciones que se detallan a continuación.

Para mezclas diseñadas según la Tabla 5-32, el número mínimo de fracciones diferenciadas es de cuatro (4).

Cada fracción del árido se acopia separada de las demás, para evitar intercontaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, se recomienda no usar sus quince centímetros (15 cm) inferiores, a no ser que se pavimenten. Los acopios se pueden construir por capas de espesor no superior a un metro y medio (1,5 m) y no por montones cónicos. Las cargas del material se pueden colocar adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

En la zona desde Los Ángeles al sur los áridos finos se encuentren bajo techo.

Cuando se detecten anomalías en el suministro de los áridos, se recomienda acopiar por separado hasta confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se puede aplicar cuando esté pendiente de autorización el cambio de procedencia de un árido.

No se acepta el uso inmediato de árido, que esté ingresando a la planta de asfalto, éste es acopiado y luego validado por el sistema de autocontrol de la planta.

#### 5.11.5.4. Fabricación de la mezcla.

Es recomendable que la carga de cada una de las tolvas de áridos en frío se haga de forma que su contenido esté comprendido entre el cincuenta y el cien por cien (50 a 100%) de su capacidad, sin rebosar.

En las operaciones de carga se aconseja tomar las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

Para mezclas densas y semidensas la alimentación del árido fino aún cuando éste, fuera de un único tipo y granulometría, se puede efectuar dividiendo la carga entre dos (2) tolvas. Esto es válido cuando un sólo material por sí mismo es más de un 50 % de la mezcla de áridos.

Los dosificadores de áridos en frío se pueden regular de forma que se obtenga la granulometría de la fórmula de trabajo; su caudal se puede ajustar a la producción prevista, y se puede mantener constante la alimentación del secador.

Se recomienda regular el secador de forma que la combustión sea completa, lo que puede venir indicado por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea; la extracción por los colectores puede regularse de forma que la cantidad y la granulometría del polvo mineral recuperado, sean ambas uniformes.

En la plantas, cuyo secador no sea a la vez mezclador, los áridos calentados y, en su caso, clasificados, se aconseja pesarlos y transportarlos al mezclador.

Si la alimentación de éste es discontinua, después de haber introducido los áridos y el polvo mineral se debe agregar automáticamente el ligante asfáltico para cada amasada, se puede continuar la operación de mezcla durante el tiempo especificado en la fórmula de trabajo.

Si se utilizan áridos procedentes del reciclado de mezclas asfálticas, en la planta, cuyo secador no sea a la vez mezclador, si la alimentación de éste es discontinua, después de haber introducido los áridos, se debe pesar e introducir los áridos procedentes del reciclado de mezclas asfálticas junto al polvo mineral, después de un tiempo de disgregación, calentado y mezcla, se puede agregar el ligante asfáltico y en su caso los aditivos, para cada amasado, pudiéndose continuar la operación de mezcla durante el tiempo especificado en la fórmula de trabajo. Si la alimentación fuese continua, los áridos procedentes del reciclado de mezclas asfálticas se pueden incorporar al resto de los áridos en la zona de pesaje en caliente a la salida del secador.

En la planta de mezcla continua con tambor secador-mezclador se aportan los áridos procedentes del reciclado de mezclas asfálticas tras la llama, de forma que no exista riesgo de contacto con ella.

En los mezcladores de las plantas que no sean de tambor secador-mezclador, se puede limitar el volumen del material, en general hasta dos tercios (2/3) de la altura máxima que alcancen las paletas, de forma que, para los tiempos de mezclado establecidos en la fórmula de trabajo se alcance una envuelta completa y uniforme.

A la descarga del mezclador, se recomienda que todos los tamaños del árido estén uniformemente distribuidos en la mezcla y todas sus partículas total y homogéneamente cubiertas de cemento asfáltico. Se aconseja que la temperatura de la mezcla al salir del mezclador no exceda de la fijada en la fórmula de trabajo.

En el caso de utilizar adiciones al cemento asfáltico a la mezcla, se debe cuidar su correcta dosificación, la distribución homogénea, así como que no pierda sus características iniciales durante todo el proceso de fabricación.

#### 5.11.5.5. Transporte de la mezcla.

La mezcla asfáltica en caliente se debe transportar de la planta de fabricación a la extendedora, en camiones. Para evitar su enfriamiento superficial, se debe proteger, durante el transporte, mediante lonas u otros cobertores adecuados. En el momento de descargarla en la extendedora, su temperatura no sea inferior a la especificada en la fórmula de trabajo.

#### 5.11.5.6. Extensión de la mezcla.

Es recomendable que la extensión comience por el borde inferior, y se haga por franjas longitudinales.

La anchura de estas franjas se fije de manera que se realice el menor número de juntas posible y se consiga la mayor continuidad de la extensión, teniendo en cuenta la anchura de la sección, el eventual mantenimiento de la circulación, las características de la extendedora y la producción de la planta.

En obras sin circulación, para las vías clasificadas como, Expresas y Troncales o con superficies a extender en calzada superiores a setenta mil metros cuadrados (70 000 m<sup>2</sup>), se sugiere hacer la extensión de cualquier capa asfáltica a ancho completo, trabajando si fuera necesario con dos (2) o más extendedoras ligeramente desfasadas, evitando juntas longitudinales. En los demás casos, después de haber extendido y compactado una franja, se puede extender la siguiente, mientras el borde de la primera, se encuentre aún caliente y en condiciones de ser compactado. En caso contrario, se puede ejecutar una junta longitudinal.

La extendedora se puede regular de forma que la superficie de la capa extendida resulte lisa y uniforme, sin segregaciones ni arrastres y con un espesor tal, que una vez compactada, se ajuste a la rasante y sección transversal indicadas en los Planos.

La extensión se recomienda hacerla con la mayor continuidad posible, ajustando la velocidad de la extendedora a la producción de la planta de fabricación de modo que aquella no se detenga. En caso de detención, se debe comprobar que la temperatura de la mezcla que quede sin extender, en la tolva de la extendedora y debajo de ésta, no baje de la prescrita en la fórmula de trabajo para el inicio de la compactación, de lo contrario, se puede ejecutar una junta transversal.

Donde resulte imposible el empleo de máquinas extendedoras, la mezcla asfáltica en caliente se puede poner en obra por otros procedimientos adecuados. Para ello, se descarga fuera de la zona en que se vaya a extender y se distribuye en una capa uniforme de un espesor tal que, una vez compactada, se pueda ajustar a la rasante y sección transversal indicadas en los Planos.

#### 5.11.5.7. Compactación de la mezcla.

La compactación se debe hacer a la mayor temperatura posible, sin rebasar la máxima prescrita en la fórmula de trabajo y sin que se produzca desplazamiento de la mezcla extendida; y se continúe mientras la temperatura de la mezcla no baje de la mínima prescrita en la fórmula de trabajo y la mezcla se halle en condiciones de ser compactada, hasta que se alcance la densidad especificada en el apartado 5.11.6.1.

La compactación se debe hacer longitudinalmente, de manera continua y sistemática. Si la extensión de la mezcla asfáltica se realiza por franjas, al compactar una de ellas se debe ampliar la zona de compactación para que incluya al menos, quince centímetros (15 cm) de la anterior.

Los rodillos pueden llevar su rueda motriz del lado más cercano a la extendidora; los cambios de dirección se pueden hacer sobre la mezcla ya apisonada, y los cambios de sentido se hacen con suavidad.

Se deben tener los elementos de compactación limpios y si fuera preciso, húmedos.

#### 5.11.5.8. Juntas transversales y longitudinales.

Es recomendable que siempre que sean inevitables, se procure que las juntas de capas superpuestas guarden una separación mínima de cinco metros (5 m) las transversales y quince centímetros (15 cm) las longitudinales.

Al extender franjas longitudinales contiguas, si la temperatura de la extendida en primer lugar no es superior al mínimo fijado en la fórmula de trabajo para terminar la compactación, se sugiere cortar el borde de esta franja de forma rugosa y verticalmente, dejando al descubierto una superficie áspera y vertical en todo su espesor. Se aconseja aplicar una capa uniforme y ligera de riego de adherencia, según el Art. 5.5 de este Código, dejando romper la emulsión suficientemente. A continuación, se recomienda calentar la junta y extender la siguiente franja contra ella.

Las juntas transversales en capas de rodadura se pueden compactar transversalmente, disponiendo los apoyos precisos para los elementos de compactación.

### **5.11.6. ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA**

#### 5.11.6.1. Densidad.

Sobre los testigos de cada tramo homogéneo se debe determinar la densidad real.

En mezclas asfálticas densas, semidensas y gruesas, la densidad real debe ser tal que se cumpla que la densidad de compactación de la muestra individual, de la superficie y Binder (capa intermedia), sea mayor o igual a 97% de la densidad Marshall.

#### 5.11.6.2. Cantidad de asfalto.

Se acepta la muestra individual si su porcentaje de asfalto (Pt) es mayor o igual a Pb -0.3 % para la capa superficial y Pb -0.5 % para el binder (capa intermedia), e inferior o igual a Pb +0.3 % para la capa superficial y Pb +0.5 % para el binder, siendo Pb el porcentaje de asfalto de la dosificación Marshall.

Asimismo, ningún valor debe ser inferior a Pb -0.5 % para la capa superficial y Pb-0.7 % para el binder (capa intermedia), ni superior a Pb +0.5 % para la capa superficial y Pb +0.7 % para el binder (capa intermedia).

#### 5.11.6.3. Rasante, espesor y anchura.

Tanto la rasante, como el espesor y anchura se deben controlar según planos. Se debe verificar que la superficie acabada a nivel de rasante no difiera de la teórica en más de cinco milímetros (5 mm) en capas de rodadura, ni de diez milímetros (10 mm) en las demás capas.

El espesor de una capa no sea inferior al previsto para ella en la sección-tipo de los Planos. En todos los perfiles se debe comprobar que la anchura extendida, en ningún caso sea inferior a la teórica deducida de la sección-tipo de los Planos de proyecto.

#### 5.11.6.4. Regularidad superficial para vías Expresas, Troncales, y Colectoras. de longitud mayor a 1 Km y cuyo perfil longitudinal sea diseñado de manera continua y sin quiebres.

Es recomendable que los controles de regularidad IRI se efectúen por una empresa con experiencia en la materia mediante un equipo perfilómetro de clase I, según especificación del Banco Mundial. El control de IRI (Índice de Regularidad Internacional) se puede hacer por sectores homogéneos, entendiéndose por ello, que corresponden a una misma estructuración. No se consideran puentes, badenes u otras singularidades que afecten la medición. Asimismo, no se exige este control para recapados asfálticos, excepto cuando el proyecto así lo determine.

Se sugiere medir en forma continua en tramos de 200 m. En caso de que el último tramo de un sector homogéneo no alcance a los 200 m, se sugiere informar el IRI (m/km) con un decimal, debidamente georeferenciado por kilometraje del proyecto.

La regularidad se puede medir longitudinalmente por pista mediante un sistema perfilométrico clase I de precisión, midiendo la elevación del perfil al milímetro y con una frecuencia igual o superior a cuatro puntos por metro, es decir, cada 250 mm como máximo y ejecutando el programa IRI.

Alternativamente, este control se pueda hacer con equipos tipo respuesta, debidamente calibrados con algún sistema perfilométrico que cumpla con las mismas características mencionadas anteriormente. El perfilómetro se hace pasar por sobre las huellas normales de circulación vehicular.

La evaluación del IRI se hace por media móvil tomando los valores de cinco tramos consecutivos.

Se entiende que la superficie del pavimento tiene regularidad aceptable, si todos los promedios consecutivos de cinco valores de IRI tienen un valor igual o inferior a 2.0 m/km y ninguno de los valores individuales supera 2.8 m/km.

Las Especificaciones del Proyecto definirán el criterio de aceptación y rechazo.



#### 5.11.6.5. Lisura HIGH-LOW para Pasajes, vías Locales y de Servicio de longitud menor a 1 Km.

Es recomendable que los procedimientos que se describen en este párrafo sólo sean aplicables a las capas asfálticas de superficie.

Sin embargo, se sugiere no aplicar este control para recapados asfálticos sobre pavimentos existentes, excepto, cuando el Proyecto así lo determine.

Se aconseja verificar la lisura del pavimento tan pronto sea posible tras su construcción.

Sólo cuando el ITO o el Profesional Responsable lo autoricen, se pueden hacer correcciones de lisura posteriores, en todo caso, de ser autorizadas, estas correcciones pueden incluir rebajes de puntos altos de hasta 5 mm, cuando ello no resulte un espesor inferior al de Proyecto.

Además, se recomienda restituir el texturado de la superficie pulida.

El equipo High-Low se debe calibrar en terreno antes de efectuar la medición.

#### 5.11.6.6. Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD).

La superficie de la capa debe presentar una textura uniforme y exenta de segregaciones.

Para vías Expresas, Troncales y Colectoras, el coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) medido con el Péndulo Británico, según NLT-175, salvo justificación en contrario, se recomienda ser superior a 0,6 y ninguno de los valores individuales ser inferior a 0,55.

Se mide con dos mediciones por pista y a una distancia inferior a 50 metros.

Los controles del coeficiente CRD estarán a cargo del Constructor y deberán efectuarse mediante el Péndulo Británico, según NLT-175. Se medirá por pista y a distancias máximas de 50 m, y se deberá contar al menos con 2 mediciones por pista.

En caso de incumplimiento se podrá optar por mejorar el coeficiente CRD mediante cepillado que cubra el 100% de la superficie del pavimento, cuando ésta tiene menos de una cuadra y de al menos una cuadra, para proyectos de mayor longitud.

En ambos casos, se cubrirá con el cepillado todas las pistas de la calzada. En situación de persistir el incumplimiento se rehará la carpeta de la zona afectada, delimitada ésta por el área de influencia que representa la o las medidas defectuosas.

#### **5.11.7. LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN.**

No se debe permitir la puesta en obra de mezclas asfálticas en caliente:

- Cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5 °C), salvo si el espesor de la capa a extender fuera de cuatro centímetros (4 cm), en cuyo caso el límite es de diez grados Celsius (10 °C). Con viento intenso, después de heladas o en tableros de estructuras, se puede aumentar estos límites, a la vista de los resultados de compactación obtenidos.
- Cuando se produzcan precipitaciones atmosféricas o exista hielo en la superficie.

- Terminada su compactación, se puede abrir a la circulación la capa ejecutada, tan pronto como alcance la temperatura ambiente en todo su espesor.

Nota:

Las Especificaciones del Proyecto definirán el criterio de aceptación y rechazo.

## ART. 5.12. NORMAS ADICIONALES SOBRE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Las normas adicionales referidas a los ensayos de Áridos, Asfaltos y Mezclas Asfálticas en esta Sección son las siguientes:

### 5.12.1. NORMAS DEL INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (I.N.N.)

- NCh. 164 EOf.1976 - Áridos para morteros y hormigones - Extracción y preparación de muestras.
- NCh. 165 Of.1977 - Áridos para morteros y hormigones - Tamizado y determinación de la granulometría.
- NCh. 1022 Of.1976 - Tamices de ensayo, de tela de alambre y de plancha perforada - Dimensiones nominales de abertura.
- NCh. 1116 EOf.1977 - Áridos para morteros y hormigones - Determinación de la densidad aparente.
- NCh 1117 EOf.1977 - Áridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades real y neta y la absorción de agua de las gravas.
- NCh. 1223 Of.1977 - Áridos para morteros y hormigones - Determinación del material fino menor que 0,080 mm.
- NCh. 1239 Of.1977 - Áridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades real y neta y la absorción de agua de las arenas.
- NCh. 1325 Of.1978 - Áridos - Determinación del equivalente de arena.
- NCh. 1328 Of.1977 - Áridos para morteros y hormigones - Determinación de la desintegración - Método de los sulfatos.
- NCh. 1333 Of.1987 - Requisitos de calidad del agua para diferentes usos.
- NCh. 1369 Of.1978 - Áridos - Determinación del desgaste de las gravas - Método de la Máquina de los Ángeles.
- NCh. 1444/I Of.1980 - Áridos para morteros y hormigones - Determinación de sales - Parte I: Determinación de cloruros y sulfatos.
- NCh. 1517/1.Of.1979 - Mecánica de suelos - Límites de consistencia - Parte I: Determinación del límite líquido.
- NCh. 1517/2.Of.1979 - Mecánica de suelos - Límites de consistencia - Parte 2: Determinación del límite plástico.

- NCh. 1534/2 Of.1979 - Mecánica de suelos - Relaciones humedad/densidad - Parte 2: Métodos de compactación con pisón de 4,5 kg y 460 mm de caída.
- NCh. 2332 Of.1998 - Asfalto – Muestreo.
- NCh. 2333.Of.1998 - Asfaltos - Determinación de la densidad y la densidad relativa.
- NCh. 2334 Of.1998 - Asfaltos - Determinación de la viscosidad Saybolt.
- NCh. 2335 Of.1998 - Asfaltos - Determinación de la viscosidad cinemática
- NCh. 2336 Of.1998 - Asfaltos - Determinación de la viscosidad mediante viscosímetros capilares de vacío.
- NCh. 2337 Of.1998 - Asfaltos - Determinación del punto de ablandamiento mediante el aparato de anillo y bola.
- NCh. 2338 Of.1998 - Asfaltos - Determinación de los puntos de inflamación y combustión - Método de la copa abierta Cleveland.
- NCh. 2339 Of.1999 - Asfaltos - Determinación del punto de inflamación - Método de la copa abierta Tag.
- NCh. 2340 Of.1999 - Asfaltos - Ensayo de penetración.
- NCh. 2341 Of.1999 - Asfaltos - Determinación de la solubilidad en solventes orgánicos.
- NCh. 2342 Of.1999 - Asfaltos - Ensayo de ductilidad.
- NCh. 2343 Of.1999 - Asfaltos - Ensayo de la mancha.
- NCh. 2344 Of.1999 - Asfaltos - Punto de fragilidad Fraass.
- NCh. 2346 Of.1999 - Asfaltos - Ensayo de película delgada rotatoria.
- NCh. 2347 Of.1999 - Asfaltos cortados - Ensayo de destilación.
- NCh. 2348 Of.1998 - Emulsiones asfálticas - Métodos de ensayo.

#### **5.12.2. NORMAS DE LA SOCIEDAD AMERICANA (ASTM)**

- ASTM D139-07 - Ensayo de Flotación para materiales asfálticas.
- ASTM D1559-89 - Ensayo de Resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall.
- ASTM D3549-03 Espesor de mezclas asfálticas compactadas
- ASTM D3625-96 - Ensayo de Susceptibilidad al agua (Hervido de Texas).
- ASTM D4253-00 - Métodos de prueba para el índice máximo de densidad y unidades de peso de suelos usando una tabla vibratoria.

### 5.12.3. NORMAS DE LA ESPECIFICACION ESPAÑOLA PG-3 (NLT)

- NLT-162 - Efecto del agua sobre la cohesión de las mezclas asfálticas compactadas. (Ensayo de inmersión- compresión).
- NLT-165 - Análisis granulométrico de los áridos recuperados de las mezclas asfálticas.
- NLT-168 - Densidad y huecos en mezclas asfálticas compactadas.
- NLT-173 - Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio.
- NLT-175 - Coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) con el péndulo del TRRL.
- NLT-176 - Densidad aparente del polvo mineral en tolueno.
- NLT-317 - Consistencia, con el cono, de las lechadas asfálticas.
- NLT-320 - Abrasión por vía húmeda de las lechadas asfálticas.
- NLT-323 - Método de ensayo para clasificar las lechadas asfálticas por medida del par de torsión, en el cohesiómetro, en función del tiempo de curado.
- NLT 326 - Ensayo de lixiviación en materiales para carreteras. (Método del tanque).
- NLT-327 - Permeabilidad in situ de pavimentos drenantes con el permeámetro LCS.
- NLT-328 - Estabilidad al almacenamiento de betunes asfálticos modificados.
- NLT 329 - Recuperación elástica por torsión para asfaltos modificados.
- NLT-349 - Medida de módulos dinámicos de materiales para carreteras.
- NLT-352 - Caracterización de las mezclas asfálticas abiertas por medio del Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste.
- NLT-354 - Índices de lajas y agujas de los áridos para carreteras.
- NLT-358 - Proporción del árido grueso que presenta dos o más caras de fracturo por machaqueo (Cubicidad de las Partículas).
- NLT-362 - Efecto del agua sobre la cohesión de mezclas asfálticas de granulometría abierta, mediante el Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste.
- NLT-365 - Esguerramiento del ligante en mezclas asfálticas abiertas.

### 5.12.4. NORMAS ESPAÑOLAS (UNE-EN)

- UNE-EN 933-5 - Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 5: Determinación del porcentaje de caras de fractura de las partículas de árido grueso.



## SECCIÓN 6. PAVIMENTOS CONSTRUÍDOS CON ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

### ART. 6.1 CONDICIONES GENERALES

#### 6.1.1. ALCANCE

Esta especificación establece criterios generales para el uso de elementos prefabricados de hormigón en obras de pavimentación.

En ella se incorporan los requisitos que deben cumplir por los diversos elementos prefabricados y la forma de evaluarlos.

Esto sólo se refiere a adoquines, pastelones, baldosas, soleras solerillas y soleras.

La utilización de otro tipo de elementos prefabricados de hormigón queda sujeta a condiciones y requisitos establecidos en las especificaciones particulares de cada obra.

#### 6.1.2. SUBRASANTE

El terreno se prepara de manera de obtener una superficie de soporte pareja y homogénea, exenta de material suelto o de origen orgánico, el que, si existe, se remueve y reemplaza por material adecuado.

Las excavaciones se realizan hasta el nivel indicado en el proyecto y se procede a compactar la capa superior de acuerdo con las especificaciones.

Se recomienda hacer los rellenos por capas, de espesor suelto comprendido entre 10 y 20 cm., que se compacten según lo especificado en el proyecto. En cualquier caso, se debe cumplir con los requisitos y estipulaciones previstas en la sección 3 del presente Código.

#### 6.1.3. SUB-BASES GRANULARES

Las sub-bases granulares deben cumplir con lo indicado en este apartado, además de lo señalado por cada elemento prefabricado en particular, de lo establecido en las Especificaciones particulares de cada obra, y a lo señalado en la Sección 3 del presente Código en lo que le sea aplicable en forma complementaria.

La sub-base debe estar compuesta por material estabilizado homogéneamente mezclado, desprovisto de materias orgánicas, grumos de arcilla, escombros, basura, etc.

La granulometría para este material se debe encontrar dentro de la banda indicada en la Tabla 6-1, según el tamaño máximo escogido.

TABLA 6-1: BANDA GRANULOMÉTRICA PARA MATERIALES DE SUB-BASE

Tamiz [mm]	Tamaño Máximo	
	2"	1"
	% que pasa en peso	
50	100	-
40	85 - 100	-
25		100
20	60 - 90	-
10		60 - 100
5	30 - 65	50 - 80
2	20 - 50	30 - 60
1,25	16 - 43	-
0,425	10 - 30	10 - 35
0,315	9 - 27	-
0,08	5 - 15	0 - 15

La fracción de material que pasa por el tamiz de 0.425 [mm] (malla ASTM #40) debe tener un Límite Líquido (LL) menor o igual al 25% y un Índice de Plasticidad (IP) menor o igual al 6%.

La sub-base se debe compactar por capas con un espesor suelto comprendido entre 10 y 20 cm, y un contenido de humedad igual o ligeramente inferior al óptimo.

#### 6.1.4. BASE DE MORTERO

El mortero se debe confeccionar con una relación cemento: arena = 1:4 en peso. A su vez, la arena que tenga un tamaño máximo de 5 mm y debe cumplir la NCh 163 Of. 1977.

Se recomienda que la consistencia del mortero sea plástica para que el material pueda ser esparcido con facilidad, en forma ajustada a los niveles de proyecto, y se obtenga al mismo tiempo un óptimo contacto con la cara inferior de los elementos que se utilicen para la superficie del pavimento.

#### 6.1.5. ENSAYOS

Se deben efectuar los ensayos previstos según sea el tipo de elemento prefabricado, en la forma indicada más adelante para cada caso.

#### 6.1.6. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

La evaluación de la calidad de las unidades y su consiguiente aceptación o rechazo se efectuará por lotes, entendiéndose por lote un conjunto de elementos correspondientes a una misma partida fabricada bajo similares condiciones de producción.

De cada lote, se recomienda extraer una muestra al azar, para su medición y ensayo de acuerdo a las Especificaciones particulares de cada elemento.

Se aceptará el lote si la muestra cumple con los requisitos geométricos y mecánicos establecidos.

Si la muestra no cumple con algún requisito se efectuará un remuestreo por lote, extrayendo al azar una muestra con el doble de unidades consideradas inicialmente.

Se aceptará el lote si la muestra de remuestreo cumple con los requisitos especificados. En caso contrario, se aconseja rechazar el lote completo.

## **ART. 6.2 ADOQUINES**

### **6.2.1. ALCANCE**

Se establecen los criterios para diseñar y construir pavimentos urbanos de adoquines.

Se establecen también, los requisitos geométricos y de resistencia a compresión a cumplir por los adoquines.

### **6.2.2. DISEÑO DE PAVIMENTOS URBANOS CON ADOQUINES**

#### **6.2.2.1. Generalidades.**

El diseño de pavimentos de adoquines puede realizarse por dos métodos. En conformidad con las curvas de diseño propuestas en el apartado 6.2.2.6. ó de acuerdo con las secciones tipo establecidas en el apartado 6.2.2.7.

Ambos métodos permiten calcular el espesor de la sub-base granular en función de las características de la vía y las condiciones de suelo.

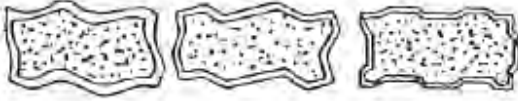

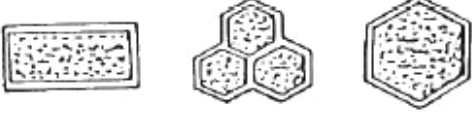
Aquellos casos que no puedan ser abordados siguiendo los criterios expuestos en esta especificación, su diseño se puede apoyar en la metodología propuesta por el Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón u otra aceptada por el SERVIU.

#### **6.2.2.2. Características de los adoquines.**

La forma de los adoquines incide en el comportamiento global del pavimento, por ello se los ha agrupado en diferentes categorías, de acuerdo a la mayor o menor contribución que realicen a la capacidad resistente de la estructura, tal como se indica en la Tabla 6.2.



TABLA 6-2. CLASIFICACIÓN DE LOS ADOQUINES SEGÚN SU FORMA.

	<p>A) Adoquines dentados que se entrelazan entre sí en los cuatro costados, capaces de ser aparejados en “espina de pescado” y que, por su geometría plana, al unirse, resisten el desplazamiento relativo tanto en sentido longitudinal como transversal.</p>
	<p>B) Adoquines dentados, que se entrelazan entre sí, sólo en dos costados que no pueden aparejarse en “espina de pescado” y que por su geometría plana resisten desplazamientos relativos sólo en las caras paralelas a los ejes longitudinales, dependiendo de su precisión dimensional y de la precisión de colocación para que traben en las otras caras.</p>
	<p>C) Adoquines rectangulares u otras formas geométricas (trapezios, hexágonos, triedros, etc) que dependen sólo de su precisión dimensional y de colocación para desarrollar alguna trabazón.</p>

La elección de la forma, del espesor, del aparejo de colocación y de la resistencia mecánica de los adoquines, puede estar condicionada por la sollicitación que soporta el pavimento. Por esto, se sugiere para el diseño considerar lo establecido en la Tabla 6-3.

TABLA 6-3. CARACTERÍSTICAS DE LOS ADOQUINES, SEGÚN EL NIVEL DE TRÁNSITO.

Clasificación de tránsito	Forma	Espesor Mínimo	Aparejo de Colocación	Clase de Adoquín (tabla 6.6)
T0	A	80	H	1
T1	A	80	H	1
T2	A	60	H	2
	B	80	S*	2
T3	A	60	H-S	2
	B	80	S*	2
	C	80	H	2
T4	A	60	H-S	2
	B	60	S*	2
	C	80	H-S	2
T5	A	60	H-S	2
	B	60	S*	2
	C	60	H-S	2

Aparejos:

H: Espina de pescado.

S: Otros aparejos (de corredor, trama de canasta).

\*: El adoquín B no se instala en aparejo “Espina de pescado”.

#### 6.2.2.3. Espesor de la sub-base granular.

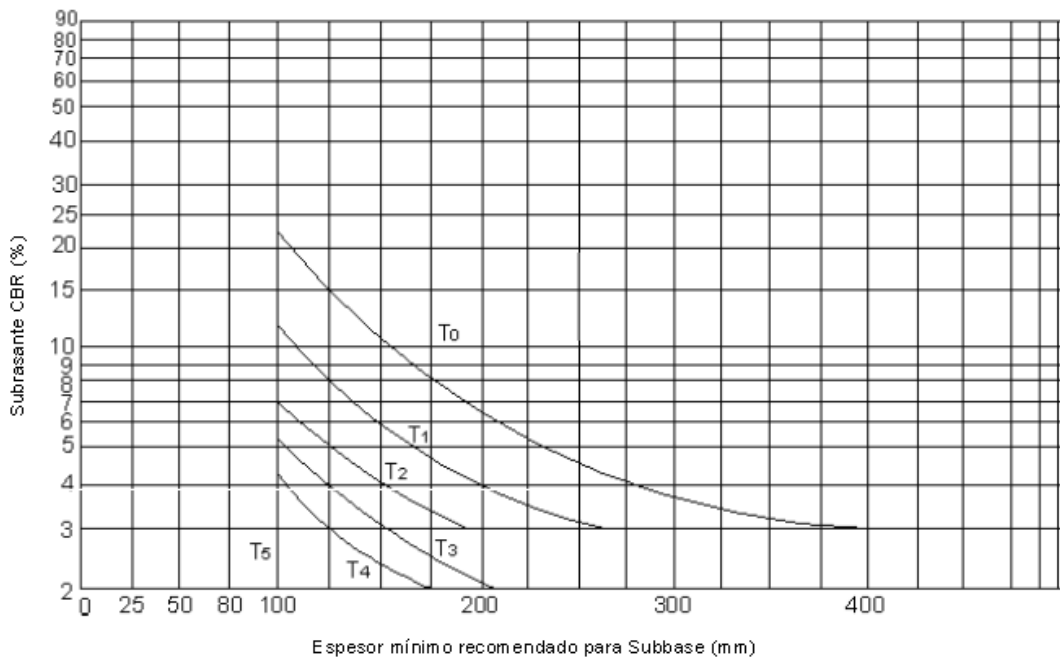
Es recomendable que el espesor de la sub base granular cumpla con lo establecido en los apartados 6.1.3 y 6.2.3.2.

Para determinar el espesor de esta capa, pueden utilizarse los métodos mostrados en los apartados 6.2.2.4. y 6.2.2.5.

#### 6.2.2.4. Curvas de diseño.

Se pueden usar las curvas de diseño mostradas en la Figura 6-1, en caso en que el CBR del suelo haya sido medido directamente y su valor sea representativo de la calidad del terreno.

FIGURA 6-1. ESPESOR MÍNIMO RECOMENDADO PARA SUB BASE (mm).



### 6.2.2.5. Secciones tipo

En caso que la capacidad de soporte del suelo se determine en forma indirecta, los espesores sugeridos de la sub base son los que se indican en la Tabla 6-4.

TABLA 6-4. ESPESOR DE LA SUB BASE GRANULAR (cm).

Clasificación de Tránsito	Tipo de Suelo			
	Exelente	Buena	Regular	Malo
T0	12	17	23	40
T1	10	12	16	27
T2	10	10	12	20
T3	10	10	10	15
T4	10	10	10	13
T5	8	8	8	8

Este método no es aplicable en suelos clasificados como Muy malos (CBR < 3%).

## 6.2.3. CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS CON ADOQUINES

### 6.2.3.1. Preparación de la subrasante.

Es recomendable que se aplique lo establecido en el apartado 6.1.2.

De ser necesaria la remoción del suelo de fundación, éste se puede reemplazar por material de CBR no menor al 15%.

Se aconseja extender la subrasante en sentido transversal, por lo menos en un ancho tal que, incluya los elementos de restricción de borde y sus refuerzos posteriores.

La compactación se debe hacer exclusivamente por medios mecánicos, hasta alcanzar un 95% de la densidad máxima seca obtenida por el ensayo Proctor Modificado (NCh 1534 / 2.Of1979) o de un 80% de la Densidad relativa (según norma ASTM 4254-00).

Se sugiere que el espesor efectivo de compactación comprenda por lo menos los 20 cm superiores de la subrasante.

#### 6.2.3.2. Sub base granular.

Se debe aplicar lo establecido en el apartado 6.1.3.

La granulometría del material debe estar comprendida dentro de la banda especificada en dicho apartado para tamaño máximo 2”.

El CBR a 0,2” de penetración en muestra saturada y compactada debe ser igual o superior al 50%.

El agregado grueso debe tener un desgaste máximo de 50%, según el ensaye Desgaste Los Ángeles (NCh 1369.Of1978).

La compactación se requiere hacerla por medios mecánicos hasta obtener un 95% de la densidad máxima seca determinada por el ensayo Proctor Modificado (NCh 1534 / 2.Of1979).o de 80% de la Densidad Relativa (según norma ASTM 4254-00).

Tan importante como un alto grado de compactación de los materiales bajo un pavimento de adoquines, es una compactación homogénea, la cual es aconsejable que no presente nidos de material, ya sea grueso o fino.

Además, la superficie de la sub base puede mostrar un aspecto de trama tupida, lo cual impide el descenso del material desde la cama de arena.

Especial cuidado se requiere tener en las zonas cercanas a las estructuras de confinamiento, tapas de alcantarillado, etc., en donde el proceso de compactación es más difícil de realizar.

#### 6.2.3.3. Restricciones de borde.

La restricción lateral es de primordial importancia para prevenir el desplazamiento lateral de los adoquines y la apertura de la juntas, con la consiguiente pérdida de trabazón.

Esta restricción puede consistir en soleras rectas, soleras con zarpa o solerillas, las cuales, es recomendable instalarlas después de la compactación de la sub base, para que ésta le proporcione una adecuada sustentación.

#### 6.2.3.4. Cama de arena.

La arena que se utilice debe ser, en lo posible, de cantos angulares y estará desprovista de sales solubles o contaminantes.

No contendrá más del 5% de limo o arcilla en peso y que el contenido de humedad será lo más uniforme posible y debe estar cercano al óptimo necesario, que en condiciones normales varía de 6 a 8%.

La Granulometría debe estar comprendida dentro de la banda indicada en la Tabla 6-5.

TABLA 6-5. GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL PARA CAMA DE ARENA.

Tamiz		% que pasa en peso
ASTM	NCh (mm)	
3/8"	10	100
# 4	5	95 - 100
# 8	2,5	80 - 100
# 16	1,25	50 - 95
# 30	0,63	25 - 60
# 50	0,315	10 - 30
# 100	0,16	5 - 15
# 200	0,08	0 - 15

La arena se acopia de forma que no se contamine y puedan mantenerse sus características.

En caso de estar a la intemperie, se debe cubrir de manera que el contenido de humedad sea el adecuado y lo mas uniforme posible.

Antes de utilizarla, se revolverá y harneará para lograr su completa homogeneización y asegurar que el material se encuentre suelto, condición que se mantiene hasta el momento de su colocación.

El espesor de la cama de arena, luego de la compactación de los adoquines, debe ser de 30 mm. Ello implica que el espesor suelto puede ser mayor en una magnitud del orden de los 10 mm. Su valor preciso se puede determinar haciendo algunos ensayos a un costado del pavimento.

Si durante las operaciones del esparcido y nivelación, la capa de arena sufre algún tipo de compactación, se removerá y volverá a colocar.

De igual forma, si el material ha sufrido los efectos de la lluvia, puede ser reemplazado por arena suelta que posea el grado de humedad requerido.

#### 6.2.3.5. Colocación de los adoquines.

Los adoquines se deben colocar directamente sobre la capa de arena nivelada, según el aparejo especificado y teniendo cuidado de no pisar la capa durante el proceso. Los adoquines se colocan lo más ajustados posible, de manera que entre las caras laterales queden juntas, de un espesor no mayor a 5 mm.

La colocación, cuando sea posible, se puede iniciar desde un frente de colocación existente o desde una restricción de borde.

Se debe tener especial cuidado en la colocación de las primeras hileras, ya que es necesario que el adoquín quede en el ángulo preciso, evitando cambiar la posición de los elementos ya colocados.

Los adoquines enteros se colocan en primer lugar, a continuación las unidades recortadas que rematan los bordes.

El área a pavimentar se completa al máximo con unidades enteras. En lo posible, la colocación de unidades para el remate de los costados o contra otras estructuras, se hará simultáneamente con el avance del frente de colocación, encontrándose totalmente terminado antes de que se inicie la compactación.

Para lograr un calce ajustado al rematar los costados o los bordes de contacto con elementos existentes, puede ser necesario, utilizar adoquines cortados. En todo caso, se sugiere evitar la colocación de trozos de adoquines con menos de un cuarto (1/4) de su tamaño original o con menos de 40 mm.

En lugares donde no sea posible usar adoquines cortados, los huecos deben ser rellenados con hormigón grado H-30 y tamaño máximo de agregado igual a 10 mm, o con mortero de cemento y arena gruesa en proporción 1:3 en volumen.

Cuando no sea posible lograr con los adoquines un ajuste limpio en torno a un determinado elemento, éste puede ser rodeado con un anillo de hormigón grado H-30, que entregue un contorno más regular contra el cual puedan adosarse los adoquines.

En lugares con pendiente, la colocación se hará desde abajo hacia arriba, para evitar el deslizamiento de los adoquines ya colocados.

#### 6.2.3.6. Compactación de los adoquines.

La capa de adoquines se debe compactar mediante placas compactadoras. Con ello, se asegura el relleno de la parte inferior de las juntas entre adoquines con la arena de la capa base y al mismo tiempo, la compactación de esta capa.

Se recomienda emplear placas con las siguientes características:

- Superficie 0,15 – 0,40 m<sup>2</sup>.
- Presión efectiva transmitida por la placa 50 – 80 KN / m<sup>2</sup>.
- Frecuencia de vibración 5 – 10 Hz.

Para lograr una buena compactación, se debe aplicar 2 a 3 pasadas desde diferentes direcciones.

En todo caso, el número de pasadas de la placa vibradora se debe regular para proporcionar una superficie de rodado plana y prevenir la posibilidad de asentamiento bajo la carga vehicular.

La compactación se hace tan pronto como sea posible, después de la colocación de los adoquines, pero, teniendo la precaución de no acercarse a menos de 1 m del frente de colocación.

Fuera de esta franja, ningún sector del pavimento se puede dejar sin compactar al término de la jornada de trabajo.

Si durante la compactación resultan algunas unidades dañadas, éstas son removidas y repuestas.

#### 6.2.3.7. Relleno de las juntas.

Concluida la compactación de la capa de adoquines, se distribuirá arena fina seca sobre la superficie.

Con escobillones se facilita la penetración de la arena dentro de las juntas.

El tamaño máximo es de 1,25 mm y su contenido de finos, bajo 0,080 mm (malla ASTM # 200), es inferior al 10%. La humedad de este material debe ser inferior al 2%, al momento de colocarlo.

Una vez esparcida la arena, el área pavimentada se vibrará nuevamente, a fin de asegurar la penetración de la arena en las juntas. Se debe aplicar dos o tres pasadas de la placa compactadora y luego retirar el exceso de arena.

El relleno de juntas y la compactación final se deben hacer lo antes posible, una vez realizada la colocación y compactación inicial de los adoquines.

Un par de semanas después de haber terminado el pavimento, se debe hacer un nuevo barrido con arena para rellenar los espacios que se hayan abierto por la acomodación de la arena dentro de las juntas.

#### 6.2.3.8. Niveles, regularidad superficial y pendiente.

Los niveles de las diferentes capas serán establecidos en el proyecto, se aceptan las siguientes tolerancias, salvo que el proyecto indique otras:

- Subrasante +/- 20 mm.
- Sub-base +/- 15 mm.
- Superficie de adoquines +/- 10 mm.

Los niveles entre dos adoquines adyacentes no deben diferir en más de 2 mm.

La separación total entre la superficie de adoquines y una regla de 3 m instalada paralela al eje del pavimento, no debe ser mayor a 10 mm.

La pendiente transversal mínima puede ser de un 2,5% y la pendiente longitudinal del pavimento puede ser mayor de 0,5 %.

### 6.2.4. REQUISITOS DE LOS ADOQUINES

#### 6.2.4.1. Requisitos geométricos y dimensionales.

Las medidas de la cara superficial serán las que establezca el fabricante, con una tolerancia de +/- 2 mm.

Se espera que la mayor dimensión de la cara superficial no exceda los 240 mm, y la menor dimensión no sea inferior a 80 mm.

Se requiere que los adoquines tengan una relación largo / ancho igual a 2.

El espesor será el indicado por el fabricante y se acepta una tolerancia de +/- 3 mm. El espesor nominal mínimo será de 60 mm, se consideran espesores normales los de 60, 80, y 100 mm.

Sus caras superiores e inferiores deben ser paralelas entre si.

A su vez, las caras laterales serán perpendiculares a las caras superiores e inferiores y la máxima desviación permisible de la cara lateral con respecto a la vertical sea de 1/50.

El borde superior puede ser recto o biselado y se aconseja que la superficie abarcada por el bisel no sea superior al 20% de la superficie de la cara superior.

#### 6.2.4.2. Resistencia a la compresión

Según su resistencia a compresión, los adoquines se clasifican en clase 1 y clases 2; Por ello es que deben cumplir con los valores promedio y mínimo individual que se indican en la Tabla 6-6.

TABLA 6-6. REQUISITOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARA ADOQUINES.

Clase de Adoquín	Resistencia a Compresión [Mpa]	
	Valor Promedio Mínimo	Valor Mínimo Individual
1	45	40
2	35	30

### 6.2.5. ENSAYO DE COMPRESIÓN

Se requiere disponer de una prensa de ensayo capaz de aplicar la carga de rotura a la velocidad especificada más adelante y que cumpla con las disposiciones de la NCh 1037.Of1977, en lo que corresponda.

Los adoquines se miden para determinar la superficie neta "S" en mm<sup>2</sup> correspondiente a la superficie total de la cara superior menos el área abarcada por el bisel.

Los adoquines se mantienen sumergidos en agua a 20 +/- 3 °C, durante 24 horas previas al ensayo.

Cuando los adoquines tengan en su cara de rodado, áridos a la vista o partículas que den una superficie texturada, son refrentados con una pasta de cemento y yeso en proporción 1:1 en peso, 24 horas antes del ensayo. En este caso, la inmersión en agua se hace 48 horas antes del ensayo, por un lapso de 24 horas y después del refrentado se mantienen en cámara húmeda a 20 +/- 3 °C, y 80 % de humedad relativa mínima hasta el momento del ensayo.

El adoquín entero, con su superficie seca, se coloca con su cara de rodado hacia arriba, centrado sobre la base, cuidando que los ejes principales coincidan con los de la placa. Se requiere que las caras del adoquín sean paralelas entre sí y paralelas a las placas de carga.

Entre el adoquín y la placa inferior y superior de la prensa, se coloca una lámina de madera prensada de 4,8 mm de espesor mínimo, cuidando de que en los bordes de éstas sobresalgan al menos 5 mm de los bordes del adoquín. Se requiere usar láminas nuevas en cada ensayo.

La carga de compresión se aplica a una velocidad de 0.25 +/- 0,05 MPa /s y se registra la carga de rotura "P" en N.

La resistencia a compresión "R" del adoquín, en MPa, se obtiene dividiendo la carga neta "P" por la sección neta "S".

### 6.2.6. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

Se recomienda aplicar los requisitos establecidos en el apartado 6.2.4, con ensayo de acuerdo al apartado 6.2.5 considerando lotes de 2000 unidades o fracción inferior y muestras compuestas de 5 adoquines.



## **ART. 6.3 PASTELONES**

### **6.3.1. GENERALIDADES**

Esta especificación se refiere a los pastelones prefabricados de hormigón, destinados a la pavimentación de veredas y estacionamientos para automóviles y vehículos livianos en áreas privadas.

Sólo se consideran los pastelones cuadrados, con una longitud comprendida entre 30 y 60 cm. y rectangulares con relación dimensional 2:1, los requisitos a cumplir por los pastelones de otras formas o dimensiones, se acuerdan entre el fabricante y el usuario.

### **6.3.2. CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS CON PASTELONES**

#### **6.3.2.1. Preparación de la subrasante.**

Se debe aplicar lo establecido en el apartado 6.2.1.

La compactación se requiere hacerla en lo posible usando equipos mecánicos, como placas vibratorias y rodillos. En casos especiales, el proyectista puede establecer el grado de compactación necesaria, al 95% de la densidad máxima seca obtenida en el ensayo Proctor Modificado (NCh 1534 / 2.Of1979) o al 80% de la Densidad Relativa (según norma ASTM 4254-00).

Cuando se contemple la colocación de una sub base granular sobre el terreno natural se puede aceptar la compactación de la subrasante por medio de pisones o elementos de accionamiento manual.

Cuando no se especifique una sub base granular, se pondrá especial cuidado en la compactación de la subrasante y en su textura cerrada. Si es necesario, se debe colocar sobre los sectores disperejos una capa de arena para nivelar y sellar la superficie, para luego proceder a compactarla.

#### **6.3.2.2. Sub-base.**

Cuando el terreno de fundación sea de mala calidad (suelos A4,A5,A6,A7 de la clasificación AASHTO) o cuando así se especifique en el proyecto, se debe colocar una capa de material granular de 8 cm de espesor compactado, como mínimo.

Este material debe cumplir con las condiciones establecidas en el apartado 6.1.3. y tener un tamaño máximo de 1”.

La sub base se debe compactar con equipo mecánico hasta obtener una densidad comprendida del 95% de la densidad máxima seca obtenida por el ensayo Proctor Modificado (NCh 1534 / 2.Of1979) o del 80% de la Densidad Relativa (según ASTM 4254-00). Si se cuenta con la aprobación del proyectista puede aceptarse la compactación de la sub base por medio de pisones o elementos de accionamiento manual.

La superficie de la sub base presentará una apariencia de textura densa y tupida, a fin de evitar la pérdida del mortero que se coloque sobre ella.

En caso contrario, se agregará en los sectores que corresponda, una cantidad de arena que produzca el sellado de los huecos y que se compacte según lo establecido anteriormente.

### 6.3.2.3. Base de Mortero.

Sobre la superficie compactada de la sub base (o de la subrasante) se coloca una capa de mortero de 35 +/- 5 mm de espesor, que cumpla lo establecido en el apartado 6.1.4.

### 6.3.2.4. Colocación de los pastelones.

Se debe verificar que:

Al momento de su colocación, los pastelones estén preferentemente secos o en su estado de humedad natural, en todo caso, la superficie de contacto con el mortero esté seca.

Los pastelones pueden colocarse a mano sobre el mortero fresco, asentándolos firmemente con golpes suaves de un mazo de madera, hasta que alcancen el nivel que corresponda. Es importante que se logre un completo contacto entre la cara inferior del pastelón y el mortero, con el objeto de obtener una buena adherencia y un apoyo estable y uniforme.

Los pastelones se coloquen de acuerdo a los niveles y pendientes de proyecto, dentro de las tolerancias permitidas. Para ello debe usarse lienzas y estacas delgadas de madera, hincadas en la sub-base (o en la subrasante) debidamente niveladas.

Los pastelones se colocan uno junto al otro, dejando una pequeña separación entre ellos de aproximadamente 5 mm. En casos especiales, por razones de índole estética, se pueden dejar juntas más anchas, según lo establezca el proyecto. Las juntas entre pastelones se rellenan completamente, mediante un barrido de arena fina de tamaño máximo 1 mm, o con una mezcla seca de cemento y arena fina.

El material sobrante se retira de la superficie.

### 6.3.2.5. Curado y puesta en servicio.

Se debe verificar que:

- Se riegue periódicamente la superficie de los pastelones, para mantenerla húmeda por lo menos 5 días, especialmente en tiempo caluroso.
- La puesta en servicio de vías peatonales no se efectúa antes de 5 días después de terminada la puesta de los pastelones. Cuando el pavimento soporte cargas vehiculares, la puesta en servicio no se puede hacer antes de 14 días.

### 6.3.2.6. Niveles, regularidad superficial y pendiente.

Los niveles de las superficies de las capas que conforman un pavimento de pastelones deben las cotas establecidas en el proyecto, con los siguientes márgenes de tolerancias:

- Subrasante +/- 20 mm.
- Sub base +/- 15 mm.
- Superficie de adoquines +/- 10 mm.

Los pastelones adosados a una línea de soleras u otro elemento de restricción de borde, deben quedar sobre el nivel de dichos elementos, en una magnitud comprendida entre 0 y 3 mm.

Se requiere que las irregularidades de la superficie del pavimento, medidas con respecto a una regla de 3 m de longitud, no sean mayores de 10 mm, y la irregularidad entre dos pastelones contiguos, medidas con una regla que abarque de extremo a extremo, ambos pastelones, no sea mayor de 5 mm.

Se debe respetar las pendientes establecidas en el proyecto. En el caso de superficies expuestas a escurrimiento de agua, las pendientes en el sentido de la evacuación no pueden ser menores a 2%.

### 6.3.3. REQUISITOS DE LOS PASTELONES

#### 6.3.3.1. Requisitos geométricos y dimensionales.

La cara superficial de los pastelones debe presentar una textura y coloración homogénea, libre de grietas, trizaduras y oquedades. Es aconsejable que las aristas estén vivas, salvo las de la cara superficial, que pueden ser biseladas o redondeadas.

Los pastelones incluidos en esta especificación son los indicados en la Tabla 6-7.

TABLA 6-7. DIMENSIONES Y TOLERANCIAS DE PASTELONES

Tipo	Dimensiones de los Pastelones		
	Largo +/- 3mm	Ancho +/- 3mm	Espesor +/- 3mm
300	300	300	40
	300	150	40
400	400	400	40
	400	200	40
500	500	500	50
	500	250	50
600	600	600	50
	600	300	50

#### 6.3.3.2. Resistencia a la flexión.

Los pastelones deben tener una resistencia a la flexión medida según el apartado 6.3.4.1., tal que soporten las cargas de rotura señaladas en la Tabla 6-8.

TABLA 6-8. VALORES DE LA CARGA DE ROTURA POR FLEXIÓN EN PASTELONES CUADRADOS.

Tipo de Pastelón	Carga de Rotura [KN]	
	Promedio	Minímo Individual
300	4,5	3,8
400	4,5	3,8
500	6,5	5,5
600	6,5	5,5

En el caso de los pastelones rectangulares, estos pueden soportar la mitad de las cargas indicadas en la Tabla 6-8, considerando la mayor dimensión de ellos.

### 6.3.4. ENSAYOS

#### 6.3.4.1. Ensayo de Flexión.

Se debe disponer que se disponga de una prensa y de un sistema de soporte y aplicación de carga, que cumpla las condiciones establecidas en la norma NCh 1038.Of. 1977, en lo que sea pertinente.

Los soportes pueden ser cilíndricos o semicilíndricos, de 20 a 30 mm de diámetro y de una longitud tal que permita el apoyo del elemento en todo su ancho. Se requiere que uno de ellos sea fijo y el otro articulado en un eje paralelo, a la longitud de los elementos, para evitar esfuerzos de torsión.

Los pastelones se deben mantener sumergidos en agua a 20 +/- 3 C° durante las 24 horas previas al ensayo.

Es recomendable que se prepare el área de contacto del pastelón con las piezas de apoyo y de carga, colocando una tira de cuero o goma de 5 mm de espesor mínimo.

Se requiere colocar el pastelón centrado sobre los apoyos, con una luz de ensayo 5 cm inferior de su largo, para que la carga se aplique centrada entre ambos apoyos a una velocidad tal que la ruptura no se produzca antes de los 3 minutos. Se registrara la carga "P" en N.

### 6.3.5. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN.

Se debe aplicar lo establecido en el apartado 6.1.6. considerando lotes de 1000 unidades o fracción inferior y muestras compuestas de 3 pastelones. Los requisitos a cumplir son los establecidos en el apartado 6.3.3.

## ART. 6.4 BALDOSAS

### 6.4.1. GENERALIDADES

Esta especificación se refiere a las baldosas microvibradas, destinadas para superficies de pavimentos en veredas y zonas con tránsito preferentemente peatonal.

## **6.4.2. CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS CON BALDOSAS**

### **6.4.2.1. Preparación de la Subrasante.**

La subrasante debe cumplir con lo indicado en el apartado 6.1.2. y se compacta por medio de pisones o elementos de accionamiento manual.

En casos calificados de alta sollicitación, el proyectista puede exigir compactación por medio de equipos mecánicos (placas o rodillos), estableciendo el tipo de equipo y el número de pasadas o el grado de compactación requerido.

### **6.4.2.2. Sub-base.**

Dependiendo de la existencia de estructuras construidas previamente (radiers o losas) el pavimento de baldosas puede tener como sub-base una capa de material granular o de hormigón, las cuales se explican a continuación:

a.) Sub base de material granular: sobre el terreno preparado según el apartado 6.4.2.1., se coloca una capa de material granular del espesor compactado que se indique en el proyecto, y en ningún caso inferior a 8 cm.

Este material debe cumplir con las condiciones establecidas en el apartado 6.1.3. y tener un tamaño máximo de 1”.

La sub base se debe compactar con equipo mecánico hasta obtener una densidad del 95% de la densidad máxima seca obtenida por el ensayo Proctor Modificado (NCh 1534 / 2.Of1979) o del 80% de la Densidad Relativa (ASTM 4254-00).

Si se cuenta con la aprobación del proyectista, puede aceptarse la compactación de la sub-base por medio de pisones o elementos de accionamiento manual.

La superficie de la sub-base puede presentar una apariencia de textura densa y tupida, a fin de evitar la pérdida del mortero que se coloca sobre ella.

b.) Capa de Hormigón: En vez de sub-base granular, la estructura de un pavimento con baldosas puede contar con una capa de hormigón (radier o losa), ya sea por que este elemento existe previamente o porque así se establezca en el proyecto.

En este último caso, el hormigón debe ser de grado H-20 o superior, con un 80% de nivel de confianza evaluado por la NCh 1998.Of1989 o según lo establecido en el proyecto y su espesor sea el que se indique en el proyecto, pero en ningún caso puede ser inferior a 5 cm.

De ser necesario, el radier puede tener juntas de contracción y la colocación se puede hacer después de producidas las grietas de contracción.

### **6.4.2.3. Base de Mortero.**

Sobre la superficie compactada de la sub-base granular o sobre el radier de hormigón limpio y ligeramente humedecido (sin presentar acumulación de agua) se coloca una capa de mortero de 35 + / - 5 mm de espesor que cumpla con lo establecido en el apartado 6.1.4.

#### 6.4.2.4. Colocación de las baldosas.

Al momento de colocación las baldosas deben encontrarse en un estado de humedad en equilibrio con el ambiente y presentar un aspecto seco. En ningún caso se pueden encontrar mojadas antes de ser colocadas.

Las baldosas se colocan a mano, adosándolas con sus vecinas y asentándolas sobre el mortero fresco con golpes suaves de un mazo de madera, hasta que alcancen el nivel correspondiente.

Es de fundamental importancia que se logre un íntimo contacto entre la baldosa y el mortero, a objeto de obtener una buena adherencia y un apoyo estable y uniforme.

Es conveniente que el avance se haga por hileras transversales a la mayor longitud a cubrir.

Se recomienda que los alineamientos, niveles y pendientes se ajusten a lo especificado en el proyecto, dentro de las tolerancias permitidas.

#### 6.4.2.5. Sellado de Juntas.

Al día siguiente de colocadas las baldosas, se deben rellenar las juntas, esparciendo sobre la superficie una lechada dosificada de un Kg de cemento por cada 4 litros de agua y pigmentos o tierra de color cuando corresponda. Pasadas 3 o 4 horas se procede a lavar y escobillar la superficie para eliminar los restos de lechada.

#### 6.4.2.6. Curado y Puesta en Servicio.

Una vez terminado el proceso de colocación, se debe cubrir la superficie con polietileno o arena húmeda para asegurar un fraguado normal del mortero y de la lechada. El ambiente húmedo de la superficie debe mantenerse por 5 días como mínimo. Esto es especialmente importante en tiempo caluroso. Se recomienda poner en servicio el pavimento de baldosas después de transcurridos 5 días contados desde la terminación de la superficie.

#### 6.4.2.7. Niveles, regularidad superficial y pendiente.

El nivel de la superficie del pavimento de baldosas debe respetar las cotas establecidas en el proyecto, con una tolerancia de +/- 3 mm.

Las irregularidades de la superficie del pavimento de baldosas medida con respecto a una regla de 2 m de longitud, no pueden ser de más de 3 mm, después del tratamiento de pulido, cuando se efectuare. No obstante, el proyectista puede especificar condiciones más exigentes.

Las baldosas adosadas a una línea de solerillas u otros elementos de borde, a sumideros o piletas de evacuación de aguas, pueden quedar sobre el nivel de dichos elementos, en una magnitud comprendida entre 0 y 3 mm.

Se deben respetar las pendientes establecidas en el proyecto. En el caso de superficies expuestas a escurrimiento de aguas, las pendientes hacia los lugares de evacuación no pueden ser inferiores a 0.5 % para baldosas lisas y a 1% para baldosas de superficies texturadas.

### 6.4.3. REQUISITOS DE LAS BALDOSAS

#### 6.4.3.1. Requisitos geométricos y dimensionales.

Es recomendable que las baldosas tengan cantos vivos y superficies libres de fisuras, trizaduras y otros defectos, el color de la cara superficial sea homogéneo, libre de manchas y zonas opacas visibles directamente o que aparezcan al humedecerlas.

Se requiere que sean cuadradas o rectangulares y sus dimensiones sean las especificadas por el fabricante, con la condición de que el espesor no sea inferior a 20 mm. Se aconseja que la tolerancia en la cara superficial sea de +/-0.5 mm y en el espesor +/- 2 mm.

El espesor de la capa superior debe ser, a lo menos, de 2 mm en baldosas lisas. En el caso de baldosas con estrías, esta capa puede tener a lo menos 1 mm de espesor por debajo de la estría.

#### 6.4.3.2. Requisitos de resistencia.

Las baldosas según sus características y dimensiones deben cumplir con los requisitos de resistencia a la flexotracción, al desgaste y otros que se indican en la Tabla 6-9:

TABLA 6-9. REQUISITOS MÍNIMOS PARA BALDOSAS ESTAMPADAS Y LISAS.

REQUISITOS BALDOSAS ESTAMPADAS						
Dimensiones [cm]	Desgaste [gr/cm <sup>2</sup> ]	Flexión [kg/m <sup>2</sup> ]	Compresión [kg/cm <sup>2</sup> ]	Peso [kg]	Impacto [cm]	Espesor [mm]
30x30	0.18 – 0.22	200-280	200-280	62-70	30-40	32
40x40	0.18 – 0.22	200-300	200-300	68-75	30-40	36
40x40	0.18 – 0.22	250-350	200-300	78-88	35-45	40
40x40	0.18 – 0.22	450-600	220-320	84-94	38-48	45
40x40	0.18 – 0.22	900-1100	220-320	150-165	60-80	70

REQUISITOS BALDOSAS LISAS						
Dimensiones [cm]	Desgaste [gr/cm <sup>2</sup> ]	Flexión [kg/m <sup>2</sup> ]	Compresión [kg/cm <sup>2</sup> ]	Peso [kg]	Impacto [cm]	Espesor [mm]
30x30	0.20-0.25	200-300	220-300	62-68	32-38	29
40x40	0.20-0.25	300-350	220-320	66-72	38-44	32
40x40	0.20-0.25	300-450	220-320	78-88	42-47	40
50x50	0.20-0.25	350-500	220-320	84-94	45-50	45
50x50	0.20-0.25	250-400	250-350	75-85	42-48	38

#### 6.4.3.3. Requisitos de acuerdo al tipo de vereda.

Se presentan tres situaciones en relación a la estructuración mínima asociada al uso de baldosas:

I. Veredas peatonales: En el caso de disponer de baldosas como superficie peatonal se sugiere respetar

la siguiente estructuración: una sub-base espesor 0,08 m (CBR mín 60%), un mortero de pega espesor 0,04 m y baldosas microvibradas de espesor mínimo 0,036 m.

2. Veredas reforzadas: Esta situación se aplica al refuerzo dado a las veredas adyacentes a un acceso (1 m longitud mínima) o bien puede corresponder al acceso mismo en el caso de viviendas unifamiliares. Se sugiere respetar la siguiente estructuración: una sub-base espesor 0,08 m (CBR mín. 60%), una vereda de hormigón espesor 0,07 m, un mortero de pega espesor 0,04 m y baldosas microvibradas de espesor mínimo 0,036 m.

3. Veredas acceso: En el caso de accesos, la estructuración se encuentra acorde a la cartilla de pavimentos de hormigón para pasajes (ver Tabla 15-16) y sobre ésta se disponen las baldosas microvibradas de espesor mínimo 0,036 m.

#### 6.4.4. ENSAYOS

##### 6.4.4.1. Ensayo de Flexotracción.

Se debe verificar que:

Se disponga de una prensa y de un sistema de soporte y aplicación de carga que cumpla con la NCh. 1038 Of. 1977, en lo que sea pertinente.

Los soportes pueden ser cilíndricos o semicilíndricos, de 20 a 30 mm de diámetro y de una longitud tal que permita el apoyo del elemento en todo su ancho. Se requiere que uno de ellos sea fijo y el otro articulado en un eje paralelo, a la longitud de los elementos, para evitar esfuerzos de torsión en los elementos.

Las baldosas que se van a ensayar a flexotracción se deben mantener sumergidas en agua a 20 +/- 3 °C durante las 24 horas previas al ensayo.

En el caso de las baldosas con estrías, se debe rellenar las ranuras con una mezcla de cemento: yeso, en proporción 1:1 en peso, 24 horas antes del ensayo.

En este caso la inmersión en agua se puede hacer 48 horas antes del ensayo, por un lapso de 24 horas, y después de rellenar las llanuras, se requiere mantener en cámara húmeda a 20 +/- 3 °C y 80% de humedad relativa mínima hasta momento del ensayo.

Se debe colocar la baldosa centrada sobre los soportes, cuidando que sus costados queden paralelos a ellos y con la cara de desgaste hacia arriba. Además, se sugiere que la separación entre los soportes de apoyo o luz de ensayo sea 5 cm inferior a la longitud del elemento a ensayar.

La carga se debe aplicar centrada entre ambos apoyos, a una velocidad tal que la rotura no se produzca antes de 3 minutos. Se registra la carga de rotura "P" en N.

Se calcula la resistencia a flexotracción de la baldosa en MPa, con aproximación de 0,01 MPa, según la siguiente fórmula:

$$R_f = \frac{3PL}{2bd^2}$$



Donde:

- Rf : Resistencia al la flexotracción en MPa.
- P : Carga de rotura en N.
- L : Luz de ensayo en mm.
- B : Ancho de la baldosa en mm.
- D : Espesor nominal en mm.

#### 6.4.4.2. Ensayo de desgaste.

Se debe contar con una máquina de ensayo consistente en un disco horizontal de fierro fundido pulido, que cumpla con las condiciones establecidas en la NCh 187.Of1958.

De cada baldosa se corta en el centro un trozo de aproximadamente 40 cm<sup>2</sup>. de sección, que se seca a 110 °C durante 24 horas, antes de ensayarlo.

El procedimiento de ensayo debe ser el que a continuación se indica:

- La fracción de baldosa a ensayar se coloca en sujetador y mediante un brazo de palanca, se aplica una carga aproximada de 0.06 MPa.
- Se coloca el material abrasivo (granate calcinado del tipo Almandino u otro que cumpla con la NCh 187.Of1958 de tal modo de asegurar un suministro parejo y regular sobre la zona de desgaste, repartiendo uniformemente, antes del inicio del ensayo, 20 gr del material sobre el disco pulidor.
- Se efectúa el ensayo para cada fracción de baldosa con una velocidad de rotación de 30 + / - revoluciones por minuto, durante 8 minutos.

La resistencia al desgaste individual de cada una de las fracciones ensayadas se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{P1 - P2}{S}$$

Donde:

- D : Resistencia al Desgaste g/cm<sup>2</sup>.
- P1 : Peso de la fracción de baldosa antes del ensayo, g.
- P2 : Peso de la fracción de baldosa después del ensayo, g.
- S : Superficie de la cara desgastada, cm<sup>2</sup>.

Pueden usarse equipos y procedimientos diferentes a los indicados en los párrafos anteriores. Si se demuestra que los resultados obtenidos por dichos procedimientos pueden ser homologados a los indicados en esta especificación.

#### **6.4.5. CRITERIOS DE ACEPTACION**

Se recomienda aplicar lo establecido en el apartado 6.1.6., considerando lotes de 5000 unidades o fracción inferior y muestras compuestas por 10 baldosas; 5 de ellas se destinan al ensayo de flexotracción y 5 al ensayo de desgaste. Los requisitos a cumplir son los establecidos en el apartado 6.4.3.

### **ART. 6.5 SOLERAS**

#### **6.5.1. GENERALIDADES**

Esta especificación se refiere a las soleras prefabricadas de hormigón, utilizadas como límites de restricción en pavimentos y vías de circulación de cualquier tipo que las requieran.

#### **6.5.2. COLOCACIÓN DE SOLERAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN**

##### **6.5.2.1. Preparación del terreno.**

Se debe verificar que la base de fundación se obtenga excavando una zanja en el terreno natural o en la sub-base granular compactada.

Se sugiere que la excavación tenga un ancho mínimo de 35 cm para las soleras tipo A y de 30 cm para las de tipo B y C. Se requiere que la profundidad sea la necesaria para que la cara superior de las soleras quede al nivel especificado en los planos.

El fondo de la excavación requiere presentar una superficie compactada, pareja y limpia de materiales sueltos, basuras, escombros, materia orgánica o restos vegetales.

##### **6.5.2.2. Colocación.**

Es recomendable que se humedezca ligeramente la excavación y colocar sobre ella una capa de hormigón de 170 Kg de cemento por  $m^3$  y 10 cm de espesor mínimo.

La solera se debe colocar sobre la capa de hormigón fresco y se alinea según la dirección del eje de la calzada, o la que indiquen los planos.

Se debe verificar los niveles y pendientes, tomando en consideración que la arista formada por la interacción de la cara inclinada y la cara vertical coincidan con el borde superior de la calzada.

Las soleras se deben colocar lo más ajustadas posibles entre sí, con una separación máxima de 5 mm.

Las juntas se rellenan con un mortero de cemento y arena fina en proporción 1:4 en peso.

Se recomienda rellenar el respaldo de las soleras con el mismo hormigón establecido para la base, hasta una altura mínima de 15 cm, medida desde la parte inferior de la solera.

El hormigón y el mortero de junta requieren mantenerse húmedos durante 5 días mínimo, cubriéndolos con algún material que mantenga la humedad o mediante riego frecuente.

Una vez que el hormigón de base y de respaldo y el mortero de juntas haya endurecido lo suficiente, se procede a completar el relleno posterior hasta el borde superior de la solera, de acuerdo al perfil indicado en el proyecto. Para este efecto, salvo que se establezcan otras condiciones, se puede utilizar el mismo material obtenido de las excavaciones, siempre que este libre de materia orgánica, basuras o bolones.

### 6.5.2.3. Alineamiento, Pendientes y Tolerancias de Colocación.

La línea de soleras debe seguir la misma alineación y pendiente del eje de la calzada, o la que se señale en el proyecto.

Se debe verificar el alineamiento y nivelación de las soleras mediante una regla de longitud aproximadamente igual al doble del largo de los elementos utilizados.

La separación máxima aceptable entre las soleras y la regla, ya sea en la cara superior o en la cara inclinada, puede ser de 4 mm.

## 6.5.3. REQUISITOS DE LAS SOLERAS

### 6.5.3.1. Requisitos Geométricos y Dimensionales.

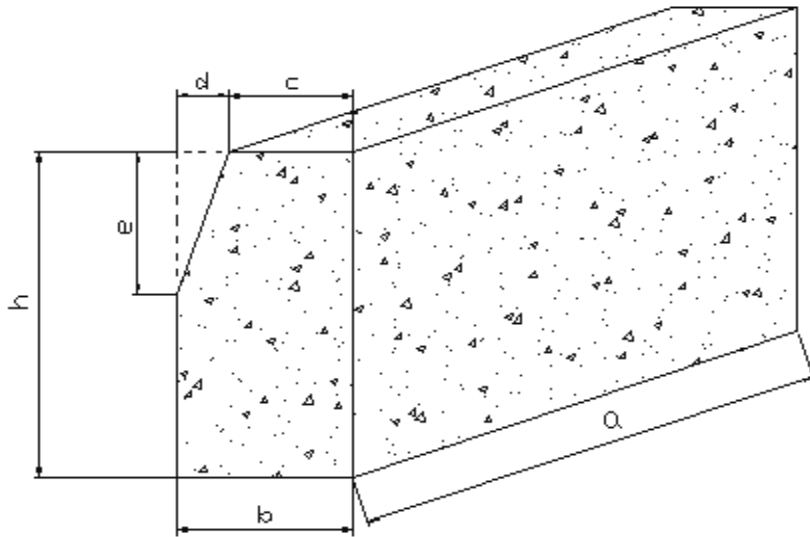
Las soleras se clasifican según en sus dimensiones, en los tipos A, B y C, las cuales se indican en la Tabla 6-10 y en la Figura 6-2.

TABLA 6-10. DIMENSIONES DE LAS SOLERAS

Dimensiones (mm)		Tipo de Solera			Tolerancia (mm)
		A	B	C	
Longitud	a	90-100*	50	50	3
Altura	h	30	25	25	2
Base	b	16	12	10	2
Ancho Superior	c	12	8	8	2
Rebaje Triangular	d	4	4	2	2
	e	15	15	12	2

\*Tolerancia de +/- 5 mm.

FIGURA 6-2. DIMENSIONES DE LAS SOLERAS



6.5.3.2. Requisitos de Flexión.

Las soleras deben resistir como mínimo las cargas de flexión que se indican en la Tabla 6-11.

TABLA 6-11. CARGA DE FLEXIÓN SEGÚN EL TIPO DE SOLERA. (kN)

	Tipo de Solera		
	A	B	C
<b>Valor Promedio</b>	31	24	17
<b>Valor Individual Mínimo</b>	25	20	14

6.5.3.3. Requisitos de impacto.

Las soleras deben resistir como mínimo las cargas de impacto que se indican en la Tabla 6-12.

TABLA 6-12. RESISTENCIA AL IMPACTO, SEGÚN EL TIPO DE SOLERA (cm)

	Tipo de Solera		
	A	B	C
<b>Valor Promedio</b>	80	60	45
<b>Valor Individual Mínimo</b>	70	52	40

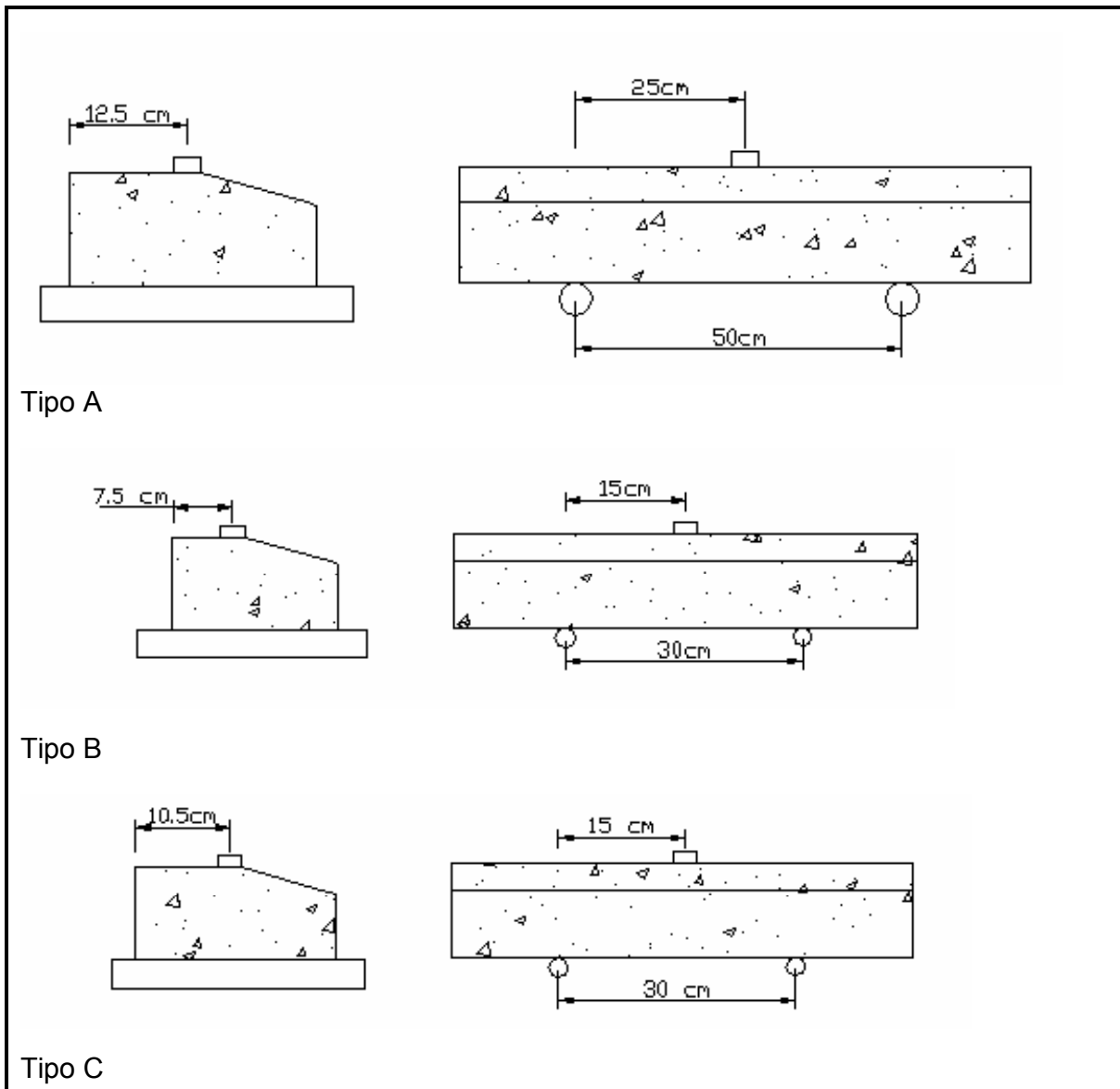
#### **6.5.4. ENSAYOS**

##### **6.5.4.1. Ensayo a Flexión.**

Para el ensayo a flexión se debe verificar que:

- a.) Se cuente con una prensa de ensayo y un sistema de soporte y aplicación de carga que cumpla con los requisitos de la NCh 1038.Of. 1977.
- b.) Los apoyos sean cilíndricos o semicilíndricos, de 30 a 40 mm de diámetro y de una longitud tal que permita el apoyo del elemento en todo su ancho.
- c.) Uno de ellos sea fijo y el otro articulado al centro, en eje paralelo a la longitud del elemento, para evitar esfuerzos de torsión.
- d.) Las soleras que van a ser ensayadas a flexotracción se mantengan sumergidas en agua a  $20 \pm 3$  °C durante las 24 horas previas al ensayo o en su defecto, en cámara húmeda a  $20 \pm 3$  °C y 80% de humedad relativa mínima.
- e.) Las soleras se coloquen centradamente sobre los apoyos con su cara posterior hacia abajo, cuidando que su eje longitudinal sea perpendicular a dicho apoyos.
- f.) La luz de ensayo sea de 50 cm en el caso de las soleras tipo A y 30 cm para soleras tipo B o C. (Figura 6-3).
- g.) Para la aplicación de carga, se ubique sobre la cara anterior horizontal de la solera un disco cilíndrico de acero de 5 cm de diámetro y 2 cm de espesor, tal como se indica en la Figura 6-3. y entre el disco y la solera se coloque una lámina de madera prensada de 4,8 mm de espesor mínimo, de diámetro ligeramente superior a 5 cm.
- h.) La carga se aplique a velocidad constante, de modo de que la rotura no se produzca antes de 3 minutos. Se registra la carga de rotura en kN.

FIGURA 6-3. DISPOSICION DE LOS DE LOS ELEMENTOS DE CARGA EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN.



#### 6.5.4.2. Ensayo de Impacto.

Se requiere colocar las soleras que van a ser ensayadas a impacto en la misma posición que en el ensayo de flexión y se requiere dejar caer en su centro un peso de 3,2 Kg.

Se debe comenzar el ensayo con una altura de caída de 5 cm, la que se va aumentando sucesivamente de 5 en 5 cm, hasta los 40 cm. A partir de esta altura, el aumento sea de 1 cm cada vez, hasta llegar a la rotura.

### **6.5.5. CRITERIOS DE APLICACIÓN**

Se recomienda aplicar lo establecido en el apartado 6.1.6., considerando lotes de 2000 unidades o fracción inferior.

Se requiere que las muestras estén compuestas por 3 soleras para el ensayo de flexión y 3 soleras para el ensayo de impacto.

Los requisitos a cumplir son los señalados en el apartado 6.5.3.

## **ART. 6.6 SOLERILLAS**

### **6.6.1. GENERALIDADES**

Esta especificación se refiere a las solerillas prefabricadas de hormigón que se utilizan como límites de restricción para pavimentos de aceras, pasajes y vías de circulación peatonal, como elementos de separación de áreas de jardines, plazas, etc.

### **6.6.2. COLOCACIÓN DE SOLERILLAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN**

#### **6.6.2.1. Preparación del Terreno.**

Es recomendable que la base de fundación se obtenga excavando una zanja en el terreno natural o en la sub-base granular compactada. Junto con ello, se recomienda que la excavación debe tener un ancho mínimo de 25 cm y la profundidad necesaria para que el extremo superior de la solerilla quede al nivel especificado en los planos.

El fondo de la excavación debe presentar una superficie compactada, pareja y limpia de materiales sueltos, basuras, escombros, materia orgánica o restos vegetales.

#### **6.6.2.2. Colocación.**

Para la colocación se debe verificar que:

- a.) Se humedezca ligeramente la excavación y coloque sobre ella una capa de hormigón de 170 kg. de cemento por m<sup>3</sup> y de 7 cm de espesor mínimo.
- b.) La superficie de esta capa tenga el nivel y la pendiente adecuados, a fin de que la solerilla que se va a colocar sobre ella se ajuste a lo indicado en los planos.
- c.) Las solerillas se coloquen sobre el hormigón, manteniendo una separación máxima entre ellas de 5 mm.
- d.) Las juntas entre elementos se rellenen con mortero de cemento y arena fina en proporción 1:4 en peso.

e.) El respaldo de la solerilla se rellene con el mismo hormigón especificado para la base, hasta al menos  $3/4$  de su altura si se respalda por un sólo lado, o hasta la mitad de su altura si se rellena por ambos lados.

f.) El hormigón y el mortero de junta se mantengan húmedos durante 5 días mínimo, cubriéndolos con algún material que mantenga la humedad o mediante riego frecuente. Una vez que el hormigón de base y de respaldo y el mortero de juntas se hayan endurecido lo suficiente, se puede proceder a completar el relleno posterior hasta el borde superior de la solerilla, de acuerdo al perfil indicado en el proyecto. Para este efecto, salvo que se establezcan otras condiciones, puede utilizarse el mismo material obtenido de las excavaciones, siempre que esté libre de materia orgánica, basuras o bolones.

#### 6.6.2.3. Ejes, Niveles y Tolerancia.

Los ejes y niveles se deben ajustar a lo establecido en el proyecto.

El alineamiento de las solerillas colocadas se puede verificar mediante una regla de longitud aproximadamente igual al doble del largo de los elementos utilizados.

La separación máxima aceptable entre las solerillas y la regla ya sea en su cara superior o lateral, es de 4 mm.

### 6.6.3. REQUISITOS DE LAS SOLERILLAS

#### 6.6.3.1. Requisitos Geométricos y dimensionales.

Las solerillas se clasifican en los tipos A, B y C. Según su forma y dimensiones, que son las indicadas en la Tabla 6-13 y en la Figura 6-4.



FIGURA 6-4. DIMENSIONES DE LAS SOLERILLAS

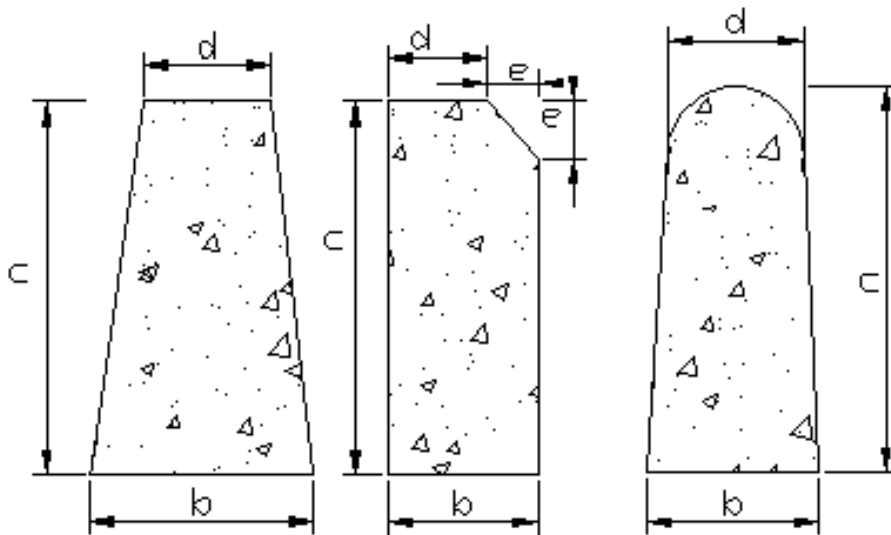


TABLA 6-13. DIMENSIONES DE LAS SOLERILLAS (mm)

Dimensiones (mm)		Tipo de Solerillas			Tolerancias (mm)
		A	B	C	
Longitud	a	1000	1000	1000	5
		500	500	500	3
Ancho base	b	75	60	60	2
Altura	c	200	200	200	2
Ancho superior	d	60	45	50	2
Rebaje Triangular	e	-	15	-	1

6.6.3.2. Resistencia a la flexión.

Se recomienda que las solerillas resistan como mínimo las cargas de flexión que se indican en la Tabla 6-14.

TABLA 6-14. CARGA DE FLEXIÓN, SEGÚN EL TIPO DE SOLERILLA. (kN)

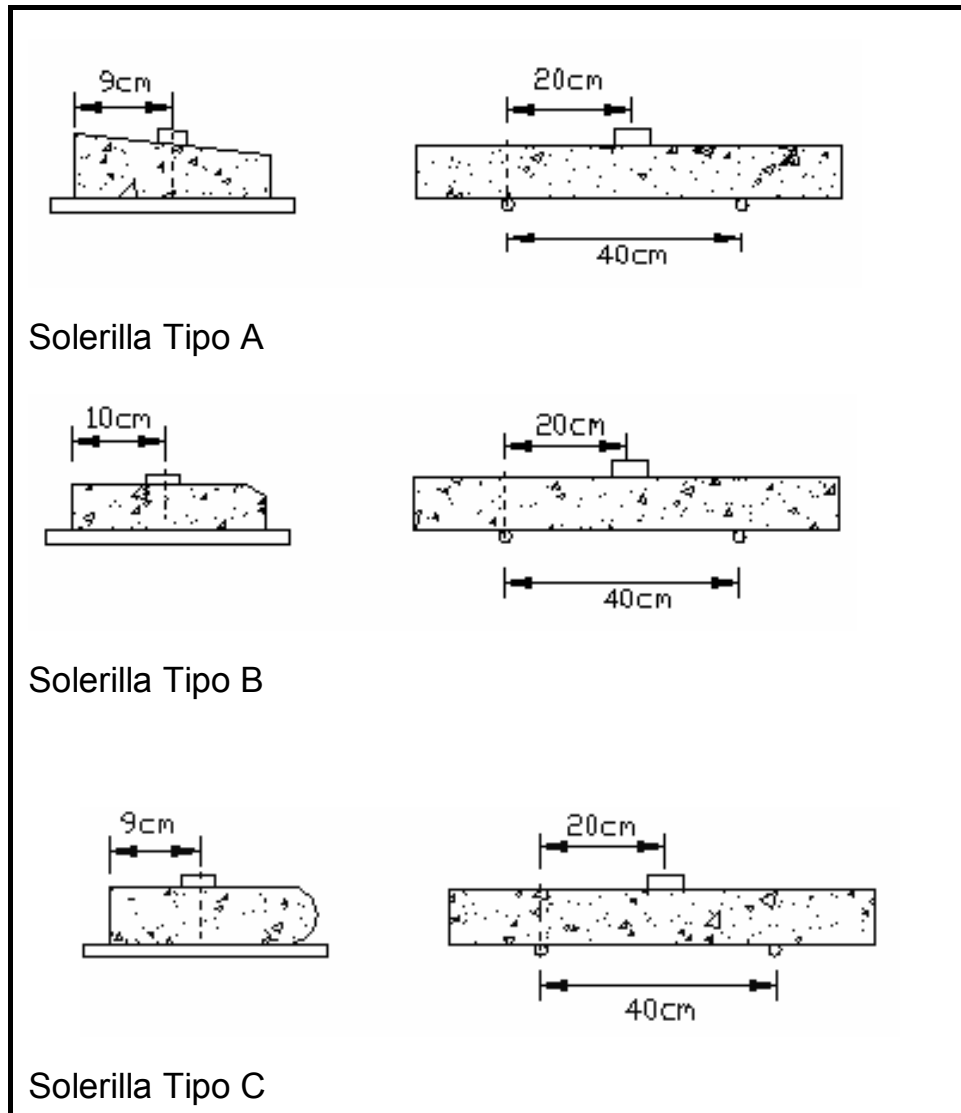
	Tipo de Solerilla		
	A	B	C
Valor Promedio	4,4	3,5	2,9
Valor Individual Mínimo	3,6	2,9	2,4

#### 6.6.4. ENSAYO DE FLEXION

Para el ensayo a flexión se debe verificar que:

- Se cuente con una prensa de ensayo, un sistema de soporte y aplicación de carga que cumpla los requisitos establecidos en la norma NCh 1038.Of1977, que sean pertinentes.
- Los apoyos sean cilíndricos o semicilíndricos de 30 a 40 cm de diámetro.
- Uno de ellos sea fijo y el otro articulado al centro, en un eje paralelo a la mayor dimensión de la solerilla, para evitar esfuerzos de torsión.
- Las solerillas se mantengan sumergidas en agua a  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , durante las 24 horas previas al ensayo o en su defecto, en cámara húmeda a  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , y 80% de humedad relativa mínima.
- Antes de comenzar el ensayo, se retiren las solerillas del agua y se marque en forma indeleble las secciones de apoyo y de carga. Para esto, se considere una luz de ensayo de 40 cm.
- Se coloque la solerilla sobre los apoyos de acuerdo a las marcas, apoyada en su cara posterior, cuidando que su eje longitudinal quede perpendicular a ellos. Para la aplicación de la carga se coloque, centrado sobre la marca correspondiente, un disco cilíndrico de acero de 5 cm de diámetro y 2 cm de espesor, tal como lo indica la Figura 6-5.

FIGURA 6-5. DISPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS DE APOYO Y DE CARGA EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN.



Para asegurar una buena distribución de carga entre el disco y la solerilla, se puede colocar una lámina circular de madera aglomerada de 4,8 mm de espesor mínimo y diámetro ligeramente superior a 50 mm.

Se sugiere aplicar la carga a una velocidad tal que la rotura no se produzca antes de 1 minuto.

Se registra la carga de rotura en kN.

### **6.6.5. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN**

Se recomienda aplicar lo establecido en el apartado 6.1.6, considerando lotes de 2000 unidades o fracción inferior y muestras compuestas por 3 solerillas. Los requisitos a cumplir son los establecidos en el apartado 6.6.3.

## **ART. 6.7 SOLERAS CON ZARPA**

### **6.7.1. GENERALIDADES**

Esta especificación se refiere a las soleras con zarpa que se utilizan como cunetas y elementos de restricción de borde de calzadas y vías de tránsito vehicular.

Se aceptan sólo si la solera y la zarpa forman un solo elemento. No se acepta que se construyan en forma separada.

El diseño estructural del pavimento debe considerar la condición de carga en borde libre, lo que en general se traduce en un incremento de espesor de la calzada de entre 1 y 2 cm., respecto de la condición en que se utilizan soleras sin zarpa.

### **6.7.2. COLOCACIÓN DE SOLERAS CON ZARPA**

#### **6.7.2.1. Preparación del terreno.**

El sello de fundación se debe obtener excavando una zanja en el terreno natural o en la sub-base granular compactada.

La excavación requiere tener un ancho mínimo de 80 cm para las soleras tipo A, 70 cm para soleras tipo B y 65 cm para soleras tipo C, y tener la profundidad necesaria para que la solera quede al nivel establecido en el proyecto.

El fondo de la excavación debe presentar una superficie compactada, uniforme, pareja y limpia de materiales sueltos, basuras, escombros, materia orgánica, etc.

#### **6.7.2.2. Colocación.**

Para la colocación se debe verificar que:

- La excavación se humedezca ligeramente y en ella se coloque una capa de hormigón de 170 kg de cemento por m<sup>3</sup> y de 10 cm de espesor mínimo.
- La superficie de esta capa tenga el nivel y la pendiente adecuada para que la solera con zarpa que se va a colocar sobre ella se ajuste a lo indicado en los planos.
- La solera con zarpa se coloque sobre el hormigón fresco y se alinie según la dirección del eje de la calzada o la que indiquen los planos.

- Se verifiquen los niveles y pendientes, tomando en consideración que la zarpa coincida con el borde superior de la calzada, manteniendo la continuidad del bombeo y de la pendiente longitudinal.
- La separación máxima entre los elementos sea de 5 mm y las juntas se rellenen con mortero de cemento y arena fina en proporción 1:4 en peso.
- El respaldo de la solera se rellene con el mismo hormigón especificado para la base, hasta la mitad de su altura, como mínimo.
- El hormigón de base y de respaldo y el mortero de junta, se mantengan húmedos durante 5 días como mínimo, ya sea por medio de riego frecuente, cubriéndolos con arena húmeda o con el material de relleno correspondiente, el que pueda depositarse a partir del día siguiente a la colocación de las soleras con zarpa.
- Sin embargo, para la compactación del relleno se espera un plazo mínimo de 7 días para que el hormigón adquiera resistencia.
- Para el relleno posterior se pueda ocupar el mismo material obtenido de las excavaciones, siempre que no contenga materia orgánica, basuras ni bolones.

#### 6.7.2.3. Ejes, Niveles y Tolerancias.

Los ejes y niveles de colocación se deben ajustar a lo establecido en el proyecto.

El alineamiento longitudinal de las soleras con zarpa se puede verificar mediante una regla de longitud aproximadamente igual al doble del largo de los elementos.

Se recomienda que la separación máxima aceptable entre la solera con zarpa y la regla, ya sea en la cara superior, en la cara lateral o en la superficie de la zarpa, sea de 4 mm.

### **6.7.3. REQUISITOS DE LAS SOLERAS CON ZARPA**

#### 6.7.3.1. Requisitos geométricos y dimensionales.

Las soleras con zarpa se clasifican en tipos A, B y C, según sus formas y dimensiones. Estas son las que se indican en la Figura 6-6 y Tabla 6-15.

FIGURA 6-6. DIMENSIONES DE LAS SOLERAS CON ZARPA.

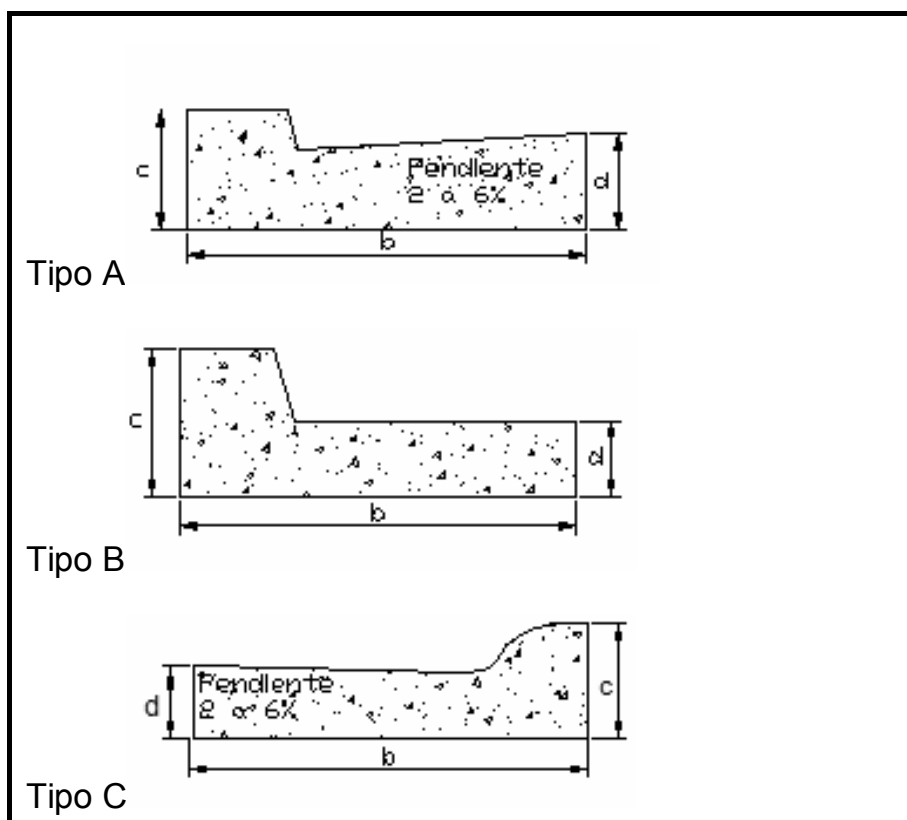


TABLA 6-15. DIMENSIONES DE LAS SOLERAS CON ZARPA (cm).

Dimensiones (cm)		Tipo de Solera con Zarpa		
		A	B	C
Longitud	a	50	50	50
Ancho	b	60	50	45
Alto	c	20	30	16-21
Altura	d	15	15	11

Todas las dimensiones tienen una tolerancia de +/- 3 mm.

El cumplimiento de los requisitos geométricos se puede verificar por lotes de 2000 unidades o fracción inferior de los cuales se puede extraer una muestra al azar compuesta por 3 soleras con zarpa, a las que miden sus dimensiones.

#### 6.7.3.2. Resistencia a la compresión.

Para la resistencia a compresión se debe verificar que:

En soleras con zarpa se determine a partir de muestras de hormigón fresco extraídas durante la fabricación de las unidades (NCh 171E.Of1975).

Se considere un mínimo de 3 muestras por cada 50 m<sup>3</sup> de hormigón o por cada partida de soleras con zarpa fabricadas, si el total de hormigón empleado es menor a 50 m<sup>3</sup>.

Cada muestra esté formada por dos probetas cúbicas de 20 cm. de arista, que se ensayen a compresión a los 28 días (NCh. 1037 Of. 1977).

La resistencia media de las muestras consideradas puede ser igual o superior a 30 MPa y ninguna muestra puede tener una resistencia inferior a 27 MPa.

Si no se dispone de muestras de hormigón extraídas durante la fabricación de las soleras con zarpa, la aceptación de las unidades se puede hacer en base a testigos.

Se sugiere que estos sean cilíndricos, de 10 cm de diámetro, y su esbeltez esté comprendida entre 1 y 2.

Se requiere ensayar al menos 3 soleras con zarpa por cada lote de 2000 unidades o fracción inferior. De cada una de ellas se requiere extraer dos testigos, los cuales son ensayados a compresión (NCh. 1037 Of. 1977). El promedio de los valores obtenidos es la resistencia del elemento.

La resistencia media de los testigos puede ser igual o superior a 25 MPa y ninguno de ellos puede tener una resistencia inferior a 22 MPa.

#### 6.7.4. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

Se acepta el lote si la muestra cumple con los requisitos establecidos en el apartado 6.7.3.

Si la muestra no cumple con estos requisitos, se puede efectuar un remuestreo por lotes, extrayendo al azar una muestra con el doble de unidades consideradas inicialmente.

#### ART. 6.8 SOLERAS HECHAS EN SITIO SOBRE CALZADA DE HORMIGÓN

Este tipo de soleras se usa en ciertos casos para separar sentidos de tránsito o con alguna otra finalidad especial (ver Lámina Tipo 6.I del Apéndice III). Se requiere cumplir los mismos requisitos que el pavimento de hormigón.

## SECCIÓN 7. OBRAS COMPLEMENTARIAS

### ART. 7.1 ALCANCE

Como su nombre lo indica, estas obras complementan a las obras de pavimentación, algunas tienen por objeto proteger los pavimentos de acciones externas, otras se efectúan con fines de ornato o presentación. También se incluye dentro de este grupo de obras, determinados trabajos previos a la construcción del pavimento, necesarios para despejar la faja a pavimentar de los elementos y obstáculos que interfieren el proceso de construcción.

### ART. 7.2 DIVERSOS TRABAJOS DE DEMOLICIÓN O EXTRACCIÓN

#### **7.2.1. DEMOLICIÓN DE PAVIMENTOS EXISTENTES Y TRANSPORTE DE ESCOMBROS**

Si en la faja a pavimentar existen pavimentos antiguos, se especifica su demolición, la extracción y transporte a botadero de los escombros, de acuerdo al tipo de pavimento:

- a.) Calzadas y veredas de hormigón.
- b.) Calzadas y veredas asfálticas.
- c.) Calzadas adoquinadas.
- d.) Calzadas empedradas.
- e.) Zarpas de hormigón.
- f.) Veredas de baldosas.
- g.) Soleras en mal estado o construídas en sitio.
- h.) Bases de hormigón, granulares y estabilizadas.
- i.) Otros.

#### **7.2.2. EXTRACCIÓN Y TRANSPORTE DE ELEMENTOS PREFABRICADOS**

Se especifica la extracción de elementos prefabricados existentes en la faja a pavimentar, su transporte a un depósito que fije la Inspección Técnica o Profesional Responsable, entendiéndose que se trata de elementos en buen estado de conservación. En esta categoría se incluye lo siguiente:

- a.) Soleras de hormigón vibrado o de piedra.
- b.) Pastelones de hormigón.



- c.) Adoquines de piedra o de hormigón.
- d.) Tubos de cemento comprimido.
- e.) Tubos metálicos.
- f.) Rieles.
- g.) Tapas de cámaras.
- h.) Otros.

### **7.2.3. DEMOLICIÓN DE OBRAS VARIAS Y TRANSPORTE DE ESCOMBROS**

Se especifica la demolición de diversas obras existentes en la faja a pavimentar y su transporte a botadero. Entre otras, pueden mencionarse las siguientes:

- a.) Obras de hormigón construídas en sitio, tales como: muros, cámaras, cimientos, tuberías, canaletas, etc.
- b.) Obras de hormigón armado, como son: losas, vigas, muros, etc.
- c.) Obras de albañilería de ladrillos.

## **ART. 7.3 RECONSOLIDACIÓN DE ZANJAS Y EXCAVACIONES EN GENERAL**

Se requiere en ocasiones, antes de la compactación de la subrasante, reconsolidar antiguas excavaciones provenientes de algunas instalaciones subterráneas, de matrices o arranques domiciliarios de agua potable, alcantarillado u otros.

En este caso, se procede extrayendo el material suelto y sustituyéndolo por un material granular adecuado y se compacta mediante pisones metálicos o placas vibratorias.

## **ART. 7.4 EVACUACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES**

### **7.4.1. TUBERÍAS DE HORMIGÓN O DE CEMENTO COMPRIMIDO**

Los tubos de hormigón o cemento comprimido deben cumplir con las normas NCh. 184 Of. 2001 y NCh. 170 Of. 1985.

Las uniones entre tubos pueden ser:

- a.) De enchufe y espiga.
- b.) De muesca y ranura.
- c.) De corte plano.

Para su colocación se nivela y compacta previamente el terreno, sobre éste se extiende una capa de base o radier de hormigón H-20, con un espesor de 10 cm. y un ancho igual al diámetro exterior del tubo, además se rellena con el mismo material los espacios entre el tubo y el borde exterior del radier, formando un ángulo de 45° con este último.

En las uniones se emplea el siguiente método:

a.) *Tubos de enchufe y espiga o de muesca y ranura*: luego de limpiar y humedecer las superficies a unir, se aplica un mortero dosificación 1:3 en volumen, elaborado con un contenido de agua mínimo, sobre la mitad superior del enchufe y sobre la mitad inferior de la espiga o ranura, a continuación, se procede a presionar los tubos entre sí, hasta que su separación se reduzca al mínimo.

b.) *Tubos de corte plano*: luego de limpiar y humedecer la superficie de unión, se aplica un mortero con dosificación 1:3 en volumen, elaborado con un contenido de agua mínimo; en seguida se presiona los tubos entre sí, hasta que la separación se reduzca al mínimo.

Luego de colocados los tubos, se construye sobre las uniones una cubrejuntas con mortero de cemento, dosificación 1:3 en volumen, formando un anillo. De acuerdo al diámetro interior del tubo, la cubrejunta tiene los siguientes anchos y espesores:

TABLA 7-1: DIMENSIONES DE CUBREJUNTAS

Diámetro Interior [cm]	Ancho[cm]	Espesores[cm]
10	10	3
15	10	3
20	12	4
30	12	4
40	12	4
50	15	6
60	15	6
80	18	8
100	20	10

El radier y las cubrejuntas se mantengan húmedas durante un período mínimo de 24 horas.

#### 7.4.2. TUBERÍAS DE ACERO ZINCADO CORRUGADO

Se debe verificar que:

Salvo indicación en contrario, los tubos y sus dispositivos de conexión se protejan mediante un recubrimiento con un producto asfáltico, de preferencia el revestimiento tipo E4 al que se refiere la norma NCh. 567E.Of. 1969.

Los tubos se coloquen sobre una base o radier de hormigón H 20, procediendo a su vez, en todo en la misma forma que para los tubos de hormigón o cemento comprimido, cuidando que los espacios entre las corrugaciones queden completamente rellenos.

Las juntas entre tubos sean soldadas y se asegure su total recubrimiento por el cordón de soldadura.

Luego de colocados, los tubos se sometan a una prueba hidrostática, ésta consiste en llenar la tubería de agua, aplicando luego una presión hidrostática equivalente a una altura de 3 metros de agua, durante un período de 24 horas. Las filtraciones que se observen, luego de esta prueba, se suprimen mediante la aplicación de soldadura en donde sea necesario, lo que se comprueba repitiendo la prueba.

#### **7.4.3. CÁMARAS DE INSPECCIÓN**

Las cámaras de inspección se *construyen* a lo largo de canalizaciones o en pasos bajo el pavimento, de tubos de hormigón o de acero zincado corrugado. Su objetivo es permitir la limpieza de los tubos, que se efectúa con cierta frecuencia, a causa del embanque por acumulación de materias sólidas arrastradas por el agua.

Las cámaras se construyen de acuerdo a lo indicado en las Láminas Tipo N° 7.1 y 7.2 del Apéndice III.

Si de acuerdo a las circunstancias, se requiere construir cámaras de dimensiones diferentes a las de éstas láminas, es necesario efectuar un diseño especial.

#### **7.4.4. COLECTORES DE AGUAS-LLUVIAS**

Los colectores de aguas-lluvias que se construyan en vías urbanas, son materia de un proyecto específico debidamente aprobado por SERVIU, si estas se encuentran bajo su tuición.

#### **7.4.5. SUMIDEROS**

Los sumideros cumplen la función de captar aguas superficiales y entregarlas a una canalización subterránea, que puede ser un colector de aguas lluvias.

Su ejecución se hace de acuerdo a láminas tipo N° 7.3 a 7.8 del Apéndice III.

### **ART. 7.5 OBRAS DE DRENAJE**

Puede ser necesario en ciertos casos, evacuar aguas provenientes de napas subterráneas o aguas superficiales que se infiltran a través de las juntas o de los bordes del pavimento, y que afectan a las capas inferiores del mismo o a la subrasante.

Para el drenaje de estas aguas pueden emplearse tuberías perforadas o algún otro sistema, en base a un proyecto debidamente aprobado por el SERVIU.

El drenaje mediante tuberías perforadas, se efectúa, en general, de acuerdo al siguiente procedimiento constructivo:

Se construye una zanja de drenaje de acuerdo a las dimensiones que indique el proyecto, en el fondo de esta zanja se puede colocar una capa de arcilla impermeable de 5 cm. de espesor y sobre ésta se ubican los tubos, que en su parte superior tienen perforaciones circulares.

La zanja tendrá una sección transversal de forma trapecial y la inclinación de las paredes laterales será la que corresponde al talud natural del terreno en estado seco.

Luego de colocados los tubos, se rellena el espacio superior de la zanja con material grueso, de un tamaño nominal comprendido entre 2 y 7 cm, salvo en los 15 cm. superiores, que se rellenan con material fino, de modo que la fracción que pasa por el tamiz N° 200 no exceda de un 3% en peso.

Puede ser necesario emplear dos o más tuberías de drenaje paralelas, en tal caso se indica la distancia entre ellas y la pendiente longitudinal mínima recomendable de las mismas, la cual es de un 2%.

La tubería desemboca en un tubo colector, de acuerdo al proyecto. El ángulo entre los ejes de los tubos de drenaje y del colector, medido en el sentido del flujo, está comprendido entre 120° y 135° sexagesimales. El colector lleva las aguas hasta un curso de agua abierto (estero o canal) o a la red de alcantarillado o colector de aguas lluvias.

## ART. 7.6 MUROS DE CONTENCIÓN

Los muros de contención son estructuras que se construyen en vías urbanas, para solucionar diferencias de nivel de consideración, entre puntos situados a muy corta distancia entre sí. Esto sucede generalmente en calles que existen grandes pendientes transversales, han debido ejecutarse cortes o terraplenes para construir la plataforma, sobre la cual se construye, a su vez, el pavimento.

El muro de contención resiste el empuje resultante de la presión ejercida por el terreno y, además, el empuje de la presión transmitida por los vehículos, si el muro está bajo la cota del pavimento.

De acuerdo al material empleado en su construcción, los muros se clasifican en:

- a.) Mampostería de piedras.
- b.) Hormigón.
- c.) Hormigón armado.

Los dos primeros tipos de muros son gravitacionales, dado que no podrían resistir esfuerzos de flexotracción. Su construcción se ciñe estrictamente al proyecto.

### 7.6.1. MUROS DE MAMPOSTERÍA DE PIEDRAS

Se debe verificar que:

Se construyan con piedras de distinto tamaño y forma. Si se requiere que la pared exterior del muro sea plana, estas piedras tienen canteada una de sus caras.

La constitución de la piedra empleada sea limpia, dura, tenaz, sin grietas o irregularidades visibles, ni señales de descomposición o desintegración.

Se tomen muestras del material, para someterla al ensaye Desgaste los Ángeles. La pérdida de peso máxima admisible en dicho ensaye es del 50%.

Con respecto al tamaño y forma de las piedras, se procure que no sean demasiado redondeadas ni alargadas y que tengan un tamaño aproximadamente uniforme, con una dimensión máxima, medida en cualquier dirección, de 40 cm. y un volumen máximo de 25 litros.

El muro se construya colocando sucesivamente capas horizontales de piedras y que entre las superficies de contacto entre las piedras se emplee como elemento de unión un mortero de cemento de dosificación 1:3 en volumen, mezclado con la betonera. Luego de colocada una capa, se humedece su superficie y se recubre con una capa del mismo mortero, de 1 a 2 cm. de espesor, sobre la cual se asienta la capa siguiente.

Finalmente, se procede a rellenar con mortero todos los espacios que no hayan quedado totalmente recubiertos, quedando las juntas ligeramente rehundidas.

La separación máxima entre una piedra y otra sea 3 cm.

### **7.6.2. MUROS DE HORMIGÓN**

Se debe verificar que:

Los muros de hormigón se construyan en conformidad a un proyecto estructural y estén constituidos por una fundación y por el muro propiamente tal.

En la construcción de las fundaciones se emplee un hormigón H20, al que se puede agregar hasta un 20% de piedra desplazadora.

Para la construcción del muro, se requiera el uso de un moldaje, el cual tenga la resistencia necesaria para soportar la presión transmitida por la masa de hormigón fresco y además, sea totalmente hermético, para impedir la filtración del agua de amasado y pueda ser retirado luego de un tiempo mínimo de 72 horas, después de finalizada la faena de hormigonado.

En la construcción del muro se emplee un hormigón H25 y la colocación se haga por capas de altura no mayor a 20 cm; las que se compactan usando vibradores de inmersión.

En general, la sección transversal del muro sea de forma trapecial y en sus paramentos exteriores presente una perfecta terminación.

Para la evacuación de las aguas provenientes del subsuelo, bajo el pavimento, el proyecto establezca la construcción de barbacanas, ubicadas a una determinada distancia entre sí.

### **7.6.3. MUROS DE HORMIGÓN ARMADO**

Para la construcción de un muro de hormigón armado se requiere de un proyecto estructural. En general, estos muros están constituidos por tres partes o elementos:

- a.) La zapata o fundación.
- b.) El muro o pantalla.
- c.) Los contrafuertes.

En la construcción del muro existen varias etapas, que según su orden de prelación, son las siguientes:

- a.) Excavación de la zapata.
- b.) Colocación de la armadura de la zapata.
- c.) Colocación de la armadura del muro y de los contrafuertes.
- d.) Hormigonado de la zapata.
- e.) Colocación del moldaje del muro.
- f.) Hormigonado del muro.
- g.) Extracción del moldaje.
- h.) Relleno y terminaciones.

Se debe verificar que:

El moldaje tenga la resistencia necesaria para soportar las presiones transmitidas por la masa de hormigón fresco, que sea completamente hermético para impedir la filtración del agua de amasado y que pueda ser retirado luego de un tiempo mínimo de 72 horas, después de finalizada la faena de hormigonado.

Para la construcción del muro se emplee un hormigón H30 y para la construcción de las armaduras se empleen barras de acero redondo A 630- 420 H, considerando además lo dispuesto en la norma NCh. 204 Of. 2006, en lo que se refiere al corte, doblado, empalme y a la colocación de las barras.

El hormigonado de zapata muro y contrafuertes pueda hacerse separadamente, en capas de altura no superior a 20 cm., las que se compactan por medios mecánicos, usando vibradores de inmersión.

La faena de hormigonado se desarrolle sin interrupción hasta su término. Si el muro fuese de gran longitud, puede efectuarse separadamente el hormigonado de las secciones comprendidas entre dos contrafuertes.

Sobre el eje vertical de cada contrafuerte se deje una junta de construcción, cuyas superficies sean perfectamente planas y verticales.

Al emplearse el sistema de construcción anteriormente descrito, se tenga presente que el hormigonado de cada sección comience apoyándose en la superficie prevista para la junta de construcción en la sección anterior, dejando en la superficie exterior del muro, sobre cada junta, una ranura de 8 mm. de ancho y 2 cm. de profundidad, la que se rellena posteriormente con un material sellante, según se especifique en las Bases Técnicas Especiales.

El muro pueda presentar sus dos paredes verticales, o bien la interior pueda tener una ligera pendiente hacia la base del mismo. y ambas paredes presenten una perfecta terminación.

Se especifique en el proyecto, la colocación de un sistema de drenaje de las aguas que puedan fluir desde el terraplén o subsuelo, bajo el pavimento; además se señale el sistema de ejecución y compactación del terraplén o relleno, a fin de evitar cualquier aumento de la presión sobre el muro, no debidamente prevista.

## ART. 7.7 LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO

En una obra de pavimentación urbana puede ser necesario cruzar un curso de agua, como puede ser un canal, estero o acequia; también puede suceder que dicho curso de agua sea paralelo, en un tramo de cierta longitud, al eje de la calzada. En tales casos, se hace necesaria la construcción de una obra que permita salvar el obstáculo que esto representa para la continuidad del pavimento de la calzada o de la acera.

La solución que corresponde aplicar en estas circunstancias es la construcción de una cubierta, que puede consistir en una estructura metálica, o bien de hormigón armado.

En general, se prefiere esta última solución, considerando que la propia losa de hormigón armado puede utilizarse como superficie de rodado o que, en algunos casos, sea suficiente colocar un recubrimiento de pequeño espesor sobre ella. El proyecto de una losa o puente de hormigón armado comprende el de la losa misma y además, el de los muros y fundaciones. Para losas de las dimensiones que se construyen habitualmente, se han diseñado una serie de Láminas Tipo (N° 7.9 a N° 7.23 del Apéndice III). Estas láminas corresponden a losas para veredas con luces comprendidas entre 0,75 m y 2,00 m, y losas para calzadas con luces comprendidas entre 1,00 m y 2,00 m.

En las Láminas Tipo N° 7.24 y N° 7.25 se presenta además una losa de aproximación en acceso a puente.

Se debe verificar que:

El proyecto consulte además, en general, la construcción de un radier de hormigón H30; asimismo, cuando sea necesario, se especifique la construcción de capas de base de material granular o un sistema de drenaje.

Cuando se trate de canalizaciones de cierta longitud, sea necesario proyectar la colocación de tapas removibles, a una distancia máxima determinada, para permitir la limpieza del cauce.

Para la construcción de muros y losas se emplee un moldaje apropiado, que tenga la capacidad resistente necesaria para soportar las presiones de la masa de hormigón fresco y se pueda retirar este moldaje, mínimo siete días después del hormigonado.

En la construcción de losas y muros se emplee un hormigón H30, que las barras de acero de las armaduras sean de acero redondo A44-28 H, según lo especificado en la norma NCh. 204 Of. 2006 y que se cumpla en especial lo que se refiere al corte, doblado y empalme de las barras y a su colocación al efectuar el armado.

El hormigonado de las losas se ininterrumpa si la losa es de gran longitud y pueda dividirse en tramos, separados mediante juntas de construcción, similares a las descritas en el apartado 7.3.3.

**ART. 7.8 EMPAREJAMIENTO DE VEREDONES**

Esta obra consiste en la rectificación y alisado de la superficie de los veredones en tierra, definiéndose como veredón todo el espacio comprendido entre la línea de edificación y la solera, o bien entre el borde exterior de la vereda y la solera. Se incluye también en esta definición el trabajo de iguales características, que es necesario ejecutar cuando existen medianas o bandejones en tierra, entre dos fajas de pavimento.

Estos trabajos pueden ejecutarse ya sea manualmente o con motoniveladora. Es preciso, además de rectificar la superficie, efectuar una compactación, previo riego de dicha superficie. Se incluye adicionalmente, la extracción del material sobrante y su transporte a botadero.





## SECCIÓN 8. ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS

### ART. 8.1. GENERALIDADES

Los pavimentos son diseñados para desempeñarse en forma óptima durante una cierta cantidad de años, los cuales se denominan “vida útil” del pavimento. Si bien este período de tiempo es un parámetro de diseño teórico, en la práctica los pavimentos se van desgastando de tal forma que muchas veces, no son capaces de alcanzar la vida útil para la cual fueron diseñados, deteriorándose mucho antes de lo esperado.

Existen muchos factores que contribuyen al deterioro progresivo de los pavimentos, pero sin duda, los que tienen una mayor influencia son: los factores climáticos (variación de temperatura, precipitaciones, etc.) y las cargas del tránsito. Como estos factores no son controlables, se hace necesario aplicar sobre los pavimentos acciones que permitan disminuir o retardar la creciente tasa de deterioro generada por la constante influencia de estos factores.

A medida que los deterioros van aumentando su severidad, se reduce la serviciabilidad del pavimento y con esto, la seguridad de conducción para el usuario. Estos deterioros se clasifican según la característica que afectan, en funcionales y estructurales.

Deterioro funcional: es aquel que se relaciona con la calidad de la superficie de éste y afecta negativamente la serviciabilidad (confort y costo de operación del usuario) y la seguridad de circulación. Entre este tipo de deficiencias se encuentran: la rugosidad, fallas superficiales y pérdidas de fricción.

Deterioro estructural: es aquel que se origina por la pérdida de la capacidad estructural del suelo de fundación o de algunas de las capas que componen el pavimento. Este deterioro se puede manifestar en forma de deformaciones o agrietamientos.

Como se dijo anteriormente, los deterioros de un pavimento son progresivos, por lo tanto, es necesario entender que no aparecen espontáneamente, si no que son producto de un desarrollo en el tiempo, por lo tanto, su mayor o menor severidad depende del tiempo que ha tenido para desarrollarse bajo los efectos del tráfico y del clima. Tomando esto como principio de actuación, las acciones a aplicar a un pavimento, se consideran como un proceso, en donde se apliquen estrategias de conservación a corto plazo, de reparación a mediano plazo y de reposición a largo plazo, durante la vida útil del pavimento.

### ART. 8.2. DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS

Las distintas estrategias que se apliquen a un pavimento durante su vida útil y la definición y propósito de cada una, dependen directamente del estado en que se encuentre el pavimento.

Las estrategias de conservación consisten en la ejecución de trabajos que tienen por objeto aumentar la capacidad de servicio del pavimento, sin modificar lo existente. Estos trabajos son los primeros que se realizan estando aún el pavimento en buen estado, con el propósito de conservar por un mayor tiempo las buenas condiciones funcionales y estructurales que tiene el pavimento en los primeros años de servicio.

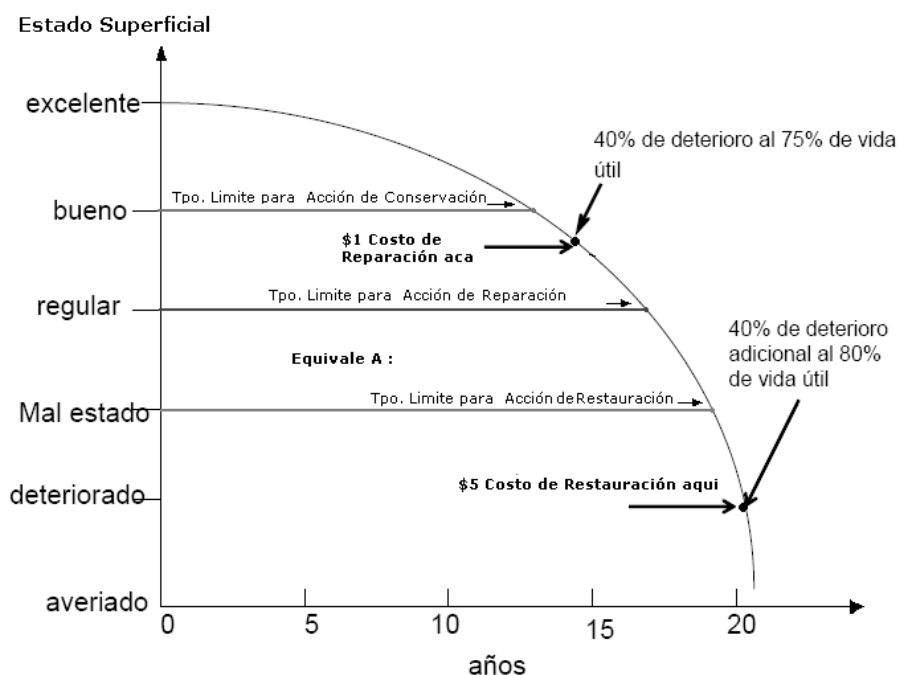
Las estrategias de reparación son aquellas que tienen como finalidad recuperar el deterioro ocasional sufrido por un pavimento. Estos trabajos siguen a los de conservación ya que en algún momento los pavimentos comienzan a presentar defectos, producto del inevitable deterioro que éstos sufren. A través de estos trabajos se mejoran los defectos puntuales, evitando de este modo el aumento de la severidad de éstos, manteniendo las propiedades funcionales y estructurales dentro de rangos aceptables para los usuarios de la vía.

Finalmente, entre las últimas estrategias a aplicar durante la vida útil de un pavimento, están las de reposición, las cuales tienen por objeto reparar elementos para volverlos al estado o estimación de lo original.

Es importante que se consideren los tiempos precisos para aplicar las distintas estrategias propuestas, ya que de ello depende que se logren mejoras reales en las propiedades funcionales y/o estructurales que se quieran mantener o mejorar y además, que la inversión económica sea rentable.

En la Figura 8-1 se muestra una curva típica de la tasa de deterioro de un pavimento. Se observa que 40% del deterioro ocurre al 75% de la vida útil del pavimento. Se sugiere que en este rango de tiempo se tome la decisión de aplicar alguna acción de reparación. También es posible observar que un gasto de \$ 1 en acciones de reparación cuando el estado del pavimento aún es bueno, se transforma en \$ 5 para poder restaurar un pavimento ya deteriorado. Además, se pueden identificar puntos en el estado superficial del pavimento, donde la aplicación de las distintas acciones, son óptimas. Por ejemplo: para aplicar una acción de conservación el estado del pavimento se requiere aún bueno.

FIGURA 8-1. CURVA DE DETERIORO DEL PAVIMENTO.



Como se puede observar además en la Figura 8-1, el pavimento inevitablemente en algún momento de su vida útil llega a un punto donde pasa de un estado superficial regular a otro malo y es en

este lapso de tiempo donde se aplican acciones de reposición para poder recuperar los estándares mínimos de confort y seguridad que provee la vía al usuario, antes que el pavimento se deteriore por completo y su única solución sea la reconstrucción.

### ART. 8.3. PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN DE ACCIONES DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y REPOSICIÓN

Las acciones que se aplican sobre el pavimento son función, principalmente del tiempo que ha transcurrido desde su construcción hasta el estado funcional y estructural en el que se encuentra. Para hacer una elección óptima de la acción a aplicar, es importante considerar una serie de factores que influyen en esta decisión. Básicamente se requiere de 5 datos principales de información:

Datos de Diseño: Para comenzar el análisis y tener una idea general del pavimento a tratar, se necesitan datos como los parámetros de diseño del pavimento, espesor de las capas, detalles sobre las componentes de la estructura del pavimento y detalles más específicos como tipo de junta, tipo de drenaje, etc.

Datos de construcción: conocer la forma de construcción tanto del pavimento como de elementos complementarios como drenajes, alcantarillas, etc., puede explicar el origen del deterioro y en base a esto, determinar un tipo particular de estrategia.

Datos de tránsito: Este dato es necesario para evaluar el deterioro del pavimento y estimar el volumen y las cargas soportadas. Con este dato se ajustan las hipótesis asumidas al construir la vía y se comparan los deterioros reales con los proyectados, de modo que se tenga una idea más clara del comportamiento de la estructura.

Datos climáticos: Las condiciones climáticas afectan considerablemente los pavimentos. Los gradientes de temperatura, las precipitaciones, humedad y posibilidad de congelamiento son un factor importante al momento de seleccionar la acción a aplicar, especialmente en los materiales que se utiliza.

Condición de deterioro: Conocer en forma precisa la condición del deterioro de la infraestructura de la vía, permite aplicar políticas eficientes a lo largo del proyecto. Esto significa definir la severidad y cantidad de deterioro antes de seleccionar una estrategia. Para determinar el nivel de deterioro se aplican ensayos tanto destructivos como no destructivos y junto a los datos definidos anteriormente, se pueden modelar los diferentes tipos de deterioro a lo largo de la vida útil del proyecto.

Las estrategias a aplicar en los distintos tipos de pavimentos dependen principalmente de los deterioros que lo caracterizan, además del tipo de material que lo compone, ya sea, rígido o flexible. Se anexan Láminas Tipo 8.1 y 8.2 en Apéndice III, en las cuales se presentan las Especificaciones Técnicas para la rotura y reposición de pavimentos de asfalto y hormigón.

En las Secciones 9 y 10 se describen los principales deterioros que presentan los pavimentos urbanos rígidos y flexibles respectivamente, cuya clasificación y cuantificación resultan de la evaluación visual del pavimento. Además se describen las acciones de conservación, reparación y reposición que se pueden aplicar en cada caso.

## ART. 8.4. EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA DE PAVIMENTOS

### 8.4.1. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA DE PAVIMENTOS CON EL DEFLECTOMETRO DE IMPACTO

#### 8.4.1.1. Generalidades.

La medición de deflexiones ha sido usada ampliamente como una forma de evaluar la condición estructural de pavimentos tanto flexibles como rígidos.

La velocidad con que es posible evaluar el pavimento con equipos como el Deflectómetro de impacto [FWD] presenta la gran ventaja de poder realizar un gran número de evaluaciones evitando el cierre prolongado al tránsito y el costo de reposición que requieren los métodos destructivos para evaluar la misma cantidad de puntos.

Existen diversos tipos de equipos capaces de generar y medir deflexiones en el pavimento, los cuales se clasifican de acuerdo al tipo y magnitud de la carga aplicada en la superficie de la estructura, según el siguiente criterio:

- *Cargas Estáticas:* Estos equipos se caracterizan por medir la deflexión generada por una carga estática, generalmente producida por el eje de un camión.
- *Vibración Constante:* Las deflexiones son generadas por equipos vibratorios que aplican una carga dinámica sinusoidal además de una carga estática, con lo cual se logra que el pavimento se encuentre sometido a una carga de compresión.
- *Carga Impulsiva:* En esta categoría se incluyen todos aquellos equipos que aplican una fuerza transiente en la superficie del pavimento, como son las distintas variedades de deflectómetro de impacto. El principio básico de funcionamiento de estos equipos consiste en la aplicación de una carga sobre el pavimento, la cual se genera al dejar caer una masa desde distintas alturas (es decir, se varía la magnitud de la fuerza aplicada) y que resulta aproximadamente en una carga con forma de medio seno y con una duración entre 25 y 30 milisegundos. Lo anterior permite reproducir con mayor precisión que los equipos explicados anteriormente, la carga que ejercen sobre el pavimento los vehículos en movimiento.

#### 8.4.1.2. Tipos de ensayos empleando deflectometría de impacto.

Existen tres tipos de ensayo FWD, el ensayo base (cuenco de deflexiones), el ensayo de junta y el de esquina (los dos últimos sólo en pavimentos de hormigón).

Ensayo base: se utiliza para evaluar la capacidad estructural de un pavimento, siendo también utilizado en materiales de base y subrasante.

Ensayo de junta: se usa para evaluar la capacidad de transferencia de carga en juntas y grietas, como también evaluar la presencia de huecos bajo pavimentos de hormigón.

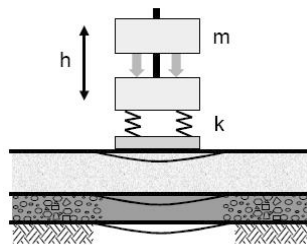
Ensayo de esquina: tiene por objetivo evaluar la condición de las esquinas de una losa, y la presencia de huecos bajo ésta, esta zona es la que está sometida a la mayor sollicitación de tensiones.

### 8.4.1.3. Principio de operación del equipo.

El deflectómetro de impacto es un equipo capaz de aplicar una carga dinámica impulsiva en la superficie del pavimento, la cual se asemeja en magnitud y duración a la carga aplicada por los vehículos en movimiento. Las deflexiones generadas en la superficie del pavimento por la carga aplicada se miden con sensores ubicados bajo la carga y a distintas distancias de ella.

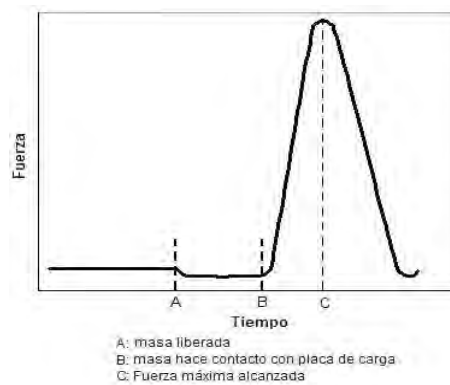
La principal característica de operación de estos equipos, es la generación de la carga transiente a través de una masa que se deja caer desde una altura predeterminada, sobre una placa de carga conectada a resortes. En la Figura 8-2 se muestra un esquema de la masa, la altura de caída y la placa de carga amortiguada con resortes, elementos comunes a todos los deflectómetros de impacto.

FIGURA 8-2. ESQUEMA EN ELEVACIÓN DEL SISTEMA DE CARGA DE UN FWD



La forma de la fuerza que se aplica al pavimento, se esquematiza en la Figura 8-3 y se aproxima a la mitad de una función seno, con una duración entre 25 [ms] y 30 [ms].

FIGURA 8-3: CARGA DE IMPULSO TÍPICA GENERADA POR UN FWD



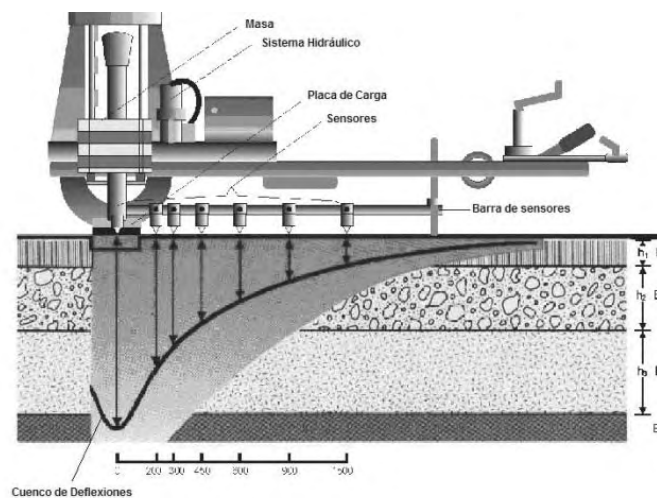
Las deflexiones verticales máximas producidas por la carga se miden con sensores de deflexión ubicados inmediatamente bajo la carga y a distintas distancias de ella, tal como se muestra en la Figura 8-4:

FIGURA 8-4: DISPOSICIÓN DE PLACA DE CARGA Y SENSORES DE DEFLEXIÓN EN UN FWD



En la Figura 8-5 se muestra un esquema tipo de la configuración de un deflectómetro de impacto y del cuenco de deflexiones generado por la carga.

FIGURA 8-5: ESQUEMA DE COMPONENTES DE UN FWD Y DEL CUENCO DE DEFLEXIONES



#### 8.4.1.4. Factores que afectan la medición de deflexiones con FWD

Existen tres factores fundamentales que influyen en las deflexiones que presenta un pavimento al ser evaluado con un equipo no destructivo como el deflectómetro de impacto. Estos factores son la carga aplicada, las condiciones climáticas y las condiciones del pavimento.

#### 8.4.1.5. Secuencia del Ensayo.

Se recomienda el siguiente procedimiento para realizar una campaña de ensayos completa con FWD.

a.) Determine las variaciones de los tipos de pavimento dentro de los límites del proyecto. Desarrolle una planificación de ensayos separada para cada tipo de pavimento.

b.) Determine los atributos del proyecto, ya que estos influyen la planificación de los ensayos. Es muy útil preparar un esquema del proyecto que identifique al menos todos los cambios de pavimento, las intersecciones a nivel o desnivel, las pistas de viraje, los puentes, áreas de servicio, tipos de bermas, etc.

c.) Determine el tamaño de cada atributo del proyecto, lo que le permite estimar las demandas de ensayos FWD requeridas para el proyecto, basadas en el supuesto que se pueden realizar aproximadamente 150 ensayos por día.

d.) Determine la geometría del proyecto, pues ella influye la ubicación de los puntos por ensayar, ya que hay que tener en cuenta los aspectos relacionados con el flujo y seguridad del tránsito durante los ensayos.

e.) Determine las secciones de ensayo. Utilice la información recopilada en las etapas precedentes para seleccionar las secciones por evaluar con FWD. Los largos de las secciones y la geometría del proyecto determinan la configuración de los puntos de ensayo.

f.) Determine el tipo de ensayo FWD por realizar en cada sección (base, de esquina o de junta). La siguiente tabla indica las características de los ensayos según tipo de pavimento y objetivos del estudio:

TABLA 8-1. CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYE SEGÚN TIPO DE PAVIMENTO Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

PAVIMENTO	ENSAYO	PLATO DE CARGA [mm]	UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE ENSAYO
Flexible	Base	300	Huella derecha o paño.
Rígido	Base	300	Centro de losa.
	Junta	300	Huella derecha.
	Esquina	300	Esquina / En juntas.
Subrasante / Base Granular	Base	300	Huella derecha.

g.) Defina un número que caracterice el ensayo, de manera de disponer de información relativa al tipo de ensayo, tipo de pavimento y espaciamiento de sensores utilizados. Anote las características de



la estructura del pavimento que está siendo evaluada (espesores, tipos de capas que lo constituyen, características del suelo, de fundación, etc.).

h.) Determine el espaciamiento de ensayo con FWD para cada sección del proyecto.

i.) Configure el sistema de recolección de datos del FWD para satisfacer los requerimientos establecidos por el proyecto.

j.) Realice las mediciones en terreno, registrando la temperatura ambiente y de la superficie del pavimento en forma regular.

#### **8.4.2. EVALUACIÓN FUNCIONAL NO DESTRUCTIVA DE PAVIMENTOS**

Los problemas funcionales del pavimento se relacionan principalmente con la calidad de la superficie de éste y afecta negativamente la serviciabilidad (confort y costo de operación del usuario) y la seguridad de circulación. Entre este tipo de deficiencias se encuentran la rugosidad y pérdida de fricción.

##### **8.4.2.1. Rugosidad (Regularidad).**

###### **8.4.2.1.1 Definición.**

La rugosidad se define como las irregularidades en la superficie del pavimento que afectan adversamente a la calidad de rodado, seguridad y costos de operación de los vehículos.

###### **8.4.2.1.2 Indicador de rugosidad.**

Para medir la rugosidad de un pavimento existe un índice denominado IRI (Índice de Rugosidad internacional), el cual, es un indicador estadístico de la irregularidad superficial del pavimento. Al igual que otros indicadores, representa una forma de cuantificar la diferencia entre el perfil longitudinal teórico (recta o parábola continua perfecta,  $IRI = 0$ ) y el perfil longitudinal real existente en el instante de la medida.

El IRI se define usualmente de la siguiente forma: "El IRI es la medida de la pendiente rectificadora (razón entre el desplazamiento vertical acumulado y la distancia recorrida) del perfil filtrado, mediante el modelo de cuarto de coche normalizado (Golden Quarter Car), para una velocidad de 80 km/h, en la longitud de análisis".

El perfil real de una vía recién construida tiene un estado cero, definido por su IRI inicial mayor que 0, debido a condicionantes constructivas. Una vez puesta en servicio, la geometría del pavimento se modifica lentamente en función del paso del tránsito, evolucionando hacia valores más elevados del IRI (mayores irregularidades).

El IRI se determina mediante un cálculo matemático realizado con las ordenadas o cotas de una línea del perfil longitudinal, obtenidas por cualquier técnica o equipo de medida del perfil longitudinal. Las consideraciones más importantes sobre el IRI son:

- a.) Su principal ventaja reside en que el IRI es un modelo matemático cuyo resultado es independiente de la técnica o equipo con el que se haya obtenido el perfil.
- b.) Para el cálculo del IRI es importante considerar la representatividad de las ordenadas que se introducen, es decir, la confiabilidad de la técnica o equipo con el que se obtiene el perfil y la frecuencia del muestreo del mismo.
- c.) La precisión de los equipos de medida de la irregularidad superficial, es uno de los temas más delicados y complejos de decidir y valorar.

#### 8.4.2.1.3 Medición de la rugosidad.

La rugosidad de un pavimento se puede medir con muchos equipos que se encuentran disponibles en el mercado, los cuales se diferencian principalmente por el rendimiento y precisión que poseen. Estos equipos son clasificados según el Banco Mundial en 4 categorías, que se basan en la proximidad de las mediciones de rugosidad con el valor IRI.

En pavimentos urbanos, para las mediciones de IRI, es recomendable utilizar los equipos que cumplen con la clasificación de los equipos clase 1, clase 2 y clase 3.

##### a.) Clasificación de Equipos.

- Clase 1: Perfiles de Precisión.

Esta clase representa los más altos niveles de precisión para medir el IRI. Requiere que el perfil longitudinal de una vía sea medido como una serie de puntos de elevación equidistantes a través de la huella o rodera de dicha vía para calcular el IRI. Es recomendable que esta distancia no supere los 0.25 m y que la precisión en la medición de la elevación sea de 0.5 mm para pavimentos que posean valores de IRI entre 1 y 3 m/km y de 3mm para pavimentos con valores de IRI entre 10 y 20 m/km.

- Clase 2: Otros Métodos Perfilométricos.

Este grupo incluye otros métodos que basan el cálculo del IRI en la medida del perfil longitudinal, pero que no tienen la exactitud de los de Clase 1. Ésta clase también comprende medidas, tanto con perfilómetros de alta velocidad, como con métodos estáticos que no satisfacen los criterios de precisión y exactitud, como para ser considerados de Clase 1.

Requieren una frecuencia de puntos de perfil, no superior a 0.5 m y una precisión en la medición de la elevación comprendida entre 1,0 mm para pavimentos que posean valores de IRI entre 1 y 3 m/km y 6,0 mm para pavimentos con valores de IRI entre 10 y 20 m/km.

- Clase 3: Estimación de IRI Mediante Ecuaciones de Correlación.

La obtención del perfil longitudinal se hace mediante equipos tipo respuesta, los cuales han sido calibrados previamente con Perfilómetros de precisión mediante ecuaciones de correlación.

- Clase 4: Estimaciones subjetivas y mediciones no calibradas.

Incluyen mediciones realizadas con equipos no calibrados, estimaciones subjetivas con base en la experiencia en la calidad de viaje o inspecciones visuales de las vías.

b.) Medición con Equipos Clase I.

Se describe el procedimiento para determinar la rugosidad superficial de pavimentos asfálticos, de hormigón y eventualmente, de otros tipos de capas de rodadura, utilizando equipos clase I.

Existen dos categorías de equipos para medir las irregularidades del perfil longitudinal con el máximo nivel de precisión, que se diferencian sólo por la velocidad con que miden (rendimiento) y no por la precisión con que lo hacen. Los más conocidos son los que se indican a continuación, sin perjuicio que puedan existir otros que cumplan con los requisitos exigidos a una u otra categoría.

- Equipos de Alto Rendimiento.

- Perfilómetro Óptico.
- Perfilómetro Láser.

- Equipos de Bajo rendimiento (Portátiles).

- Nivel y mira (topográficos).
- Perfilómetro transversal (viga).
- Perfilómetro portátil (Merlín).

Pueden incluirse en estas categorías otros equipos que cumplan los requisitos exigidos. Además, existen equipos para medir la rugosidad de los pavimentos que no funcionan en base a la medición del perfil, entre los que se puede citar los equipos de tipo respuesta.

c.) Medición con Equipo Clase 3.

Se describe el procedimiento para determinar la rugosidad superficial de pavimentos asfálticos, de hormigón y eventualmente, de otros tipos de capas de rodadura, utilizando el equipo Clase 3, específicamente el equipo MERLIN.

Procedimiento de Medición

Sobre la placa o pantalla del instrumento se fija una hoja de papel milimetrado, de modo que el puntero se desplace sobre el borde de la hoja. En la planilla se registran los datos de la vía, fecha y hora de medición y el operador. Además, se señala la pista, la huella, el punto inicial y el largo del tramo evaluado.

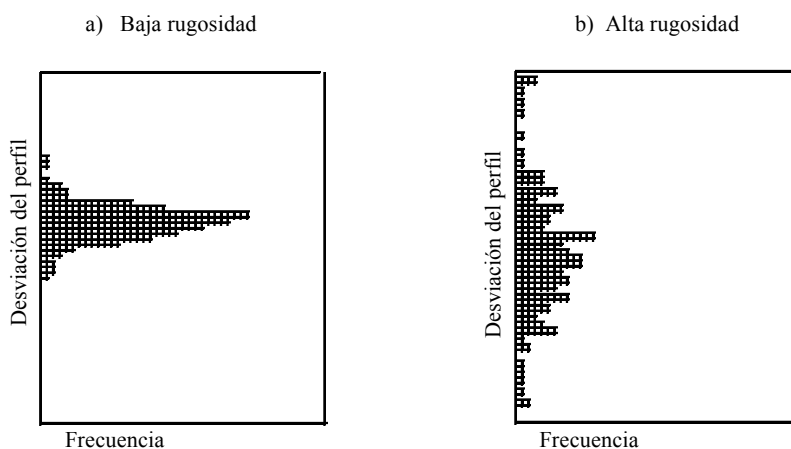
Para evaluar una rugosidad, se procede a recorrer la huella de medición registrando en la planilla la posición que marca el puntero en cada detención. Para determinar la rugosidad de un tramo de calzada, se realizan 200 mediciones a intervalos regulares, esto quiere decir, una a cada revolución de la rueda. En cada detención, el instrumento se encuentra apoyado en la rueda delantera (en posición normal), la barra trasera y la pata lateral. El patín central descansa, por su propio peso, sobre el pavimento.

Una vez registrada la lectura se procede a actualizar el control de los puntos medidos, marcando uno de los casilleros previstos para este efecto, dentro de la hoja de registro.

Cuando se completan 200 mediciones, se retira la planilla (en la que se ha formado un histograma de frecuencias con la forma de una distribución normal) desde su posición en el Merlín, y se procede al cálculo de la rugosidad, como se explica a continuación:

La Figura 8-6 presenta dos ejemplos de la apariencia que tienen los histogramas que resultan al utilizar el instrumento Merlin. El primer gráfico corresponde a un pavimento de rugosidad baja, en torno a IRI 2,5 m/km. El segundo gráfico, con mucho mayor dispersión, representa la rugosidad de un pavimento con IRI cercano a 7,2 m/km.

FIGURA 8-6: EJEMPLOS DE HISTOGRAMAS DE MERLIN.

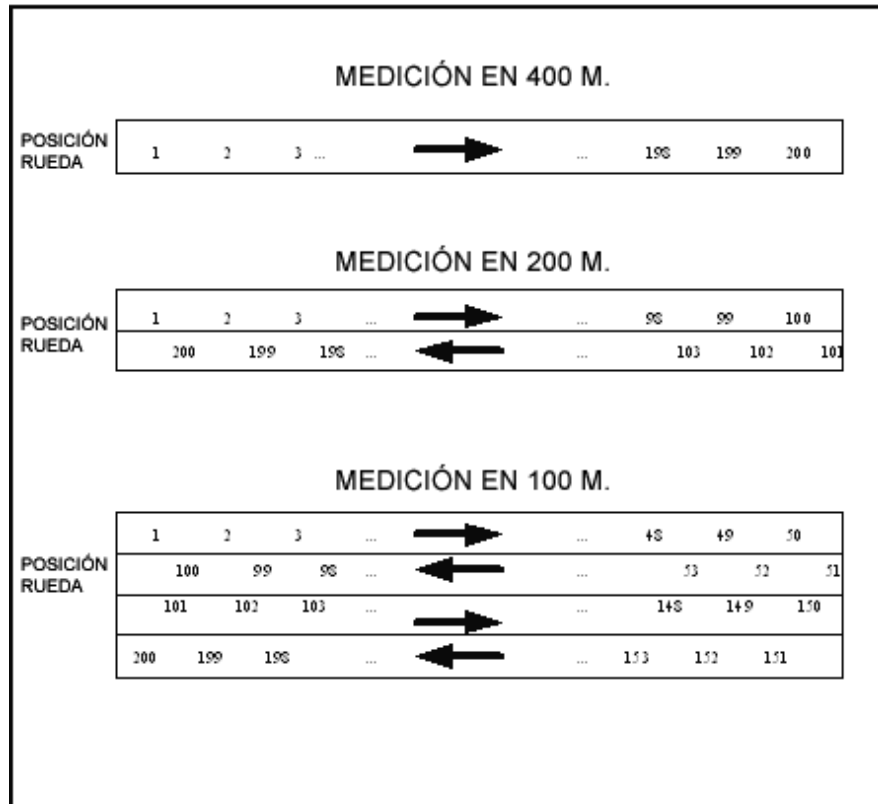


#### Medición de Tramos de Diferente Longitud

En la evaluación más simple, un ciclo de medición corresponde a 200 vueltas de rueda, en que el instrumento avanza en una misma dirección, pero por diferentes motivos es posible que se desee obtener una evaluación de la rugosidad para tramos de menor longitud. Para ello se establece procedimientos alternativos que permitan evaluar la rugosidad en tramos de 100 ó 200 metros.

Estos procedimientos consisten en invertir el sentido de avance del instrumento cada vez que se completa esa distancia, desfasando además, el punto inicial al invertir la marcha, de modo de obtener puntos de medición equidistantes y sin repetición. En la Figura 8-7 se presenta la secuencia y posicionamiento de los puntos de medición para tales evaluaciones. Es importante mencionar que las mediciones son realizadas sobre la misma huella, es decir, el instrumento recorre por donde mismo el tramo en los dos sentidos. En esta figura se intenta mostrar que para la medición en 200m. el desfase es de media vuelta de rueda, que se aplica al cambiar el sentido de avance. Para la medición en 100 m. el primer desfase es media vuelta de rueda, el segundo es de un cuarto de vuelta de rueda y el tercero es media vuelta de rueda. De esta manera se consiguen puntos de medición equidistantes.

FIGURA 8-7: SECUENCIA Y POSICIONAMIENTO PARA LECTURAS MERLIN EN TRAMOS DE DIFERENTE LONGITUD.



#### 8.4.2.1.4 Cálculo de la Rugosidad.

El cálculo de la rugosidad se realiza a partir del histograma obtenido con el instrumento. Se procede a hacer una marca hacia los extremos del histograma, en las posiciones que resultan de eliminar 10 mediciones a cada lado, aquellas que más se alejan del promedio. Estas marcas que se hacen en la base de las columnas pueden no resultar exactamente en la frontera entre ellas y en este caso se interpola. El espaciamiento o distancia entre estas dos marcas “D”, es una medida en milímetros y corresponde a la rugosidad en escala Merlín.

La interpolación en el interior de una columna corresponde a la proporción entre marcas eliminadas y la cantidad total de marcas en esa columna. Finalmente, la rugosidad en términos del IRI se determina usando las ecuaciones descritas a continuación:

##### a.) Rugosidad en Escala IRI.

Para pavimentos urbanos, tanto de hormigón como de asfalto, se emplea la siguiente ecuación de correlación:

$$IRI = 0.053 \cdot D \cdot \left( \frac{50}{D_0} \right) \quad (1)$$

Donde:

- IRI en m/km y D en mm.

- Válida para  $21 \text{ mm} < D < 196 \text{ mm}$  ( $1,1 < \text{IRI} < 10,4$ ).

El resultado se obtiene con un error estándar de 0,49 m/km en el cálculo del IRI, comparado con el medido con el perfilómetro óptico.

b.) Precisión de la Medición.

La principal causa de la imprecisión en el uso del Merlín, es que las medidas del IRI en una sección se obtienen a partir de una muestra de observaciones y están sujetas al error muestral aleatorio. Lo que puede hacerse para reducir este error es repetir más observaciones en la sección.

En el mismo sentido, el registro de medidas del Merlín se lleva con una precisión de lectura de 1 cm, lo que implica aceptar una aproximación de  $\pm 5 \text{ mm}$ . Por otra parte esa variación de 5 mm en la planilla de registro equivale a una variación de cota, en la rasante, de 0,5 mm (o de 1 mm si se utiliza el factor de ampliación 1:5 en vez del 1:10 normal, desplazando la sonda en el patín de apoyo).

El error posible de  $\pm 5 \text{ mm}$  en el registro implica, considerando las curvas de calibración descritas, un error en IRI de:

$$5 * 0,0532 = 0,27 \text{ [m/km]}.$$

El valor anterior puede considerarse un error máximo propio del método de registro, dado que supone que se han registrado las 200 medidas con el sesgo (error), en el sentido más desfavorable.

En cuanto a la resolución del registro, la planilla con papel milimetrado permite apreciar con absoluta seguridad lecturas de  $\pm 1 \text{ mm}$ . Este valor engloba las posibles variaciones en la posición del puntero debido a vibraciones del brazo o en la posición de lectura adoptada por el operador. En la escala de lectura normal (ampliación 1:10), dicha resolución corresponde a una variación de cota de 0,1 mm en la rasante.

c.) Calibración del Equipo.

Para efectos de evaluar las posibles variaciones individuales debido a tolerancias constructivas, así como para controlar regularmente la calibración del equipo, se utiliza el siguiente procedimiento:

- Colocar el Merlín en su posición normal de lectura, con su apoyo central descansando libremente, sobre una superficie plana. Las baldosas pulidas son un buen ejemplo de dicha superficie.
- Registrar la posición del puntero sobre la placa o pantalla, en que se ha fijado previamente una hoja de papel milimetrado. Esta posición se estima al mm. de precisión.
- Insertar una placa metálica de espesor conocido, bajo el apoyo central, sin desplazar el equipo, es decir, manteniendo inmóviles los apoyos delantero y trasero. Se recomienda usar un calibre de 5 mm.
- Registrar la nueva posición del puntero en la hoja de papel, con precisión de un milímetro.
- Medir la distancia  $D_0$  entre las posiciones registradas con y sin calibre. Esta distancia puede obtenerse directamente en el papel milimetrado, entre ambas marcas.

- Por razones de diseño el equipo registra un valor igual a 10 veces el espesor del calibre (en la posición normal de amplificación). Si se ha usado un calibre de 5 mm, la amplificación debería mostrar un valor  $D_0 = 50$  mm. Si el valor  $D_0$  obtenido es diferente, se corrige la medición de  $D$ , en la curva de correlación con el IRI, por un factor  $(10 \cdot \text{esp. calibre} / D_0)$ , de manera de incorporar la verdadera amplificación del brazo.

Por otro lado, si cuando se mide un pavimento muy rugoso, más de 10 lecturas resultaran en los extremos del rango permitido al movimiento del puntero, conviene cambiar la sonda del apoyo central a otra posición permitida. Esta segunda posición está al doble de distancia del pivote y reduce la amplificación mecánica del brazo de 10 a 5 veces, modificando a la mitad el ancho de la distribución. El valor de la lectura final  $D$  se corrige usando el factor de calibración  $(5 \cdot \text{esp. calibre} / D_0)$  que resulta del procedimiento descrito más arriba.

#### 8.4.2.2. Pérdida de Fricción.

##### 8.4.2.2.1 Definición.

La fricción de un pavimento es un parámetro que se relaciona directamente con la adherencia entre el neumático y la superficie, lo que se interpreta como la resistencia que entrega la superficie al deslizamiento de los neumáticos de un vehículo. Por esta razón, la fricción se considera como un parámetro fundamental para la seguridad vial. Para que el pavimento entregue la seguridad necesaria a los usuarios de las vías, es recomendable que exista en su superficie, un adecuado nivel de fricción, lo cual implica la existencia de un equilibrio o relación óptima entre la micro y macrotextura superficial del pavimento, ya que ambas, intervienen directamente en la adherencia neumático – superficie.

La Microtextura se relaciona directamente con la adherencia neumático-pavimento y corresponde a la textura superficial proporcionada por la superficie de los agregados pétreos, los cuales pueden presentar características de tipo áspero o pulida. En general, los áridos utilizados en el país por su mayor dureza presentan un menor desgaste o pulimiento.

La Macrotextura en cambio, se relaciona con la evacuación de agua y la percepción del ruido, se refiere a la textura superficial del pavimento, proveniente del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. En este caso, las propiedades de la Macrotextura están dadas por el tipo de mezcla que exista en la superficie. En el caso de mezclas drenantes o tratamientos superficiales, la macrotextura es del tipo grueso, mientras que en el caso de mezclas densas convencionales, la macrotextura es más bien fina.

La disminución o pérdida de fricción se produce como consecuencia de una disminución combinada, tanto de la macrotextura como de la microtextura superficial del pavimento, debido al progresivo e inevitable, desgaste y pulimiento de la superficie, producto, principalmente, del tránsito vehicular.

TABLA 8-1: RANGOS DE DIMENSIONES DE MICROTEXTURA, MACROTEXTURA Y MEGATEXTURA.

NOMBRE	RANGO DE DIMENSIONES	
	HORIZONTAL	VERTICAL
MICROTEXTURA	0-0,5mm	0-0,2mm
MACROTEXTURA	0,5-50mm	0,2-10mm
MEGATEXTURA	50-500mm	1-50mm

FIGURA 8-8 MICROTEXTURA Y MACROTEXTURA.

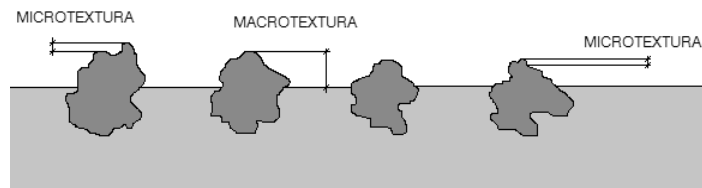


FIGURA 8-9: TIPOS DE TEXTURA

TIPO DE SUPERFICIE	CLASES DE TEXTURA	
	MACROTEXTURA	MICROTEXTURA
	GRUESA	ASPERA
	GRUESA	PULIDA
	FINA	ASPERA
	FINA	PULIDA



#### 8.4.2.2.2 Medida de la textura.

##### a.) Caracterización de la Macrotextura.

Se utilizan principalmente 2 procedimientos:

###### 1) Método volumétrico, Círculo de Arena.

Sirve para determinar medidas puntuales de la macrotextura (gruesa o fina). Consiste en extender sobre la superficie de un pavimento un volumen determinado de arena fina uniforme, de manera de formar un círculo que cubra la mayor área posible al enraizar los puntos más altos de los agregados. Con la medida del diámetro del círculo se determina el área, dividiendo el volumen de arena utilizada por el área cubierta, obteniendo la denominada “profundidad media de textura” (H). Mientras mayor es este valor, más rugosa es la macrotextura.

El ensayo es útil para valores de textura superiores a 0.25 mm y se lleva a cabo con el pavimento seco y limpio y en días sin viento. Cuando se trata de determinar el nivel de cumplimiento de la especificación de textura de un pavimento nuevo, se recomienda realizar el ensayo antes de la apertura al tráfico.

###### 2) Perfilómetro Láser.

Equipo capaz de entregar diversos parámetros, entre ellos se pueden nombrar: IRI, ahuellamiento, textura. Este tipo de equipo existe en gran variedad, pero difieren en la cantidad de láseres que llevan incorporados. Se pueden destacar los tipos remolque, implementados sobre un vehículo con la conexión computacional correspondiente. Suele actuar proyectando un rayo sobre un punto del pavimento y un receptor, situado en ángulo respecto al láser, registra la altura de ese punto sobre el pavimento.

##### b.) Caracterización de la Microtextura.

Se utilizan principalmente 3 métodos:

###### 1) Péndulo Británico.

El Péndulo Británico tiene por objeto obtener un Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.D.R) que, manteniendo una correlación con el coeficiente físico de rozamiento, valora las características antideslizantes de la superficie de un pavimento. Este ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas (provisto en su extremo de una zapata de goma), cuando la arista de la zapata roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar y en una longitud fija. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.

###### 2) Grip Tester.

El grip tester es un equipo que tiene por objeto medir la resistencia al deslizamiento de un pavimento. La medición la realiza mediante un neumático de goma liso normalizado, con rueda parcialmente bloqueada al 15 %, sobre el pavimento mojado (0,25 mm de película de agua). La carga y la resistencia al avance se miden continuamente y su cociente, el coeficiente de rozamiento, se procesa, guarda y visualiza en un computador portátil ubicado en el interior del vehículo remolcador.

### 3) Scrim.

El Scrim es un equipo de medición de tipo dinámico de rueda oblicua, destinado a medir la resistencia al deslizamiento en dirección transversal. El principio de medición de operación de la máquina se basa en la aplicación de una fuerza vertical constante sobre la rueda de ensayo (que está desviada 20° con respecto al eje longitudinal del Scrim). Se dispone de un chorro de agua controlado inmediatamente antes del frente de la rueda de ensayo. De este modo, se conforma una película de agua de espesor aproximadamente uniforme sobre la superficie del pavimento por la cual circula la rueda de medición. La rueda de medición gira libremente, de manera tal que pueda deslizarse por la superficie del pavimento en dirección contraria a la de la inyección del chorro de agua. La fuerza resistente al deslizamiento está relacionada con la resistencia al deslizamiento en condición húmeda, con lo cual el equipo calcula el coeficiente de fuerza lateral, como el cociente entre la fuerza perpendicular al plano de rotación de la rueda respecto de la carga vertical que actúa sobre ella.

El modelo actualizado del Scrim incluye una cámara láser que permite obtener la macrotextura en el mismo punto.

#### 8.4.2.2.3 Índice de Fricción Internacional (IFI).

Con el fin de correlacionar los numerosos equipos y métodos que se utilizan para evaluar la resistencia al deslizamiento y la macrotextura, se propuso un experimento, del cual se extrajeron constantes que permiten correlacionar los equipos y de este modo, llegar a la obtención de un índice que permita describir, cuantitativa e independientemente del equipo utilizado, las condiciones superficiales de cualquier pavimento.

Este Índice es el IFI (Índice de Fricción Internacional), el cual se expresa por dos números entre paréntesis separados por coma: (F, M).

Donde:

F: es un número comprendido entre cero y uno, que cuantifica la fricción del pavimento y es adimensional (el valor cero de fricción indica desplazamiento perfecto y el valor uno adherencia perfecta).

M: es un número positivo sin límites determinados, que cuantifica la macrotextura y se expresa en unidades de velocidad [Km/h].

a.) Procedimiento para calcular el IFI.

Para obtener el IFI se precisa, en primer lugar, realizar dos tipos de medidas sobre el pavimento: una de fricción (FR) y otra de textura (Tx). Una vez obtenidas las medidas de los equipos, se expresan en formato IFI de acuerdo con lo que sigue:

a.1) Características generales para la determinación del IFI.

El índice de Fricción Internacional (IFI) relaciona la fricción de un pavimento con la velocidad de deslizamiento de un vehículo sobre él. El modelo es de tipo exponencial y se describe en función de una constante ( $FR_{60}$ ) referida a la velocidad de deslizamiento de 60 km/h. La ecuación queda de la siguiente manera:

$$FR(S) = FR_{60} * e^{\frac{60-S}{S_p}}$$

La ecuación anterior, permite convertir la medida de fricción, FRS, realizada a cualquier velocidad (S) a la medida de la fricción a 60 km./h,  $FR_{60}$ . Por lo tanto, si ese pavimento se ensaya con otro equipo, se obtiene otra curva de fricción-deslizamiento, que puede estar próxima o alejada de la curva del primer equipo. Es por esto, que su campo de aplicación está restringido a la utilización del mismo equipo y a la “experiencia” acumulada en la interpretación de sus datos.

Para mejorar esta situación y estandarizar o armonizar las medidas de los equipos, se llevó a cabo el experimento internacional, y con sus resultados se estableció el procedimiento que permite ajustar las curvas de cada equipo alrededor de una curva de referencia o GoldenValues, GF(S), que representa la función fricción-velocidad de deslizamiento “real” de un pavimento.

$$GF(S) = GF_{60} * e^{\frac{60-S}{GS}}$$

El proceso de armonización permite establecer para cada equipo la fricción de referencia estimada a 60 km/hora,  $F_{60}$ , que presumiblemente se encuentra cerca del valor “real”,  $GF_{60}$ . Para ello, se mide primero la fricción con un equipo y velocidad determinado FRS, segundo se estima la fricción medida a 60 km./hora ( $FR_{60}$ ) y como tercer paso, se estima la fricción armonizada o de referencia ( $F_{60}$ ) por medio de la siguiente formula, donde A y B fueron determinados para los diferentes equipos utilizados para medir fricción:

$$F_{60} = A + B * FR_{60}$$

Durante la elaboración del modelo y a partir de los datos del experimento, se ha comprobado que la constante  $S_p$  de la velocidad de referencia se puede determinar mediante una regresión lineal, con una medida de la macrotextura, Tx:

$$S_p = a + b * Tx$$

Por definición, la pareja de valores ( $F_{60}$ ,  $S_p$ ) se designa como el IFI de un pavimento. Su conocimiento permite dibujar la curva de referencia estimada de fricción – velocidad de deslizamiento del pavimento.

$$F(S) = F_{60} * e^{\frac{60-S}{S_p}}$$

Finalmente, el IFI se puede describir como una escala de referencia que relaciona la fricción con la

velocidad de deslizamiento, modelo que sirve para estimar la constante de referencia de velocidad ( $S_p$ ) y la fricción a 60 Km./h ( $F_{60}$ ) de un pavimento. El par de valores ( $F_{60}$  y  $S_p$ ) expresan el IFI de un pavimento y permiten calcular el valor de fricción  $F(S)$ , a cualquier velocidad de deslizamiento ( $S$ ).

a.2) Pasos para el cálculo del IFI.

I) Determinación de la constante de velocidad,  $S_p$ .

Para llevar a cabo la determinación de la curva fricción-deslizamiento,  $FR(S)$ , se necesita una medida de la macrotextura,  $T_x$ , con cualquier sistema, como por ejemplo: mancha de arena, perfilómetro láser, entre otros. Con este valor se calcula  $S_p$  con la siguiente expresión:

$$S_p = a + b * T_x$$

Los valores a y b son los que se presentan a continuación en la Tabla 8-3:

TABLA 8-2. VALORES DE A Y B PARA ESTIMAR  $S_p$

PRUEBA	CONSTANTE	
	a	b
Círculo de arena	-11,5981	113,632
Perfilómetro Láser	25,8322	139,68

II) Determinación de la fricción de referencia,  $F_{60}$ .

a) Medición de la fricción con cualquier equipo, ejemplo: Péndulo, Scrim, Grip tester, etc.

i) Se establece el tipo de equipo empleado.

ii) Se determina la constante de velocidad del equipo,  $S$ . Esta constante adquiere distintos significados de acuerdo al tipo de equipo empleado:

$S$  = Velocidad del equipo durante el ensayo, para equipos con rueda bloqueada.

$S$  = Velocidad del equipo durante el ensayo multiplicada por el deslizamiento expresado en tanto por uno, para equipos con rueda parcialmente bloqueada.

$S$  = Velocidad del equipo durante el ensayo multiplicada por el seno del ángulo de deriva, para equipos con rueda oblicua.

b) Determinación de la constante  $FR_{60}$ .

Se determina el valor de la constante,  $FR_{60}$  a partir del valor de la medida realizada,  $FRS$ , mediante la expresión:

$$FR_{60} = FRS * e^{\frac{S-60}{Sp}}$$

c) Determinación de la fricción de referencia  $F_{60}$ . Se obtiene el valor a partir de la siguiente expresión:

$$F_{60} = A + B * FR_{60} + CTx_m$$

Los valores A, B y C se obtienen de la Tabla 8-4, la cual se muestra a continuación:

TABLA 8-3. CONSTANTE A, B Y C PARA DETERMINAR  $F_{60}$ 

Neumáticos lisos		Clave	S	A	B	C
Características	Equipo		Km./h	Cte.	Cte.	Cte.
Rueda Bloqueada	ASTM E 274 (USA)	B6	65	0.045	0.925	0
	LCPC Skid Trailer (F)	D6	60	0.002	1.008	0
Rueda Bloqueada Parcialmente	OSCAR a 86% (N)	B4E	52	-0.03	0.864	0
	OSCAR a 20% (N)	B4E	12	0.119	0.643	0
	Komatsu skid Trailer (J)	C5	10	0.042	0.849	0
	DWW Trailer (NL)	C6E	43	0.019	0.868	0
	Griptester (UK)	D8	9.4	0.082	0.910	0
Rueda Oblicua	Stradograph (DK)	C9	12.5	0.054	0.770	0
	Odoliograph Wallon (B)	C10	12.9	0.113	0.729	0
	Odoliograph CRR (B)	D1E	20.5	0.113	0.746	0
	Scrim Flemish (B)	C3B	20.5	0.049	0.967	0
	Scrim CEDEX (E)	C4	20.5	0.019	0.813	0
	Scrim MOPT (E)	C8	20.5	0.032	0.873	0
	Scrim SRM (D)	D2	20.5	0.017	0.850	0
	Scrim GEOCISA (E)	D3	20.5	0.021	0.928	0
	Scrim (F)	D4	20.5	0.006	0.862	0
	SUMMS (I)		20.5	0.002	0.987	0
	ScrimTEX (UK)	D5	17.1	0.033	0.872	0

TABLA 8-3. CONSTANTE A, B Y C PARA DETERMINAR  $F_{60}$

Equipos con neumáticos gravados		Clave	S	A	B	C
Características	Equipo		Km./h	Cte.	Cte.	Cte.
Rueda Bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	B1	60	0.022	0.050	0.082
	Skiddometer (CH)	B2	60	0.026	0.504	0.099
	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	B5	60	-	0.072	0.767
	ASTM E 274 (USA)	B6	65	-	0.023	0.607
	Equipo de Fricción (PL)	C1	60	-	0.025	0.807
Rueda Parcialmente Bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	B1	12	0.141	0.323	0.074
	Skiddometer	B2	12	0.03	0.918	-
	BV – 11 (S)	B3	12	0.04	0.856	0.016
	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	B5	12	0.02	0.867	-
Equipos con zapata						
Estáticos	DF Tester at 60 Km/h (J)	A13	60	-	0.034	0.771
	DF Tester at 20 km/h (J)	A13	20	0.081	0.723	0
	Péndulo de fricción BPT (USA)	A14	10	0.056	0.008	0
	Péndulo de fricción SRT (CH)	B7	10	0.044	0.01	0

Finalmente, el IFI obtenido se expresa como  $(F_{60} Sp)$ .

## SECCIÓN 9. CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN, ADOQUINES Y BALDOSAS

### ART. 9.1 GENERALIDADES

Estas Especificaciones Técnicas se refieren a las obras de conservación, reparación y reposición de pavimentos de hormigón, pavimentos de adoquines de piedra y de hormigón, de veredas de hormigón y baldosas.

### ART. 9.2 MÉTODOS APLICABLES A LAS OBRAS DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS

Es importante establecer una definición de las obras de conservación, de reparación o reposición de un pavimento. Estas obras se caracterizan por la no modificación de la estructura general del pavimento, sino que ésta se aprovecha en su integridad, mediante un trabajo de mejoramiento que le permite recuperar sus condiciones primitivas.

### ART. 9.3 REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS

Los trabajos referidos a la reposición de pavimentos se asocian a un reemplazo total o parcial de la estructura de pavimento, por considerarse ésta como inadecuada.

Se recomienda efectuar la reposición o reconstrucción de un pavimento, o de una sección completa de éste, en los siguientes casos:

- Cuando se manifieste una destrucción progresiva e irre recuperable, debido a que el pavimento no posee la capacidad resistente necesaria por defectos de construcción o por la acción del tránsito o del clima.
- Cuando siendo posible aplicar un sistema de mejoramiento, tal como un recubrimiento asfáltico, ello implique problemas geométricos con la rasante, sumideros o soleras.
- Cuando el pavimento haya cumplido la vida útil, lo que puede traducirse en un incremento del costo de conservación, lo que hace en consecuencia más conveniente, por razones económicas, proceder a la reposición del pavimento.
- Cuando las fallas hayan provenido de las capa de base, de sub base o de subrasante, las que no pueden ser corregidas mediante un simple trabajo de conservación.

La rehabilitación de un pavimento se efectúa de la misma forma que su construcción, es decir, ateniéndose a las Especificaciones correspondientes.

Sin embargo, se recomienda que:

- a.) Se determine la necesidad de reponer una o más capas constitutivas del pavimento, lo cual depende de un detenido análisis en el terreno acerca de las condiciones en que se encuentre cada una de ellas pudiendo, si es necesario, llegar hasta la reposición de la subrasante o reemplazo de la capa de mejoramiento del terreno natural.



- b.) En los pavimentos de hormigón pueda reponerse la losa completa.
- c.) La operación de reposición se ejecute, respetando las condiciones iniciales del proyecto referentes a especificaciones sobre los materiales y procedimientos constructivos, salvo en el caso que se haya efectuado un nuevo diseño.

#### **ART. 9.4 TIPOS DE FALLA Y TRABAJOS A EJECUTAR EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN**

Este artículo comprende recomendaciones de cómo identificar y clasificar los deterioros recomendando los procedimientos de cuantificación, reparación y conservación de pavimentos de hormigón. Se detalla para cada uno de los deterioros considerando, los siguientes seis aspectos:

- a.) Descripción de las características más relevantes para facilitar la identificación.
- b.) Esquemas explicativos que ayudan a la identificación.
- c.) Principales mecanismos que originan el deterioro.
- d.) Clasificación en tres niveles de severidad del deterioro: baja, media y alta, en función de sus características y condiciones.
- e.) Procedimientos de medición y cuantificación.
- f.) Métodos correctivos a aplicar.

Para los deterioros que se presentan en este apartado, se recomienda que se clasifiquen dentro de tres sub-grupos:

- Grietas y juntas dañadas
- Deterioros superficiales
- Otros deterioros

##### **9.4.1. GRIETAS Y JUNTAS DAÑADAS**

###### **9.4.1.1. Agrietamiento lineal (longitudinal, transversal).**

###### **9.4.1.1.1. Descripción.**

Estas grietas, que dividen la losa en dos o tres piezas, son causadas usualmente por una combinación de cargas repetitivas de tráfico, alabeo debido a gradientes térmicos y tensiones debido a contracciones o dilataciones (las losas divididas en cuatro o más piezas se cuentan como losas divididas (ver apartado 9.4.4.2).

Las grietas de baja severidad se relacionan frecuentemente con alabeos o contracciones y no se consideran un deterioro estructural mayor. Las grietas de severidad media o alta son usualmente

grietas de trabajo causadas por una combinación de cargas de tráfico y factores ambientales y se consideran un deterioro estructural mayor. Las grietas que tienen sólo unos pocos metros de largo y que no se extienden por toda la losa se contabilizan como grietas por contracción.

#### 9.4.1.1.2. Posibles Causas.

Grietas Longitudinales:

- Asentamiento de la base y/o subrasante.
- Losa de ancho excesivo.
- Carencia de la junta longitudinal.
- Mal posicionamiento de las barras de traspaso
- Aserrado tardío de la junta.

Grietas Transversales:

- Losas de longitud excesiva.
- Junta de contracción aserrada o formada tardíamente.
- Espesor de la losa insuficiente para soportar las solicitaciones.
- Retracción térmica que origina alabeos.

#### 9.4.1.1.3. Niveles de Severidad.

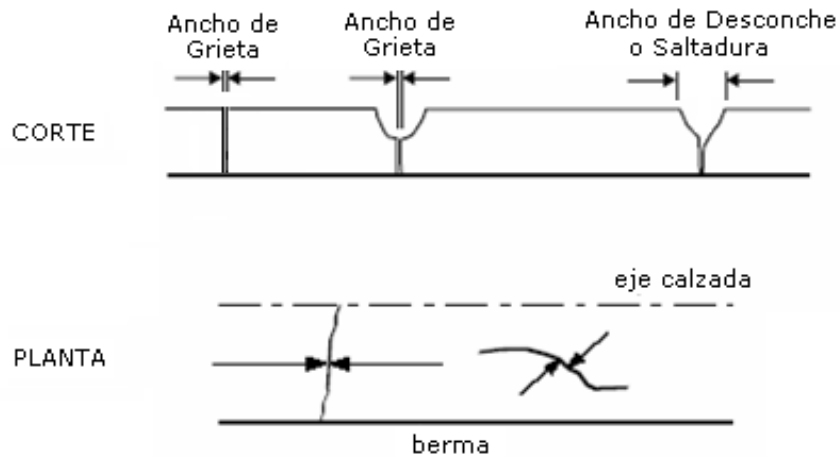
Grietas Longitudinales:

- Baja: Grietas de hasta 5 mm. o selladas, sin desconche y sin presencia de escalonamiento.
- Media: Grietas de más de 5 mm hasta 15 mm. y/o con desconche de ancho menor a 75 mm. y/o con escalonamiento de hasta 10 mm.
- Alta: Grietas de ancho mayor a 15 mm. y/o desconche mayor a 75 mm. y/o escalonamiento mayor a 10 mm-

#### 9.4.1.1.4. Medición:

Es recomendable que para efectos de la determinación del ancho de las grietas, la medición se haga según se indica en Figura 9-1:

FIGURA 9-1. MEDICIÓN DEL ANCHO DE GRIETAS.



Una vez que se ha definido la severidad, se recomienda registrar el deterioro como si ocurriera en una losa. Si en una sola grieta existe más de una severidad, se sugiere registrar la severidad mayor. Si existe más de una grieta dentro de una misma losa, cada una con diferentes niveles de severidad, se sugiere registrar cada una en forma separada. Si se tienen dos grietas de mediana severidad en una losa, se recomienda registrar la losa y se contabiliza como teniendo una grieta de alta severidad. Las losas divididas en cuatro o más piezas se contabilizan como losas divididas.

#### 9.4.1.1.5. Reparación.

Es recomendable realizar la reparación de acuerdo al daño existente, como se nombra a continuación:

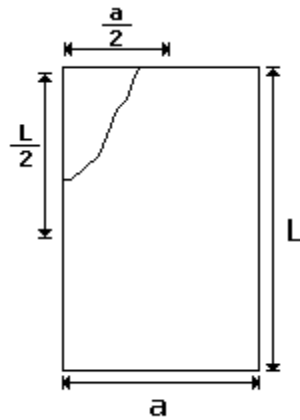
- Baja: No hacer nada.
- Media: Sellar grietas
- Alta: Sellar grietas; reparación espesor parcial.

#### 9.4.1.2. Quiebres de esquina.

##### 9.4.1.2.1. Descripción.

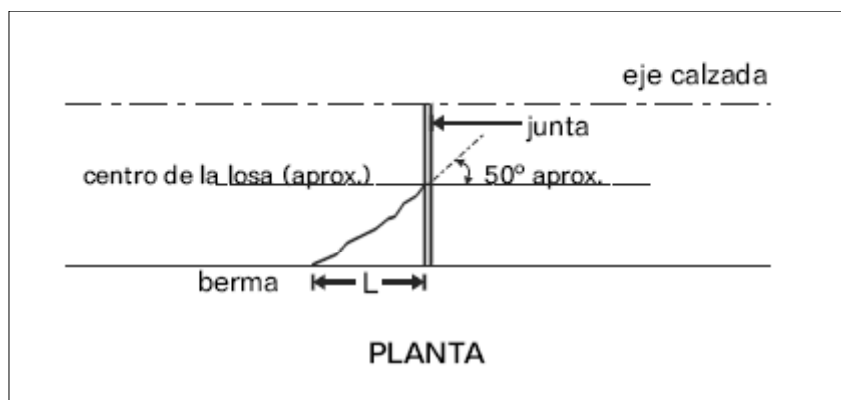
Un quiebre de esquina, corresponde a una grieta que intersecta a una junta en una distancia menor o igual a la mitad de la dimensión de la losa en cada lado, medido desde el borde de la losa. En la Figura 9-2 se detalla el quiebre.

FIGURA 9-2. QUIEBRES DE ESQUINA



Este deterioro, origina un trozo de losa de forma triangular, al interceptar las juntas transversal y longitudinal, formando un ángulo de aproximadamente 50 grados con la dirección del tránsito. La longitud de los lados del triángulo puede variar entre 300 mm y la mitad del ancho de la losa.

FIGURA 9-3. QUIEBRES DE ESQUINA



Los quiebres de esquina se producen usualmente por la repetición de cargas combinada con la pérdida de soporte por efectos de bombeo.

#### 9.4.1.2.2. Posibles Causas

- Falta de apoyo de la losa, originado por erosión de la base o alabeo térmico.
- Sobrecarga en las esquinas.
- Deficiente transmisión de cargas entre las juntas.
- Niveles de Severidad.
- Baja: Grieta de hasta 5 mm. o selladas, sin desconche y sin presencia de hundimiento.

- Media: Grietas de más de 5 mm hasta 15 mm. y/o con desconche de ancho menor a 75 mm. con o sin hundimiento de la esquina, pero menor a 20 mm.
- Alta: Grietas de ancho mayor a 15 mm. y/o desconche mayor a 75 mm. Con o sin escalonamiento mayor o igual a 20 mm.

#### 9.4.1.2.3. Medición.

Se recomienda que para medir la severidad de losa en particular por quiebre de esquina, se mida la grieta según el criterio definido en el apartado 9.4.2.1. Además, una losa con más de un quiebre de esquina de un tipo de severidad particular, se considera de una severidad mayor en un grado, al tipo de severidad medida en cada una de los quiebres. Ahora, si una losa presenta más de una grieta de esquina de diferentes tipos de severidad, al quiebre de severidad mayor, se le aumenta en un grado dicha severidad.

#### 9.4.1.2.4. Reparación.

- Bajo: No hacer nada.
- Media: Sellado de grietas; reparación espesor completo en caso que la grieta presente un deterioro mayor a medio espesor de losa.
- Alta: Reparación espesor completo.

En caso de existir uno o más quiebres de esquina de severidad media o alta combinadas con agrietamientos de otro tipo dentro de una misma losa, se recomienda hacer una evaluación técnica económica respecto de la ejecución de una reparación de espesor completo o reemplazo de losa.

#### 9.4.1.3. Sello de juntas dañado.

##### 9.4.1.3.1. Descripción.

El sellado de juntas dañado es cualquier condición que permite que las piedras o la tierra se acumulen en las juntas o permita la infiltración del agua en forma significativa. La acumulación de materiales incompresibles en la junta evita que las losas se expandan y puede producir levantamiento de la junta, fragmentaciones o saltaduras. La colocación de algún relleno de junta flexible puede garantizar la protección de los bordes de la losa, evitando la acumulación de material, previniendo la infiltración del agua y evitando el debilitamiento de la fundación de soporte.

Los ejemplos típicos de sellado de juntas dañado son:

- Expulsión del sellante de la junta.
- Crecimiento de raíces o flora en las juntas.
- Endurecimiento (oxidación) de la mezcla usada como sellante.
- Falta o ausencia de sellante en la junta.

#### 9.4.1.3.2. Posibles Causas.

- Endurecimiento: producto de mala calidad, envejecimiento.
- Desprendimiento de las paredes de la junta: producto de mala calidad, sello de juntas mal colocado, caja mal diseñada.
- Fluencia fuera de la caja: exceso de sello, producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente.
- Carencia: producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente.
- Incrustaciones de materias incompresibles

#### 9.4.1.3.3. Niveles de Severidad.

- Baja: El sello de la junta se encuentra generalmente en buenas condiciones en la sección. El sellante tiene un buen funcionamiento, sólo se visualiza daño menor. El daño se encuentra en menos de 10% de la junta.
- Media: El sello de la junta se encuentra en condiciones regulares en toda la sección, con uno o más de los ejemplos de daño presentes en un grado moderado. El daño se encuentra entre el 10 % y el 50 % en la junta.
- Alta: El sello de la junta está en malas condiciones generales en la sección, con uno o más de los ejemplos de daño presentes en un grado severo. El sellante necesita reemplazo inmediato. El daño se encuentra en más del 50 % de la junta.

#### 9.4.1.3.4. Medición.

Se recomienda que el sellante de juntas dañado no se contabilice losa por losa, pero se mida en base a la condición global del sellante en toda el área de la unidad de muestra.

#### 9.4.1.3.5. Reparación.

- Baja: No hacer nada
- Media: Sellado de Juntas.
- Alta: Sellado de Juntas.

#### 9.4.1.4. Juntas saltadas.

##### 9.4.1.4.1. Descripción.

Corresponde a la desintegración de las aristas de una junta con o sin pérdida de trozos y que puede afectar hasta unos 600 mm dentro de la losa, medidos como se indica en la Figura 9-4. Una junta saltada usualmente no se extiende verticalmente por la losa, pero intersecta la cara vertical de la junta en un ángulo.

#### 9.4.1.4.2. Posibles Causas.

- Infiltración de materiales incompresibles en la junta que evitan la expansión de las losas.
- Tamaño máximo del árido mayor que la profundidad de la junta.
- Acumulación de agua en la junta.

#### 9.4.1.4.3. Niveles de Severidad:

- Baja: Saltaduras de ancho menor a 75 mm con o sin pérdida de material, no parchados.
- Media: Saltadura de ancho entre 75 mm. y 150 mm con pérdida de material.
- Alta: Saltaduras de ancho mayor a 150 mm., con pérdida de material o quiebres en dos o más piezas, o que contienen material de parcha.

#### 9.4.1.4.4. Medición.

Se recomienda que si una junta saltada está en el borde de una losa, se contabilice como una losa con junta saltada. Si la saltadura está en más de un borde de la misma losa, se contabiliza cada una de las saltaduras de forma independiente con su respectivo nivel de severidad. La junta saltada también puede producirse en los bordes de dos losas adyacentes, si este es el caso, cada losa se cuenta como que tiene una junta saltada.

FIGURA 9-4. FORMA DE MEDIR EL ANCHO DE UNA JUNTA SALTADA.



#### 9.4.1.4.5. Reparación.

- Severidad baja: No hacer nada
- Severidad media: Reparación de espesor parcial, resellado de la Junta, reparación áreas saltadas.
- Severidad Alta: Reparación de espesor parcial; resellado de la Junta, reparación de áreas saltadas.

## 9.4.2. DETERIOROS SUPERFICIALES

### 9.4.2.1. Parches y cortes dañados.

#### 9.4.2.1.1. Descripción.

Un parche dañado corresponde a un área donde se ha removido el pavimento original y se reemplaza por uno nuevo, ya sea con un material similar o eventualmente diferente, el cual presenta algún grado de deterioro. Un corte dañado es un parche que ha reemplazado el pavimento original después que se interviene una instalación o de servicios bajo la losa, el cual presenta algún grado de deterioro.

#### 9.4.2.1.2. Posibles Causas.

- Retracción del hormigón del parche que lo despega del hormigón antiguo.
- Falta de adherencia de los materiales del pavimento existente y el material de reparación.
- Capacidad estructural insuficiente o mala construcción del pavimento del parche.

#### 9.4.2.1.3. Niveles de Severidad.

- Baja: El parche se encuentra funcionalmente bueno con pequeños deterioros o sin ellos.
- Media: El parche se encuentra moderadamente deteriorado. El material del parche puede ser retirado con considerable esfuerzo.
- Alta: El parche se encuentra gravemente deteriorado. El material del parche puede ser retirado con poco esfuerzo. La extensión del deterioro justifica reemplazos.

#### 9.4.2.1.4. Medición.

Si una sola losa tiene uno o más parches con el mismo nivel de severidad, se contabiliza como una losa que contiene ese deterioro. Si una sola losa tiene más de un nivel de severidad, se contabiliza como una losa con el mayor nivel de severidad presente.

Si la causa de deterioro del parche es más severa, sólo se contabiliza el deterioro original.

#### 9.4.2.1.5. Reparación

- Baja: No hacer nada.
- Media: No hacer nada; reemplazar el parche.
- Alta: Reemplazar el parche haciendo una reparación de espesor completo.

En caso de severidad alta, se puede hacer una evaluación técnico-económica entre una reparación de espesor completo y un reemplazo de losa.





#### 9.4.3.1.5. Reparación.

- Baja: No hacer nada.
- Media: Cepillado.
- Alta: Reemplazo de losa.

#### 9.4.3.2. Losa dividida.

##### 9.4.3.2.1. Descripción.

Se dice que se tiene una losa dividida cuando las grietas dividen una losa en cuatro o más partes. Este deterioro lo producen normalmente la sobrecarga y/o el soporte inadecuado de la losa. El alabeo puede contribuir al agrietamiento inicial en la losa y puede desencadenar una losa dividida. Si todas las piezas o grietas están contenidas en una grieta de esquina, no se está en presencia de losas divididas, sino que se está ante un deterioro clasificado como grieta de esquina.

##### 9.4.3.2.2. Posibles Causas.

Etapa avanzada de grietas de esquina, longitudinales o transversales, donde ha penetrado agua, por lo que también se da el bombeo de finos.

##### 9.4.3.2.3. Niveles de Severidad.

Los niveles de severidad se presentan en la Tabla siguiente:

TABLA 9-I. NIVELES DE SEVERIDAD, SEGÚN N° DE PIEZAS EN LA LOSA.

Nivel de Severidad de la mayoría de las grietas	N° de piezas en la losa agrietada		
	4 a 5	6 a 8	Más de 8
Baja	Baja	Baja	Media
Media	Media	Media	Alta
Alta	Media	Alta	Alta

##### 9.4.3.2.4. Medición.

Si la losa tiene severidad media o alta, no se registran más deterioros en la misma.

##### 9.4.3.2.5. Reparación.

- Baja: No hacer nada; sellar grietas de ancho mayor a 5 mm.
- Media: Reemplazar losa (Reparación de espesor completo).
- Alta: Reemplazar losa. (Reparación de espesor completo).

## ART. 9.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA REPARACIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS URBANOS DE HORMIGÓN

### 9.5.1. SELLADO DE JUNTAS Y GRIETAS

#### 9.5.1.1. Descripción y Alcances.

En este apartado se definen los trabajos para resellar juntas y sellar o resellar grietas existentes en pavimentos de hormigón.

Conservar selladas las juntas y grietas es fundamental para alcanzar la vida útil esperada para el pavimento. Sin embargo, para que un sello cumpla cabalmente el objetivo para el cual se coloca es necesario que juntas y grietas no trabajen, es decir, que no experimenten desplazamientos verticales significativos entre sí. Los desplazamientos se originan porque no existe un traspaso adecuado de las cargas entre las losas, el que se puede detectar, si no se cuenta con instrumental para ese objetivo, durante la mañana, antes que el sol caliente la superficie. En ese momento las caras se encuentran con su máxima separación, a veces sin tocarse, lo que se puede determinar introduciendo una delgada lámina de acero, y/o porque presentan los bordes saltados. Las juntas y grietas que presentan esa condición de estar trabajando, pueden repararse con el procedimiento descrito en el apartado 9.5.2, antes de proceder con un resellado.

Para los efectos de esta operación, las juntas y grietas pueden agruparse en función de su ancho promedio, forma y ubicación, de acuerdo a lo siguiente:

- Juntas de hasta 12 mm de ancho.
- Juntas de ancho entre 12 mm y 20 mm.
- Juntas de ancho entre 20 mm y 30 mm.
- Grietas de ancho entre 3 mm y 30 mm.
- Juntas y grietas de ancho superior a 30 mm.
- Juntas longitudinales de cualquier ancho.

#### 9.5.1.2. Materiales.

*Juntas de hasta 12 mm de ancho:* Se recomienda sellar con productos que tengan una deformación admisible entre el 20% y el 30%, y utilizar imprimantes y cordones de respaldo adecuados y compatibles con el sellante.

*Juntas de ancho entre 12 mm y 20 mm:* Se recomienda sellar con productos del tipo termoplástico aplicados en caliente, que tengan una deformación admisible entre el 10% y el 20%.

*Juntas de ancho entre 20 mm y 30 mm y grietas entre 3 mm y 30 mm de ancho y grietas longitudinales:* Se recomienda sellar con un producto tipo mástic asfáltico modificado con polímero que cumpla con lo siguiente:

- Penetración, 25°C, 100g, 5s, 10-1 mm: Máx. 60, según NCh 2340.Of1999.
- Ductilidad, 0°C, mm: Mín. 20, según NCh 2342.Of1999.
- Filler, porcentaje en peso: Máx. 25.
- Punto Ablandamiento, °C: Mín. 58, según NCh 2337.Of1998.

*Juntas y grietas de ancho superior a 30 mm:* Se recomienda sellar con una mezcla de arena-emulsión asfáltica con una dosis mínima de 18% de emulsión.y ajustar la arena a alguna de las granulometrías que se indican en la tabla siguiente:

TABLA 9-2. GRANULOMETRÍAS DE ARENA PARA EL SELLADO.

TAMIZ		PORCENTAJE EN PESO QUE PASA		
Mm	(ASTM)	A	B	C
12.5	(1/2")	—	—	100
10	(3/8")	100	100	85 - 100
5	(N° 4)	85 - 100	85 - 100	55 - 85
2.5	(N° 8)	80 -90	65 -90	35 - 65
0.63	(N° 30)	55 - 80	30 - 50	15 - 35
0.16	(N°100)	5 -15	5 -15	2 -10

### 9.5.1.3. Procedimientos de Trabajo.

#### a.) Limpieza.

Se debe verificar que:

Las juntas y grietas que contengan restos de sellos antiguos o materias extrañas, se limpien completa y cuidadosamente en toda su profundidad.

Para ello se use sierras, herramientas manuales u otros equipos adecuados que permitan remover el sello o relleno antiguo sin afectar al hormigón.

No se usen barretas, chuzos, equipos neumáticos de percusión u otras herramientas o elementos destinados a picar la junta o que puedan soltar o desprender trozos de hormigón.

En general, no se use solventes para remover el sello antiguo, salvo que se demuestre que el procedimiento no significa transportar los contaminantes hacia el interior de la junta, ni una impregnación mayor del hormigón con aceite u otros materiales.

Una vez removido el sello antiguo se proceda a repasar cuidadosamente barriendo con una escobilla de acero, que asegure la eliminación de cualquier material extraño o suelto.

La limpieza se termine con un soplado con aire comprimido con una presión mínima de 0,83 MPa, que elimine todo vestigio de material contaminante, incluso el polvo.

Antes de utilizar este equipo, se verifique que el aire expulsado esté completamente libre de aceite.

b.) Imprimación.

Se debe dar un especial cuidado a la imprimación, en los casos que ésta se use de modo de producir una perfecta adherencia entre el sellante y las paredes de las juntas o grietas.

c.) Sellado de Juntas de hasta 12 mm de Ancho.

Se debe verificar que:

Se haga la limpieza de grietas con aire comprimido.

Las juntas que carezcan de una caja en su parte superior se aserren para conformar una caja, mínimo de entre 8 mm y 12 mm de ancho y entre 22 y 35 mm de profundidad, según el tipo de sellante y respaldo por emplear.

El cordón o lámina a emplear como respaldo se ajuste a lo recomendado por el fabricante del material sellante, y sea ligeramente más ancho que la junta de manera que ajuste bien y quede perfectamente alineado a una profundidad constante y sin pliegues o curvaturas.

Cuando el fabricante del sellador recomiende usar imprimante, éste se coloque en forma pareja cubriendo las dos caras de la junta, utilizando procedimientos comprobados.

El sellante cubra el ancho de la caja y quede entre 4 y 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

d.) Sellado de Juntas de Ancho entre 12 mm y 20 mm.

Se debe verificar que:

Para estas juntas se siga un procedimiento similar al descrito para las juntas de hasta 12 mm de ancho, salvo que el ancho de la caja llega hasta 20 mm, y su profundidad la necesaria para colocar el cordón de respaldo o lámina, un sellante de mínimo 14 mm de profundidad y que queden 4 a 5 mm libres entre la cara superior del sellante y la superficie del pavimento.

Las juntas clasificadas en este grupo se sellen con productos termoplásticos y que el imprimante se ajuste a las recomendaciones del fabricante del sellante.

e.) Sellado de Juntas de Ancho entre 20 mm y 30 mm.

Se verificará que las juntas de ancho entre 20 mm y 30 mm se limpien con aire comprimido, se sellen con productos del tipo mástic asfáltico y que la profundidad del sello sea como mínimo de 15 mm, y quede de 4 a 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

f.) Sellado de Grietas de Ancho entre 3 mm y 30 mm.

Se debe verificar que:

Las grietas se limpien con aire comprimido y luego biselen los bordes mediante equipo esmerilador u otro aprobado, de manera de formar una cavidad de 6 mm de ancho mínimo y se sellen con productos tipo mástic asfáltico. El espesor del material sellante sea como mínimo de 15 mm, cualquiera fuere el ancho superficial de la grieta, y quede entre 4 y 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

g.) Sellado de Juntas y Grietas de Ancho Superior a 30 mm.

Se debe verificar que:

Las juntas y grietas de más de 30 mm de ancho se limpien con aire comprimido y se sellen con una mezcla de arena-emulsión asfáltica siempre que el ancho promedio no exceda los 100 mm, en cuyo caso, el sellado se hace con una mezcla en caliente. En ambos casos, el espesor del material sellante es como mínimo 20 mm.

El relleno quede de 4 a 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

Las paredes de las juntas y grietas se impriman con emulsión asfáltica diluída.

Se use emulsiones del tipo CSS-I que cumplan con lo indicado en la Sección 5 del Código de Normas, a las que se les agrega una parte igual de agua.

No imprimir una longitud mayor que aquélla que pueda sellarse en la jornada de trabajo.

h.) Sellado de Juntas Longitudinales de cualquier Ancho.

Se verificará que las juntas longitudinales se limpien con aire comprimido, y sellen con productos tipo mástic asfáltico.

i.) Preparación de las Mezclas de Sellado.

Se debe verificar que:

Salvo que las instrucciones del fabricante de un determinado producto indiquen otra cosa o cuando se utilice un imprimante en base a emulsiones asfálticas, las juntas y grietas se encuentren perfectamente secas antes de comenzar el sellado.

Sólo se proceda a sellar cuando la temperatura ambiental sea superior a 5°C e inferior a 30°C.

El mezclado o la preparación de mezclas, según corresponda, se haga con equipos mecánicos adecuados que aseguren productos homogéneos y de características constantes.

La mezcla y homogeneización de productos líquidos se haga con equipos de agitación mecánicas que no superen las 150 RPM y los calentadores dispongan de controles que permitan variaciones de la temperatura, incluso de ser necesario, se caliente en baño maría en aceite.

En ningún momento la temperatura máxima de colocación recomendada por el fabricante pueda sobrepasarse en más de 6 °C y no se coloque el sellante a una temperatura inferior en 6 °C respecto de la recomendada.

El sellado se ejecute con equipos mecánicos adecuados para asegurar un vaciado continuo y uniforme, que no deje espacios intermedios sin rellenar y que la operación además sea limpia, rellenando exclusivamente las áreas requeridas.

Cualquier material de sello que manche zonas del pavimento fuera de la grieta o junta, se retire.

## **9.5.2. REPARACIÓN DE ESPESOR COMPLETO**

### 9.5.2.1. Descripción y Alcances.

Esta operación tiene por objetivo reemplazar una parte deteriorada del pavimento de hormigón, la que sugiere como mínimo, abarcar el ancho de una losa y tener no menos de 0,5 m en el sentido longitudinal. En el caso que el reemplazo afecte un área delimitada por juntas de contracción, en ellas se pueden instalar barras de traspaso de cargas, de las características señaladas la Sección 4 del presente Código de Normas; en ese caso la longitud mínima por reponer es de 1,8 m.

Parte importante del éxito del procedimiento que se describe depende de dos consideraciones: que la zona por reemplazar se aisle completamente del resto del pavimento antes de comenzar a retirarla y que se asegure una transmisión de cargas adecuada cuando la zona por reemplazar queda delimitada por una o más juntas de contracción, tomando las medidas para que exista una unión monolítica entre el hormigón de reemplazo y el pavimento antiguo no afectado, en los demás casos.

### 9.5.2.2. Materiales.

Se debe verificar que los hormigones y demás materiales se ajusten en todos sus términos a lo estipulado en la Sección 4 del presente Código de Normas. La resistencia característica del hormigón a emplear es de 5 MPa a la flexotracción (H-40).

### 9.5.2.3. Procedimientos de Trabajo.

#### a.) Remoción del Pavimento.

Se debe verificar que:

Antes de comenzar con los trabajos se marque claramente el área por remover, respetando las dimensiones mínimas señaladas anteriormente.

La zona se aisle completamente del pavimento adyacente, así se minimizan los daños durante la operación de remoción.

En el sentido transversal se hagan dos cortes con sierra, hasta una profundidad equivalente a 1/4 del espesor de la losa y a unos 150 mm más afuera de la línea que delimita la zona por reemplazar. Enseguida, por las líneas interiores se corte con sierra en todo el espesor.

Por la junta longitudinal y los extremos laterales del pavimento, si éstos son también pavimentados, los cortes también se profundizan a todo el espesor; si los extremos laterales no son pavimentados se hace espacio para luego colocar un moldaje.

Una alternativa para lograr un comportamiento monolítico entre el pavimento antiguo y el pavimento nuevo, corresponde a aplicar una técnica de remoción del pavimento deteriorado, donde se ejecuta con un disco de corte, hasta un cuarto del espesor de losa y luego otro interior hasta la mitad del espesor de la losa. Luego, mediante martillos neumáticos se proceda a demoler y retirar el material deteriorado del pavimento en todo su espesor, dejando las paredes de la zona delimitada a reparar con una textura rugosa.

Cuando la zona dañada incluya una junta de contracción, se procure dejarla en el centro del área por remover y en todo caso, entre los extremos de las barras de acero de amarre entre losas antiguas y el nuevo hormigón, una vez completamente aislada el área por reemplazar, se proceda a retirarla, de preferencia levantándola en vez de demolerla.

Se recomienda hacer perforaciones para introducir pernos que permitan amarrar una cadena que se levante con maquinaria, como por ejemplo, un cargador frontal.

Cualquiera que sea el procedimiento para remover la zona deteriorada, se evite dañar a la sub-base y a las losas adyacentes.

#### b.) Preparación antes de hormigonar.

Se debe verificar que:

Si en el proceso de remoción se produce algún daño en la sub-base, ésta se repare de manera que quede perfectamente lisa, a la cota que corresponda y la compactación se haga hasta obtener una densidad mayor o igual al 95% de la D.M.C.S. del Proctor Modificado, (NCh 1534/2 Of.1979), o al 80% de la densidad relativa, (ASTM D 4253 Of.2000, y ASTM D 4254 Of.2000), según corresponda.

Las caras aserradas de las losas que presenten una superficie lisa se pican hasta hacerlas disparejas y rugosas.

Para ello, con herramientas livianas, incluso puede utilizarse martillos neumáticos livianos (máximo de 13,6 kg de peso), se pique para dejar una superficie inclinada entre el borde superior del corte inicial de 1/4 del espesor de la losa y el borde inferior del corte de todo el espesor.

La zona quede rugosa, irregular e inclinada de arriba hacia abajo.

En las caras de las losas antiguas, excluyendo la losa adyacente (junta longitudinal), se hagan perforaciones horizontales distanciadas cada 600 mm, exceptuando la más cercana al borde externo, se ubica a 500 mm de ese borde.

Las perforaciones tengan 300 mm de largo y el diámetro adecuado para empotrar barras de acero estriadas, de 12 mm de diámetro y 600 mm de longitud; su objetivo es amarrar las losas antiguas con el nuevo hormigón.

Para el empotramiento se use una lechada de cemento hidráulico con un aditivo expansor.

#### c.) Hormigonado.

Se debe verificar que:

Se use el mismo tipo de hormigón especificado para pavimentos en la Sección 4 del presente Código de Normas.

El hormigonado se haga contra las caras de las losas no removidas, por lo que previamente se asegure que se encuentran limpias de polvo u otra suciedad y húmedas.

Para obtener un parche de buena calidad es crítica la colocación y terminación que se le dé al hormigón, incluyendo el vibrado.

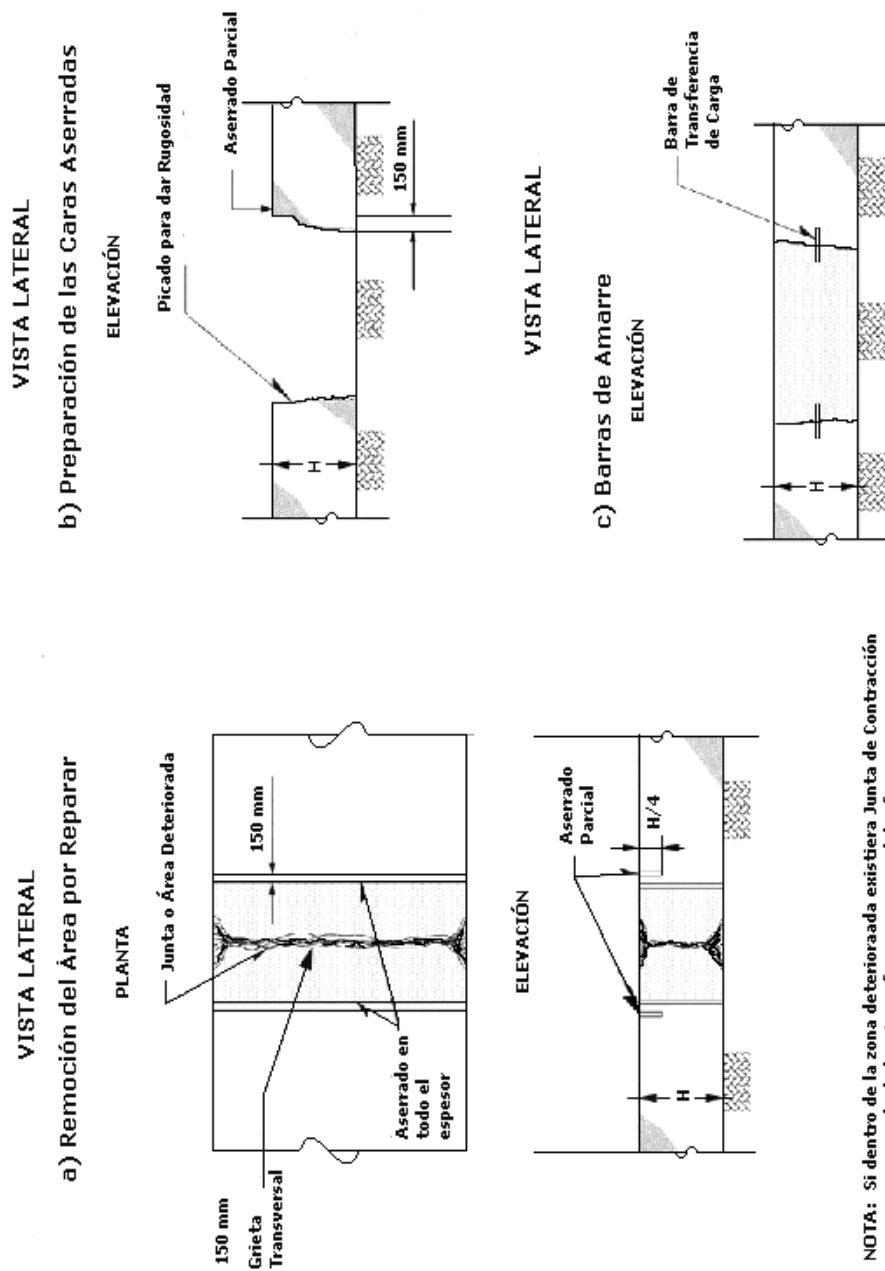


La nivelación se haga mediante una regla de una longitud igual a la de la zona reemplazada más 1m. La experiencia indica que los mejores resultados se logran colocando la cercha vibradora.

No olvidarse de dar la textura final a la superficie.

El curado del hormigón y el aserrado con su respectivo sello de juntas, si corresponde, se ajuste a lo señalado en la Sección 4 del presente Código de Normas.

FIGURA 9-6. REPARACIÓN EN TODO EL ESPESOR.



#### d.) Terminaciones.

Se debe verificar que antes de entregar el pavimento a uso, se proceda a reparar y limpiar la zona vecina y que cualquier daño se repare como parte de esta operación. Los materiales extraídos o sobrantes pueden trasladarse a botaderos autorizados, dejando el área de los trabajos completamente limpia.

#### 9.5.2.4. Recepción y Controles.

La obra sólo se recepcionará cuando se cumplan los requisitos señalados precedentemente en Terminaciones.

Se requiere que los hormigones tengan una resistencia característica a los 28 días de 5 MPa a la flexotracción o 40 MPa a la compresión, considerando una fracción defectuosa del 20%.

### 9.5.3. .REPARACIÓN DE ESPESOR PARCIAL

#### 9.5.3.1. Descripción y Alcances.

La operación se refiere a la reparación de juntas de pavimentos de hormigón, de contracción y longitudinales, que presentan saltaduras en las aristas que afectan sólo la parte superior del hormigón, entendiéndose como tales las que alcanzan hasta un tercio del espesor de la losa.

La saltadura de juntas crea una superficie muy irregular y acelera el deterioro general del pavimento, por lo que es necesario repararlas. La técnica que se incluye en esta operación es muy eficaz y más económica que las reparaciones en todo el espesor. Sin embargo, el éxito de su aplicación depende de las limitaciones y condicionantes que se describen en los procedimientos de trabajo.

#### 9.5.3.2. Materiales.

Se debe verificar que los hormigones se ajusten en todos sus términos a lo estipulado en la Sección 4.

Se requiere que el hormigón a utilizar tenga una resistencia característica de 5 MPa a la flexotracción (H-40)

La unión entre el hormigón antiguo y el nuevo puede sea monolítica, para lo cual se procede de acuerdo con las metodologías indicadas en el Anexo H, Juntas de Hormigonado, de la Norma NCh.170.Of.1985..

#### 9.5.3.3. Procedimientos de Trabajo.

##### a.) Remoción del área deteriorada.

Se debe verificar que:

Se establezca toda la zona deteriorada, la que muchas veces es efectivamente algo mayor que lo que aparenta desde la superficie, normalmente la profundidad que remueve varía entre 25 y 100 mm, dependiendo ello del nivel al cual se encuentre hormigón en buenas condiciones, lo que se puede constatar golpeando con un martillo o una barra de acero y/o, mejor aún, extrayendo un testigo del hormigón.

La auscultación con un martillo o una barra de acero se base en el tipo de sonido de la respuesta; si suena metálico significa que el hormigón se encuentra en buenas condiciones, si es apagado o suena a hueco, el hormigón se encuentra deteriorado. Para asegurarse que se remueve toda el área afectada, ésta se extiende hasta unos 80 a 100 mm dentro del hormigón en buenas condiciones.

La zona por remover se demarque formando un cuadrado o un rectángulo, nunca una figura irregular.

Enseguida, por las líneas demarcadas se corte con sierra todo el contorno hasta una profundidad de unos 50 mm.

La zona central se remueva empleando herramientas neumáticas livianas (de 6,8 [kg] es el peso adecuado, pudiendo utilizarse hasta una de 13,6 [kg] de peso, nunca se usen herramientas pesadas que puedan dañar el hormigón.

El fondo de la zona removida quede irregular y muy rugoso.

Si al excavar, lo que desde la superficie parece únicamente una saltadura de la junta y se detecte que el hormigón débil alcanza hasta una profundidad mayor que un tercio del espesor, la operación se suspenda y se proceda a ejecutar una Reparación en Todo el Espesor.

#### b.) Precauciones especiales.

Se recomienda que para asegurar el éxito de la reparación se tenga en consideración, fundamentalmente, las condicionantes y limitantes que se indican a continuación:

- Frecuentemente, cuando un parche de este tipo queda en contacto con una losa adyacente se originan nuevas saltaduras en la junta, debido a las tensiones que aquélla le transmite. Se puede colocar una faja delgada de plástico, una tablilla impregnada en asfalto u otro elemento que separe el hormigón antiguo del nuevo.
- Aún cuando una junta de contracción se puede aserrar después de reparada con esta técnica, lo más seguro es formarla mientras el hormigón se encuentra fresco.
- Puesto que normalmente los parches presentan una gran superficie en relación al volumen por rellenar, la humedad se pierde con rapidez, por lo que el sistema de curado puede ser el adecuado para esta situación.

#### c.) Hormigonado.

Antes de hormigonar, se debe preparar el área de contacto de manera de asegurar que se produzca una unión monolítica entre los hormigones y que la superficie del hormigón antiguo sea impermeable para evitar la infiltración del agua del hormigón nuevo al antiguo. La primera condición se logra siguiendo los procedimientos indicados en a.), en tanto que lo segundo se obtiene recubriendo la superficie de contacto con una lechada de relación 1:1 de agua: cemento hidráulico.

En general, se sugiere que el volumen de hormigón por colocar en estos parches sea pequeño, para que el hormigón se pueda preparar en el mismo lugar en betoneras pequeñas.

Se requiere colocar y luego vibrar el hormigón, de manera que la cantidad de hormigón por vaciar se calcule para que, finalmente, quede a nivel con el resto del pavimento.

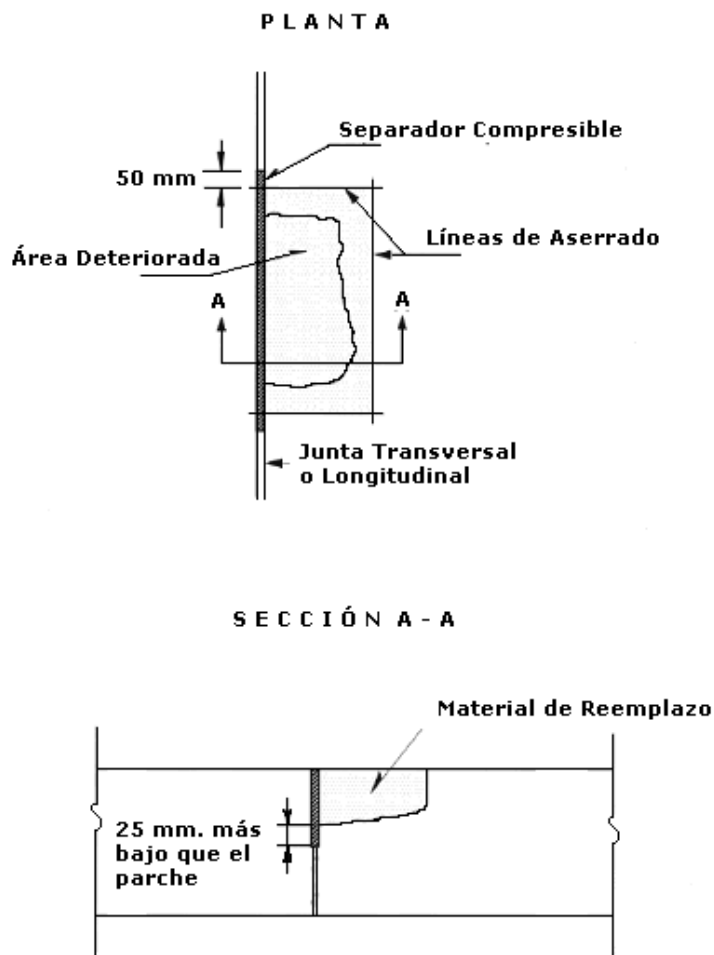
La terminación puede ser mediante un platachado que avance desde el centro del parche hacia las orillas y finalizando con una textura superficial similar a la del resto, de manera que el parche se mimetice.

9.5.3.4. Curado y sellado de juntas.

Tal como se ha indicado, un curado adecuado es extremadamente importante por lo que se requiere utilizar los mismos procedimientos indicados, según corresponda, en el apartado 9.5.2.3.c), "Reparación en Todo el Espesor".

Una vez que el parche haya adquirido suficiente resistencia, se procede al sellado de la junta reparada, ajustándose a lo dispuesto en la Sección 4.

FIGURA 9-7. REPARACIÓN DE ESPESOR PARCIAL.



#### **9.5.4. CEPILLADO DE LA SUPERFICIE**

##### 9.5.4.1. Descripción y Alcances.

Esta operación se refiere al cepillado superficial (diamond grinding) del pavimento de hormigón con el objetivo de reducir las irregularidades, lo que mejora la serviciabilidad y prolonga la vida útil. El procedimiento elimina sustancialmente las irregularidades creadas por el escalonamiento de juntas y por las deformaciones originadas por los gradientes térmicos y/o durante la construcción, así como también, aumenta la fricción entre neumáticos y pavimento. No aumenta la capacidad estructural del pavimento pero, al minimizar los efectos dinámicos de las cargas, permite que la estructura soporte un número mayor de sollicitaciones durante el resto de su vida útil, las que pueden aceptarse si no se ha cepillado.

##### 9.5.4.2. Materiales.

Esta operación no requiere materiales.

##### 9.5.4.3. Procedimientos de Trabajo.

###### a.) Equipos.

Se debe verificar que:

El cepillado se ejecute con una máquina autopropulsada especialmente diseñada para suavizar y dar una textura adecuada a la superficie.

La distancia entre ejes de apoyo del equipo no sea inferior a 3,60 m, y disponga de un eje tándem direccional al frente y de ruedas traseras adecuadas para circular sobre la superficie recién tratada y del eje de la cabeza cepilladora no esté a más de 0,90 m por delante del centro de las ruedas traseras.

El equipo cepille como mínimo 0,90 m de ancho por pasada, sin provocar saltaduras en los bordes de las juntas, grietas o en otros lugares y periódicamente se revise para asegurar que esté trabajando adecuadamente.

En especial se compruebe la redondez de las ruedas cortantes del equipo cepillador.

###### b.) Construcción.

Se debe verificar que:

El cepillado sólo se haga una vez terminados todos los trabajos de reparación de juntas, cambios de losas, reparación de grietas y otros, salvo el resellado de juntas y grietas que se hace con posterioridad.

Se provean los medios adecuados para remover los residuos que produce el cepillado, los que retiren antes que eventualmente lo haga el tránsito o el viento.

El tratamiento afecte como mínimo al 95% de la superficie y que quede perfectamente lisa y de apariencia uniforme, con una textura formada por ranuras longitudinales paralelas al borde del pavimento.

Los montes de las corrugaciones sean 2,4 y 8 mm más altos que los valles y las 175 y 188 ranuras por metro se repartan uniformemente.

El número de ranuras por metro para producir el efecto antes indicado dependa de las características del agregado de los hormigones y se usen ranurados cuyo espaciamiento se cumpla.

Cuando, por cualquier causa, sea necesario repasar el cepillado, se trate cada pista en todo su ancho.

### **9.5.5. REPARACIÓN DE ÁREAS SALTADAS**

#### **9.5.5.1. Descripción y Alcances.**

El trabajo comprende la reparación de áreas con saltaduras, existentes o potenciales, en especial en los bordes de juntas longitudinales o transversales, para lo cual se remueve el hormigón en un área delimitada hasta una determinada profundidad, menor que el espesor de la losa.

#### **9.5.5.2. Materiales.**

Se debe verificar que:

Como agente ligante entre el antiguo y el nuevo hormigón se use puentes de adherencia epóxicos, cuyas bondades sean previamente evaluadas cuidadosamente en el laboratorio, ajustándose estrictamente a las instrucciones del fabricante.

La superficie reparada sea entregada al tránsito en un máximo de 48 horas después de terminada la reparación

En consecuencia se diseñe un hormigón que cumpla con una resistencia a la compresión cúbica de no menos de 25 MPa a las 48 horas.

La reparación se entregue al tránsito cuando esta resistencia se haya logrado controlándola mediante muestras tomadas durante el hormigonado y conservadas en las mismas condiciones que el pavimento.

Para reconformar juntas se utilicen elementos comprensibles que se puedan insertar en el hormigón, tales como planchas de poliestireno expandido (tipo “plumavit”) u otros elementos similares.

#### **9.5.5.3. Procedimiento de Trabajo.**

Se debe verificar que:

Antes de iniciar los trabajos, se delimite las áreas a reparar para lo cual se recurra al procedimiento de golpear con un martillo de carpintero o una barra de acero, las zonas sospechosas de saltaduras potenciales.

Cuando el hormigón se encuentre en buen estado, se observe que el golpe produce un sonido metálico agudo, en tanto que cuando no lo esté, suene como hueco.

El límite del área a remover se demarque con pintura, unos 0,05 m más afuera de la zona detectada como defectuosa.

Las zonas a remover sean cuadradas o rectangulares y si quedan separadas por menos de 0.60 m se recomienda unir las.

Las áreas de hormigón defectuoso se remuevan mediante aserrado y cincelado.

El aserrado tenga una profundidad mínima de 50 mm y se efectúe por todo el perímetro de la zona a remover.

La remoción del hormigón dañado se ejecute mediante martillos neumáticos livianos (peso máximo de 13,6 kg) hasta una profundidad de mínimo 50 mm y no más de 1/3 a 1/2 del espesor de la losa.

Si durante el proceso de remoción del hormigón, se comprueba que el daño alcanza a más de un medio del espesor de la losa, el trabajo puede suspenderse, procediendo a evaluar la conveniencia de hacer una reparación de espesor completo.

La superficie que quede después de removido el hormigón dañado, se someta a un proceso de arenado o de chorro de agua a presión que elimine las partículas sueltas, manchas de aceite, polvo, residuos de asfalto y otros contaminantes.

El proceso se termine con un soplado con aire comprimido y se verifique que el aire no contenga aceites.

Cuando el parche o reparación incluye una junta, ésta se reconforme mediante la colocación del elemento compresible que la restituya y reconstruya la junta de las mismas dimensiones de la original.

El agente ligante o puente de adherencia epóxico, se extienda por toda el área removida, incluyendo las paredes, formando una capa delgada, pareja y se use brocha para la colocación de este ligante.

Como las cantidades a utilizar son, normalmente, muy pequeñas, las mezclas se hagan en el mismo lugar del trabajo, usando betoneras móviles u otras mezcladoras similares.

El hormigón del parche se coloque antes que el agente ligante se seque. Si ello ocurre, se remueve mediante un arenado adicional.

El hormigón para el relleno se vibre mediante vibradores de inmersión pequeños, de diámetro no mayor que 1", usados en ángulo de 45°.

El volumen a colocar exceda ligeramente lo necesario para llenar el hueco, para compensar lo que baje al consolidarlo.

El vibrador se mueva lentamente por toda el área, sin desplazar hormigón con él, ya que ello se traduce en segregación.

Para el alisado final se recomienda platachar desde el centro hacia los bordes, lo que permite zonas de contacto parejas y asegura una liga adecuada con el hormigón antiguo.

Inmediatamente terminado el proceso de afinado superficial se aplique una doble capa de membrana de curado en base a solventes, tal que se puedan aplicar sobre el agua de exudación sin que ello altere la velocidad ni calidad de la película protectora.

### **9.5.6. COLOCACIÓN DE BARRAS (REPOSICIÓN DE TRANSFERENCIA DE CARGAS EN JUNTAS Y GRIETAS DEL PAVIMENTO)**

#### 9.5.6.1. Descripción.

Este trabajo consiste en la reposición de la transferencia de cargas en las juntas y grietas transversales en pavimentos de hormigón, mediante la colocación de barras en aproximadamente el punto medio de la losa de hormigón, en los sitios indicados en los planos o según sea dirigido por el Ingeniero de Obra.

El trabajo consiste en el corte de ranuras, la colocación de las barras en las ranuras y el relleno de éstas con el material apropiado.

La transferencia de cargas a través de juntas y grietas transversales ocurre en las tres formas siguientes: el entrelazamiento del agregado, el apoyo de la base y mecanismos de transferencia de cargas como las barras. El pavimento de hormigón simple sin barras puede perder eficiencia en la transferencia de cargas del entrelazamiento del agregado cuando está expuesto a un gran volumen de camiones pesados durante épocas de tiempo frío en que las juntas tienden a abrirse.

La transferencia de cargas se mide por medio de la comparación entre la deflexión del extremo cargado de la losa, con el extremo sin carga de la losa siguiente. Cuando la eficiencia, medida por la deflexión, cae por debajo del 60%, la junta o grieta requiere la reposición de su transferencia de cargas. Las grietas transversales en la mitad de las losas de los pavimentos de hormigón simple pueden perder su capacidad de transferencia de cargas debido a un posible desgaste del entrelazamiento del agregado. Una deficiente transferencia de cargas puede acelerar el bombeo y el escalonamiento, que pueden conducir eventualmente a la rotura de esquinas y/o a la fractura de losas.

La colocación de tres barras de traspaso de cargas por cada huella de la pista de camiones, mejora la eficiencia del traspaso y brinda una extensión de varios años de vida útil. Las barras son colocadas, con una mezcla típica para este tipo de circunstancias, cerca del punto medio de la losa, en ranuras alineadas, aserradas con discos diamantados.

A continuación se hacen unas sugerencias para asegurar el éxito de la reposición del traspaso de cargas:

- a.) Para ser eficiente en relación al costo, la reposición se limita a las vías con tránsito de camiones o a otras áreas expuestas a una carga pesada frecuente.
- b.) La colocación de barras de traspaso se emplea para las juntas transversales en un pavimento sin barras y para las grietas transversales medias en las losas en todos los tipos de pavimento de hormigón con juntas.
- c.) Un pavimento con problemas serios de bombeo se estabiliza antes de la colocación de las barras.



#### 9.5.6.2. Materiales.

Se debe verificar que:

Se instalen barras de traspaso de cargas, de las características señaladas en la Sección 4, del presente Código de Normas, las cuales pueden tener 460 mm de largo y 1.5" de diámetro y estar cubiertas con epóxico incluyendo la superficie del extremo.

Las tapas y sillas de expansión sean no-metálicas y construidas para permitir una expansión de 1/4" en cada extremo de la barra y una separación de 1/2" por debajo de la barra.

El agente anti-adhesivo de las barras sea una capa delgada de base de cera, pre-aplicada por el proveedor de las barras o bien, una forma de aceite delgado aplicado a las barras antes de su instalación en las ranuras.

El re-formador de juntas sea un tablero de poliestireno expandido con un espesor de 1/4" a 3/8", debidamente perforado para la barra y conformado para sostenerla en su sitio durante la instalación.

Sea de silicona el sellador; para prevenir que la lechada se introduzca en la grieta abierta.

Se use adhesivos de alta resistencia como los normalmente empleados para reparaciones de espesor completo.

El agregado de los materiales de relleno del parche esté limpio y tener un Tamaño Máximo de 5/16".

#### 9.5.6.3. Procedimiento de Trabajo.

##### a.) Corte de las Ranuras.

Se debe verificar que:

Las ranuras se corten mediante sierra diamantada capaz de cortar un mínimo de tres ranuras simultáneamente, centradas sobre la junta o grieta. Se hagan dos o tres ranuras en cada senda de ruedas.

La distancia transversal desde la junta longitudinal al centro de la primera ranura pueda variar de 60 cm a 120 cm para asegurar el máximo soporte al borde libre sin interferir con las barras de amarre longitudinales.

Las barras queden alineadas con el eje central de la vía (sin importar su ángulo con la junta o grieta transversal), así como entre ellas, Las barras se centren sobre la junta o grieta con un mínimo de 6" de barra a cada lado de la grieta.

##### b.) Remoción del Hormigón.

Se debe verificar que el hormigón que quede en la ranura después del aserrado sea removido con martillos neumáticos con un peso no mayor de 30 libras. Los radios de cada extremo no necesitan ser removidos, pero se requiere de un espacio de 20 mm para la barra en el fondo de la ranura.

c.) Limpieza de la Ranura.

Se debe verificar que cualquier trozo de hormigón suelto o que pueda interferir con el alineamiento de las barras se remueva y todas las superficies de las paredes se limpien a presión para eliminar cualquier polvo o residuo mediante un paño o con las yemas de los dedos.

d.) Colocación de las barras.

Se debe verificar que:

Luego de la limpieza final, la grieta o junta se selle con silicona para evitar que el material de relleno se introduzca en ella.

Las sillas sean de modo tal que sus patas encajen cómodamente en los cortes de sierra y sostengan la barra en el centro de la ranura con un espacio de 12 mm alrededor de la barra para el material de relleno.

Cuando las barras están alineadas correctamente, estén en línea con la superficie del pavimento y paralelas al eje central.

Las tapas de expansión de cada extremo permitan una expansión del hormigón de 6 mm El tablero compresible de poliestireno expandido se ajustar cómodamente en las paredes de las ranuras y pueden tener una forma de T para sujetar en su lugar los materiales.

Se cuide el alineamiento del tablero de poliestireno expandido con la grieta, particularmente en grietas aleatorias.

El agente anti-adhesivo se aplique a mano sobre la barra entera (a menos que haya sido pre-aplicado por el proveedor), antes de que sea colocada en las sillas.

El derrame de anti-adhesivo en cualquier superficie de la ranura se limpie inmediatamente.

e.) Relleno de los parches.

Se debe verificar que el material de relleno se mezcle con un mezclador móvil o portátil y que se extienda con agregado limpio de Tamaño Máximo 8 mm hasta 100% por peso o según recomendaciones del fabricante.

Se sugiere hacer la mezcla de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y colocar en las ranuras, consolidándolo con un vibrador de inmersión de mano, el acabado de la superficie emparejando con el hormigón que la rodea.

#### 9.5.6.4. Apertura al Tránsito.

Se debe permitir la cura del material de relleno por un mínimo de dos horas antes de someter la reparación a carga de vehículos, según lo especifique el fabricante de la mezcla.

### **9.5.7. ASERRADO DE GRIETAS EN PAVIMENTOS EXISTENTES DE HORMIGÓN**

#### 9.5.7.1. Descripción.

Este trabajo consiste en el aserrado de juntas en pavimentos existentes de hormigón, cuando la remoción de tal pavimento existente está indicada.

#### 9.5.7.2. Materiales.

Se precisa una sierra mecánica con hoja de filo de diamante con potencia adecuada, enfriada por agua, o bien una rueda abrasiva, que corte una junta recta a la profundidad requerida. Para asegurar que se produce una junta satisfactoria, se puede requerir que se use una guía con la sierra.

#### 9.5.7.3. Procedimiento de Trabajo.

##### a.) Juntas.

Es recomendable que las juntas se aserren con precisión hasta las líneas diseñadas por el Ingeniero.

Para confirmar la remoción del pavimento hasta las líneas precisas y prevenir el astillado o la rotura de pavimentos que permanecen en su lugar, las juntas se aserran hasta una profundidad de por lo menos 50 mm o más si así fuera indicado por el Ingeniero.

Se sugiere hacer el aserrado con hojas de diamante y no en seco con hojas abrasivas.

##### b.) Retiro del pavimento.

Luego que las juntas han sido aserradas para aislar por completo el pavimento se puede comenzar a retirar el pavimento, protegiendo los bordes que permanecen en su lugar.

##### c.) Control de circulación.

Luego de que un pavimento se saca y hasta que el nuevo pavimento se construya en su lugar, no se aconseja que se transite, ya que se pueden dañar los bordes expuestos del pavimento que queda.

## **ART. 9.6 CONSERVACIÓN Y REPARACIÓN DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES**

### **9.6.1. ADOQUINES DE PIEDRA**

Se recolocan los adoquines en las zonas en que hayan perdido su primitiva disposición o trabazón o cuando hayan sido extraídos, si se trata de una reparación de pavimento.

Refiriéndose al procedimiento a seguir, se sugieren las siguientes operaciones:

a.) Extracción de los adoquines y del material de la base, de un área aproximadamente rectangular, que se circunscriba en la zona dañada.

- b.) Recompactación de la subrasante.
- c.) Reposición de la base con un material que cumpla con lo especificado en el capítulo correspondiente. Si la base es de hormigón, se recomienda emplear un hormigón H20 de 10 cm. de espesor.
- d.) Colocación de una capa de mortero, de dosificación 1:4 en volumen, de 3 cm. de espesor.
- e.) Colocación de los adoquines, siguiendo las directivas de la especificación de construcción de adoquines de piedra.

### **9.6.2. ADOQUINES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN**

Además de los trabajos de reparación que se ejecutan a estos pavimentos, se efectúa una conservación de las superficies más o menos extensas cuando se observen desnivelaciones que puedan afectar las condiciones de tránsito de vehículos o peatones o impedir el adecuado escurrimiento de las aguas superficiales.

El citado trabajo de conservación se desarrolla según el procedimiento que a continuación se sugiere:

- a.) Extracción de los adoquines en toda la zona comprometida, en un área ligeramente superior y de forma geométrica regular.
- b.) Extracción de la capa de arena de asentamiento de los adoquines.
- c.) Extracción de la sub base de la misma zona.
- d.) Recompactación de la subrasante.
- e.) Reposición del material de la sub base con un material que cumpla con las especificaciones indicadas en el capítulo correspondiente.
- f.) Compactación de la sub base.
- g.) Colocación de la capa de arena.
- h.) Colocación de los adoquines, siguiendo las operaciones de vibración que corresponda.

Las operaciones f) g) y h) se realizan de acuerdo a las especificaciones de construcción de pavimentos de adoquines prefabricados de hormigón.

## **ART. 9.7 CONSERVACIÓN Y REPARACIÓN DE VEREDAS DE HORMIGÓN Y BALDOSAS**

### **9.7.1. VEREDAS DE HORMIGÓN**

En la conservación de veredas de hormigón se distinguen dos casos: el primero se refiere a la recolocación de los pastelones prefabricados que han sido extraídos y en el segundo, a la reconstrucción de los pastelones en sitio.

En ambos casos, se requiere comprobar las condiciones que presenten la base y la subrasante. Si es necesario se procede a su reconstrucción y compactación. Para la colocación de los pastelones prefabricados se coloca sobre la base una delgada de mortero de 2 cm. de espesor sobre la cual se asientan los pastelones, golpeándolos ligeramente a fin de que queden perfectamente nivelados.

En el segundo caso se reconstruyen los pastelones en la forma descrita en las Especificaciones de Construcción de veredas de hormigón.

En ambos casos, se debe emplear hormigón H 30.

### **9.7.2. VEREDAS DE BALDOSAS.**

Para la conservación de las veredas de baldosas se debe emplear el siguiente procedimiento:

- a.) Extracción de los elementos sueltos o quebrados.
- b.) Extracción de las baldosas inmediatamente adyacentes al área dañada.
- c.) Extracción de la capa de asiento de mortero y si fuese necesario, del material de la base.
- d.) Reconstrucción y/o recompactación de la base.
- e.) Recolocación de la capa de mortero.
- f.) Colocación de baldosas, que cumplan con las especificaciones indicadas anteriormente y en las normas chilenas correspondientes, dejándolas perfectamente a nivel con las superficies adyacentes.
- g.) Colocación de la lechada de cemento.

Los puntos d), e), f) y g) se cumplen de acuerdo a las correspondientes especificaciones de construcción de veredas de baldosas.

Antes de ser entregadas al tránsito, las zonas reparadas se humedecen permanentemente, durante un período de 7 días, a menos que se utilice un método para ser entregadas al tránsito antes del tiempo estipulado.

## SECCIÓN 10. CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

### ART. 10.1 INTRODUCCIÓN

Los pavimentos son construídos con el fin de proporcionar una superficie de circulación confortable a los usuarios que transiten por ellos.

La reducción de los tiempos de circulación y la seguridad que entrega una vía a sus usuarios, ya sean peatones, conductores o pasajeros, es una característica necesaria y altamente valorada por las personas, por lo tanto, la conservación del buen estado de los pavimentos es imprescindible.

Es recomendable que los pavimentos asfálticos mantengan en el tiempo las siguientes características:

#### **10.1.1. SOPORTE DE LAS CARGAS PRODUCIDAS POR EL TRÁFICO**

La vía es la encargada de soportar las cargas que el tráfico ocasiona, sin que se produzcan desplazamientos en la superficie, base o sub-base del pavimento.

#### **10.1.2. PROTECCIÓN CONTRA EL AGUA**

Un exceso de agua en los materiales que componen la vía, ocasiona la lubricación de las partículas con la consiguiente pérdida de capacidad de soporte. Se aconseja tener especial cuidado al proyectar una vía, con el control de aguas, tanto de superficie como filtrantes. El asfalto puede sellar la superficie de la vía contra el exceso de agua fluyente, si el material granular está correctamente graduado.

#### **10.1.3. TEXTURA SUPERFICIAL ADECUADA**

Se recomienda que la capa de rodadura sea segura para la conducción de vehículos y lo suficientemente lisa para proporcionar una marcha confortable. La buena combinación del asfalto y las partículas granulares puede producir una excelente textura superficial de conducción segura y marcha suave.

#### **10.1.4. RESISTENCIA A LA OXIDACIÓN**

El sol, el viento y las variaciones de temperatura afectan a los materiales bituminosos, por lo tanto una buena elección de materiales y un buen plan de conservación pueden mantener la flexibilidad y propiedades ligantes del asfalto.

Debido que los pavimentos están constantemente sometidos a cargas de tráfico y a los efectos del clima, su desgaste es inminente y difícil de controlar, si no se aplican acciones de conservación o correctivas en los tiempos adecuados. A partir de esto, se hace necesario implementar acciones que permitan disminuir los efectos dañinos que dichos factores generan sobre las superficies pavimentadas.

En particular los pavimentos asfálticos se ven afectados en mayor grado por las cargas y el clima, ya que las propiedades mecánicas de este material se ven altamente influenciadas por la temperatura

a la cual trabaja. El asfalto es un material rígido a bajas temperaturas y flexible a temperaturas altas, pero los rangos son variables dependiendo del tipo de asfalto, es por esto que es sumamente difícil predecir su comportamiento bajo el efecto de un determinado clima. Si bien, existen pautas que indican qué tipo de asfalto puede tener mejor desempeño para cierto tipo de clima, su deterioro por efecto de este factor es inevitable, pero controlable.

En todos los materiales asfálticos existe un fenómeno conocido como envejecimiento, el cual es producto principalmente de la evaporación de ciertos componentes del asfalto y de la oxidación por el oxígeno del aire. La modificación química que sufre el ligante asfáltico se traduce en una alteración de la estructura del asfalto, aumentando su dureza, rigidez y fragilidad; y como consecuencia de esto, pierde la capacidad de ser un ligante adecuado para pavimentos asfálticos.

## **ART. 10.2 PRINCIPALES DETERIOROS DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**

### ***10.2.1. AGRIETAMIENTO DE LA CARPETA ASFÁLTICA***

#### **10.2.1.1. Agrietamiento por fatiga.**

##### **10.2.1.1.1. Descripción.**

El agrietamiento por fatiga, es un deterioro estructural que se caracteriza por tener un desarrollo progresivo. En su etapa inicial se manifiesta con algunas grietas longitudinales, las que en una etapa intermedia de desarrollo, se interconectan con otras grietas, formando de este modo, trozos de ángulos agudos y de dimensión máxima, menor a 0.3 [m]. Debido a su aspecto, este agrietamiento es conocido a su vez, como “Arietamiento piel de cocodrilo”.

Este deterioro se desarrolla principalmente, en los sectores del pavimento sobre los cuales se efectúa el traspaso de cargas del tránsito, es decir, en la huella de la rueda de los vehículos. Frecuentemente se puede observar que en las áreas donde se desarrollan las grietas por fatiga, se manifiesta paralelamente, el deterioro denominado Ahuellamiento. Otra característica usual de este deterioro, es que en una etapa avanzada de su desarrollo, el alto nivel de severidad que alcanza, provoca que se desprendan trozos de la carpeta de rodado, dando origen de este modo, a la formación de Baches.

##### **10.2.1.1.2. Causas.**

En el contexto de la ciencia de materiales, el término fatiga se define como “la disminución de la resistencia mecánica de los materiales, al someterlos a esfuerzos repetidos”. En este caso, los esfuerzos que producen la fatiga del pavimento, son principalmente los generados por las cargas del tráfico.

La estructura de un pavimento asfáltico urbano está compuesta de varias capas, y la fatiga puede desencadenarse por efectos de los esfuerzos repetidos, en cualquiera de éstas.

Los principales factores que favorecen el desarrollo de la fatiga son:

- Vehículos que exceden el nivel de carga para el cual fue diseñado el pavimento.
- Deficiencia en la capacidad de soporte de la estructura del pavimento. Esta puede ser consecuencia de una mala compactación y/o de espesores insuficientes de las capas. También la deficiencia de la estructura, puede ser generada por un inadecuado sistema de drenaje (aceras con jardines), ya que al penetrar el agua a las capas subyacentes, estas pierden capacidad de soporte.
- Mezclas asfálticas demasiado rígidas. Esto impide que la capa asfáltica pueda deformarse al recibir cargas, ya que al ser rígida se torna frágil. El exceso de rigidización puede ser consecuencia de un mal diseño de mezcla y/o del envejecimiento del asfalto.

a.) Niveles de severidad.

*Baja:* La gran mayoría de las fisuras del área deteriorada tienen un ancho que no supera los 3 [mm].

*Media:* Existe un patrón definido de agrietamiento; las grietas tienen un ancho comprendido entre 3 [mm] y 10 [mm].

*Alta:* Las mayoría de las grietas tienen un ancho mayor a 10 [mm].

b.) Medición.

Registrar el área de pavimento agrietada, clasificada según nivel de severidad. Medir o estimar si el largo total de grietas existentes en la superficie sobrepasa o no los 0,5 [ml] por [m<sup>2</sup>] de superficie.

c.) Reparación según nivel de severidad.

*Baja:* Aplicar Lechada asfáltica.

*Media:*

- Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es menor a 0,5 [ml/m<sup>2</sup>], sellar grietas.
- Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es mayor a 0,5 [ml/m<sup>2</sup>], aplicar sobre el área agrietada el procedimiento denominado Scrub Seal y sobre éste, una lechada asfáltica, un micropavimento o un microaglomerado en caliente.

*Alta:* Realizar reparación de espesor parcial o espesor completo, Fresado y Recapado, o reconstrucción de la carpeta asfáltica.

### 10.2.1.2. Agrietamiento en bloque.

#### 10.2.1.2.1. Descripción.

Es un tipo de agrietamiento del pavimento que se caracteriza por la interconexión de grietas longitudinales y trasversales (respecto al eje de la vía), en ángulos aproximadamente rectos. Esta interconexión genera bloques rectangulares de diversas dimensiones, generalmente en un rango entre 0.3 [m<sup>2</sup>] y 10 [m<sup>2</sup>].



#### 10.2.1.2.2. Causas.

Este deterioro se genera por la acción de los ciclos de variación de temperatura sobre la carpeta de asfalto.

Cuando hay un aumento de temperatura, el material asfáltico se dilata y por el contrario, cuando hay una disminución de ésta, la carpeta se contrae, lo que es posible gracias a las propiedades visco elásticas que provee el cemento asfáltico a la mezcla. Cuando el aumento o disminución de la temperatura sobrepasan la capacidad de deformación de la mezcla, ésta se agrieta, dando origen al agrietamiento en bloque.

Existe un factor que influye directamente sobre la capacidad de deformación de la mezcla asfáltica, es la rigidez que posea ésta, la cual aumenta por la influencia individual o conjunta de los siguientes factores:

- Envejecimiento del asfalto.
- Cementos asfálticos no adecuados (baja penetración).
- Mal diseño volumétrico de la mezcla. (baja proporción de cemento asfáltico en la mezcla).
- Aunque la causa de este agrietamiento no es la fatiga por cargas de tráfico, una vez producido el deterioro, estas cargas incrementan severamente el agrietamiento en bloque, al haber perdido la capa asfáltica, su continuidad física y resistente.

#### 10.2.1.2.3. Niveles de severidad.

*Baja:* La gran mayoría de las fisuras del área deteriorada tienen un ancho que no supera los 3 [mm].

*Media:* Existe un patrón definido de agrietamiento; las grietas tienen un ancho comprendido entre 3 [mm] y 10 [mm].

*Alta:* Las mayoría de las grietas tienen un ancho mayor a 10 [mm].

#### 10.2.1.2.4. Medición.

Registrar el área de pavimento agrietada, clasificada según nivel de severidad. Medir o estimar si el largo total de grietas existentes en la superficie sobrepasa o no los 0,5 [ml] por [m<sup>2</sup>] de superficie.

#### 10.2.1.2.5. Reparación según nivel de severidad.

*Baja:* Aplicar Lechada asfáltica.

*Media:*

- Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es menor a 0,5 [ml/m<sup>2</sup>], sellar grietas.
- Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es mayor a 0,5 [ml/m<sup>2</sup>], aplicar sobre el área agrietada el procedimiento denominado Scrub Seal y sobre éste, una lechada asfáltica o micropavimento o microaglomerado en caliente.

*Alta:* Realizar reparación de espesor parcial o espesor completo, Fresado y Recapado, o reconstrucción de la carpeta asfáltica.

### 10.2.1.3. Agrietamiento longitudinal.

#### 10.2.1.3.1. Descripción.

La grieta longitudinal es aquella que se extiende paralela al eje de la vía. Por lo general, se presenta en la huella de la rueda o en la junta longitudinal de construcción

#### 10.2.1.3.2. Causas.

Las principales causas que dan origen a este deterioro son: problemas estructurales, contracción térmica de la carpeta de asfalto y fallas asociadas a la construcción de la junta longitudinal del pavimento.

Los problemas estructurales asociados a esta falla se generan a partir de la mala compactación de las capas subyacentes y/o el mal sistema de drenaje. La compactación inadecuada durante el proceso de construcción del pavimento, se traduce en un asentamiento de las capas con el paso de los vehículos, lo que desencadena las grietas en la superficie. Por otra parte, un mal sistema de drenaje afecta las capas subyacentes del pavimento, lo que disminuye la resistencia al esfuerzo cortante e induce el agrietamiento.

La contracción térmica de la carpeta de asfalto, al igual que en las grietas transversales, se origina por la disminución excesiva y prolongada de la temperatura. Si la contracción sobrepasa la resistencia a la tensión del asfalto, éste comienza a fallar dando origen al agrietamiento longitudinal.

La junta longitudinal de construcción es un sector débil del pavimento, debido a la diferencia de densidad entre los bordes que la componen, por lo tanto es altamente probable que se agriete producto de la contracción térmica, por las cargas del tránsito, o incluso cuando esta junta queda ubicada justo en el paso de la rueda. Que la junta longitudinal sea una zona débil, es consecuencia del proceso constructivo. Cuando se extiende la primera franja de asfalto, el borde que queda para formar la futura junta de construcción, no está confinado, por lo tanto, la densidad de este sector tiende a ser menor que la del borde de la segunda franja puesta, ya que ésta se encuentra confinada por la primera franja.

#### 10.2.1.3.3. Niveles de severidad.

*Baja:* La gran mayoría de las fisuras del área deteriorada tienen un ancho que no supera los 3 [mm].

*Media:* Existe un patrón definido de agrietamiento; las grietas tienen un ancho comprendido entre 3 [mm] y 10 [mm].

*Alta:* Las mayoría de las grietas tienen un ancho mayor a 10 [mm].

#### 10.2.1.3.4. Medición.

Registrar el área de pavimento agrietada, clasificada según el nivel de severidad. Medir o estimar si el largo total de grietas existentes en la superficie sobrepasa o no, los 0,5 [m] por [m<sup>2</sup>] de superficie.

#### 10.2.1.3.5. Reparación.

##### Baja:

- Si las fisuras son escasas en la superficie, se sellan.
- Si la densidad de grietas en la superficie del pavimento es alta, aplicar lechada asfáltica.

##### Media:

- Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es menor a 0,5 [ml/m<sup>2</sup>], sellar grietas.
- Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es mayor a 0,5 [ml/m<sup>2</sup>], aplicar sobre el área agrietada el procedimiento denominado Scrub Seal y sobre éste, una lechada asfáltica, micropavimento o microaglomerado en caliente.

##### Alta:

- Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es menor a 0,5 [ml/m<sup>2</sup>], sellar grietas.
- Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es mayor a 0,5 [ml/m<sup>2</sup>], Realizar reparación de espesor parcial o espesor completo, Fresado y Recapado, o reconstrucción de la carpeta asfáltica.

#### 10.2.1.4. Agrietamiento transversal.

##### 10.2.1.4.1. Descripción.

La grieta transversal es aquella de longitud variable, que se extiende sobre el pavimento en un ángulo aproximadamente recto respecto al eje de la vía. Por lo general se presentan regularmente espaciadas.

Es común encontrarlas además, en sectores donde se han ejecutado juntas transversales de construcción.

##### 10.2.1.4.2. Causas.

Las principales causas asociadas a este deterioro son: los efectos de la temperatura sobre la carpeta asfáltica y la construcción deficiente de la junta.

Las altas variaciones de temperatura que ocurren en un día, provocan la dilatación y contracción de la carpeta de asfalto, por lo cual es posible que este efecto genere la fatiga térmica del material, debido al constante aumento y disminución de tensiones. Además, la disminución violenta y prolongada de la temperatura genera una gran contracción de la mezcla asfáltica, la cual, al superar la resistencia a la tensión que posee el asfalto, induce el agrietamiento transversal.

El envejecimiento del asfalto, los asfaltos de baja penetración o las mezclas mal diseñadas, influyen directamente sobre el aumento de rigidización de la carpeta asfáltica, por lo tanto, estos factores favorecen la formación de grietas transversales, ya que la carpeta disminuye su capacidad de deformarse ante las distintas tensiones térmicas que actúan sobre ella.

Por ultimo, como el sector de las juntas de construcción, es un área más débil que el pavimento (al igual que la junta longitudinal), los efectos de las tensiones térmicas sobre la carpeta de asfalto, desencadenan la formación de grietas justo sobre estos sectores que poseen menor resistencia a la tensión.

#### 10.2.1.4.3. Niveles de severidad.

*Baja:* La gran mayoría de las fisuras del área deteriorada tienen un ancho que no supera los 3 [mm].

*Media:* Existe un patrón definido de agrietamiento; las grietas tienen un ancho comprendido entre 3 [mm] y 10 [mm].

*Alta:* Las mayoría de las grietas tienen un ancho mayor a 10 [mm].

#### 10.2.1.4.4. Medición.

Registrar el área de pavimento agrietada, clasificada según el nivel de severidad. Medir o estimar si el largo total de grietas existentes en la superficie sobrepasa o no los 0,5 [ml] por [m<sup>2</sup>] de superficie.

#### 10.2.1.4.5. Reparación.

*Baja:*

- Si las fisuras son escasas en la superficie, se sellan.
- Si la densidad de grietas en la superficie del pavimento es alta, aplicar lechada asfáltica.

*Media:*

- Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es menor a 0,5 [ml/m<sup>2</sup>], sellar grietas.
- Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es mayor a 0,5 [ml/m<sup>2</sup>], aplicar sobre el área agrietada el procedimiento denominado Scrub Seal y sobre éste, una lechada asfáltica, micropavimento o microaglomerado en caliente.

*Alta:*

- Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es menor a 0,5 [ml/m<sup>2</sup>], sellar grietas.
- Si la longitud total promedio de agrietamiento en el área medida es mayor a 0,5 [ml/m<sup>2</sup>], realizar reparación de espesor parcial o espesor completo, Fresado y Recapado o reconstrucción de la carpeta asfáltica.

#### 10.2.1.5. Grietas por reflexión.

##### 10.2.1.5.1. Descripción.

Este agrietamiento es característico de pavimentos mixtos, es decir, de aquellos en que un antiguo y/o deteriorado pavimento de hormigón ha sido cubierto con una carpeta de asfalto, la que pasa a cumplir la función de carpeta de rodado. La distribución y longitud de las grietas en el asfalto dependen directamente de las grietas y juntas existentes en la carpeta subyacente de hormigón, ya que este deterioro se genera por la propagación ascendente, hacia la superficie asfáltica, de las juntas y grietas del pavimento de hormigón.

##### 10.2.1.5.2. Causas.

La principal causa de este deterioro son los movimientos verticales de la losa de hormigón subyacente a la carpeta de asfalto, ya que estos inducen la propagación ascendente de las grietas y juntas.

##### 10.2.1.5.3. Niveles de severidad.

*Baja:* La gran mayoría de las fisuras del área deteriorada tienen un ancho que no supera los 3 [mm].

*Media:* Existe un patrón definido de agrietamiento; las grietas tienen un ancho comprendido entre 3 [mm] y 10 [mm].

*Alta:* Las mayoría de las grietas tienen un ancho mayor a 10 [mm].

##### 10.2.1.5.4. Medición.

Registrar el área de pavimento agrietada, clasificada según nivel de severidad. Medir o estimar si el largo total de grietas existentes en la superficie sobrepasa o no los 0,5 [ml] por [m<sup>2</sup>] de superficie.

##### 10.2.1.5.5. Reparación.

*Baja:* No aplicar técnica de reparación.

*Media:* No aplicar técnica de reparación.

*Alta:* Reconstruir carpeta.

### 10.2.2. DESINTEGRACIÓN DE LA CARPETA ASFÁLTICA

#### 10.2.2.1. Baches.

##### 10.2.2.1.1. Descripción.

Los baches son cavidades en el pavimento, de aspecto redondeado, que se generan producto de la desintegración total o parcial de la carpeta de rodado. Estas cavidades pueden extenderse, en profundidad, hacia las capas subyacentes del pavimento.

Es común encontrarlos en zonas de transición entre un pavimento de asfalto y otro de hormigón y en zonas afectadas por un severo agrietamiento por fatiga.

#### 10.2.2.1.2. Causas.

La principal causa de la formación de baches es el efecto de la infiltración de agua hacia las capas inferiores de la estructura del pavimento. Al alojarse el agua en las capas subyacentes a la carpeta de rodado, ésta comienza a generar presiones, lo que combinado con las cargas de tráfico, provocan el desprendimiento de la carpeta de rodado. Es por esto, que el agrietamiento de la carpeta de rodado es el mejor escenario para el comienzo de la formación de baches.

#### 10.2.2.1.3. Niveles de severidad.

*Baja:* Profundidad del bache menor a 30 [mm].

*Media:* Profundidad del bache mayor o igual a 30 [mm] y menor o igual a 50 [mm].

*Alta:* Profundidad del bache mayor a 50 [mm].

#### 10.2.2.1.4. Medición.

Registrar el área de la superficie afectada por el bache, según el nivel de severidad.

#### 10.2.2.1.5. Reparación.

- Si el área de la superficie en análisis, presenta una baja cantidad de baches, se procede según la operación de bacheo superficial o bacheo profundo, según corresponda.
- Si el área de la superficie en estudio, presenta una cantidad considerable de baches, las técnicas apropiadas a aplicar son el Fresado y Recapado, o la reconstrucción de la carpeta, en toda el área afectada por baches.

### 10.2.2.2. Desgaste de la superficie.

#### 10.2.2.2.1. Descripción.

Este deterioro se reconoce por el desprendimiento del mortero asfáltico más superficial de la carpeta, dejando expuesto el agregado grueso que compone la mezcla asfáltica. Cuando esto ocurre, se pueden observar dos situaciones respecto al comportamiento del agregado grueso de la mezcla asfáltica:

- a.) Pulimiento del agregado: cuando el agregado es de baja tenacidad o posee una superficie lisa, se aprecia una pérdida de fricción de la superficie, producto del desgaste del agregado bajo las cargas repetitivas del tránsito.
- b.) Pérdida de agregado: cuando hay una escasa afinidad entre el mortero asfáltico y el árido grueso, este comienza a desprenderse de la superficie con las cargas del tránsito.

#### 10.2.2.2.2. Causas.

Las principales causas del desprendimiento del mortero asfáltico superficial son:

- Superficies envejecidas por la oxidación del asfalto.
- Bajo contenido de cemento asfáltico en la mezcla.
- Utilización de agregados desmenuzables en la mezcla.
- Falta de afinidad agregado-asfalto.
- Por presencia de agua e la mezcla.

#### 10.2.2.2.3. Niveles de severidad.

No existen niveles de severidad definidos para este deterioro. Se puede cuantificar el deterioro evaluando la fricción del pavimento.

#### 10.2.2.2.4. Medición.

Registrar el área de la superficie afectada por este deterioro.

#### 10.2.2.2.5. Reparación.

Una reparación efectiva, es aplicar un sello neblina para mejorar la adhesividad de los agregados con el mortero asfáltico.

Si el desgaste de la superficie afecta la fricción de la superficie de rodado, comprometiendo la seguridad vial, se puede recuperar la textura superficial aplicando un sello de agregados, una lechada asfáltica, un micropavimento o un microaglomerado discontinuo en caliente.

### **10.2.3. DEFORMACIONES DEL PAVIMENTO**

#### *10.2.3.1. Ahuellamiento.*

##### 10.2.3.1.1. Descripción.

El ahuellamiento es un deterioro que se origina en cualquiera de las capas de un pavimento asfáltico, pero que se manifiesta en la superficie de rodadura como una depresión longitudinal canalizada en la huella de circulación de los vehículos. En los pavimentos urbanos es frecuente que este deterioro se encuentre acompañado de agrietamiento por fatiga.

##### 10.2.3.1.2. Causas.

Las causas del ahuellamiento de la carpeta asfáltica, pueden originarse en las capas subyacentes y/o la carpeta asfáltica en sí.

*a.) Ahuellamiento en capas subyacentes (base, sub-base, subrasante).* El ahuellamiento puede producirse

por una inadecuada compactación de estas capas, ya que en los primeros años de servicio del pavimento, las capas subyacentes se comienzan a consolidar, con lo cual se produce un descenso de todas las capas superiores, dando origen así al ahuellamiento en la superficie de rodado. Otro factor que incide en este deterioro es la colocación de capas con una capacidad de soporte inadecuada para las cargas recibidas.

b.) *Ahuellamiento en Carpeta asfáltica.* Por lo descrito en el punto anterior, una mala compactación de la mezcla asfáltica también da origen a ahuellamiento. Pero el factor más destacado, es el comportamiento viscoelastoplástico del asfalto. Al recibir cargas, la carpeta asfáltica sufre una deformación elástica y una plástica, la deformación elástica se recupera en el tiempo, pero la deformación plástica se acumula con el paso de las cargas. Este fenómeno es más perceptible en zonas de tráfico lento o en zonas de altas temperaturas y en los primeros años de servicio del pavimento, en donde el envejecimiento del asfalto es escaso, careciendo éste de rigidez.

#### 10.2.3.1.3. Niveles de severidad.

*Baja:* Profundidad máxima del ahuellamiento menor a 20 [mm].

*Media:* Profundidad máxima del ahuellamiento mayor a 20 [mm] y menor a 40 [mm].

*Alta:* Profundidad máxima del ahuellamiento mayor a 40 [mm].

#### 10.2.3.1.4. Medición.

Se mide el área de la superficie del pavimento afectada por el ahuellamiento, clasificada según los niveles de severidad descritos anteriormente.

#### 10.2.3.1.5. Reparación.

*Baja:* Se puede aún no aplicar técnica de reparación o rellenar las huellas con mezcla asfáltica hasta nivelar con la superficie adyacente.

*Media:* Aplicar fresado y recapado.

*Alta:* Aplicar reparación de espesor parcial o completo.

#### 10.2.3.2. Ondulaciones.

##### 10.2.3.2.1. Descripción.

Deformación del perfil longitudinal con crestas y valles regularmente espaciados con ondas cortas (calamina), a veces acompañados de grietas semicirculares.

También puede presentarse como una onda individual que normalmente se produce en la zona de cambio de un pavimento flexible hacia otro rígido (en el sentido del tránsito).



#### 10.2.3.2.2. Causas.

Las principales causas asociadas a este deterioro, son las cargas de tráfico asociadas a los factores que contribuyen a la inestabilidad de la mezcla, como son:

- Utilización de áridos lisos, es decir, no chancados.
- Exceso de cemento asfáltico en la mezcla.
- Cemento asfáltico blando.
- Inadecuado riego de liga.

En el caso de ondulaciones extensivas las posibles causas son:

- Diseño inadecuado de la mezcla (uso de áridos redondeados, dosificación inadecuada del ligante, ligante blando, etc.).
- Estructura inadecuada para tramos con pendiente longitudinal muy pronunciada.
- Estructura inadecuada para una zona de frenado.
- En el caso de ondulaciones individuales la posible causa es:
- Mezcla asfáltica poco estable, con cemento asfáltico muy blando y/o espesor de la capa inadecuado.

#### 10.2.3.2.3. Niveles de severidad.

- En áreas con ondulaciones extensivas, se puede establecer el nivel de severidad según el incremento que experimenta la rugosidad (IRI) del área afectada.
- Para ondulaciones individuales, cualquier protuberancia mayor a 50 [mm] se considera de alta severidad.

#### 10.2.3.2.4. Medición.

- Para ondulaciones extensivas, medir el área de superficie afectada por las ondulaciones.
- Para ondulaciones individuales, comparar si la altura de la ondulación es mayor a 50 [mm].

#### 10.2.3.2.5. Reparación.

- En el caso de ondulación extensiva, fresar y recapar.
- En el caso de ondulaciones individuales, aplicar bache superficial o profundo según corresponda.

### 10.2.3.3. Deformación transversal.

#### 10.2.3.3.1. Descripción.

Las deformaciones transversales son cordones o protuberancias que afectan al perfil longitudinal del pavimento. Generalmente, se encuentran ubicadas a un costado del pavimento.

#### 10.2.3.3.2. Causas.

Las principales causas de este deterioro son las cargas del tránsito actuando sobre mezclas asfálticas poco estables. Estas mezclas se caracterizan por poseer:

- Áridos lisos, es decir, no chancados.
- Exceso de cemento asfáltico.
- Cemento asfáltico blando.
- Inadecuado riego de liga.

#### 10.2.3.3.3. Niveles de severidad.

*Baja:* Desnivel máximo entre el fondo de la huella y la cresta del levantamiento, menor a 20 [mm].

*Media:* Desevel máximo entre el fondo de la huella y la cresta del levantamiento, mayor a 20 [mm] y menor a 40 [mm].

*Alta:* Desevel máximo entre el fondo de la huella y la cresta del levantamiento, mayor a 40 [mm].

#### 10.2.3.3.4. Medición.

Medir el área superficial afectada por este deterioro.

#### 10.2.3.3.5. Reparación.

*Baja:* No se aplica técnica de reparación.

*Media:* Fresar y recapar.

*Alta:* Reparación de espesor parcial o completo.

### 10.2.4. OTROS DETERIOROS

#### 10.2.4.1. Parches deteriorados.

##### 10.2.4.1.1. Descripción.

Los parches son áreas generalmente cuadradas o rectangulares, que por encontrarse en malas condiciones o por trabajos relacionados con instalaciones públicas (alcantarillado, aguas lluvias, etc.) son removidas y reemplazadas por una carpeta asfáltica de características iguales o similares. Generalmente, el parche tiene un comportamiento inferior al pavimento original, lo que conlleva al deterioro de estos.

##### 10.2.4.1.2. Causas.

La principal causa de este deterioro es la insuficiencia estructural. La capacidad estructural del parche, generalmente, es inferior a las cargas de tráfico recibidas por éste, lo que puede ser consecuencia de un mal dimensionamiento, una compactación insuficiente, mezcla asfáltica mal diseñada, etc.

Cuando los parches son una reparación de un área deteriorada, es muy posible que se vuelvan a dañar si no se corrige la causa del deterioro (por ejemplo: infiltración de agua).

#### 10.2.4.1.3. Niveles de severidad.

*Baja:* Cualquiera sea el tipo de deterioro que presenta el parche, si es de baja severidad o el escalonamiento o asentamiento del perímetro es imperceptible.

*Media:* Cualquiera sea el tipo de deterioro que presenta el parche, si es de severidad media o el escalonamiento o asentamiento del perímetro no supera los 5 [mm].

*Alta:* Cualquiera sea el tipo de deterioro que presenta el parche, si es de alta severidad o el escalonamiento o asentamiento del perímetro es mayor que 5 [mm].

#### 10.2.4.1.4. Medición.

Medir la superficie afectada por este deterioro.

#### 10.2.4.1.5. Reparación.

*Baja:* Aplicar lechada asfáltica o sello de agregados.

*Media:* Aplicar fresado y recapado.

*Alta:* Aplicar reconstrucción de la carpeta asfáltica.

#### 10.2.4.2. Exudación.

##### 10.2.4.2.1. Descripción.

La exudación es la migración de ligante asfáltico hacia la superficie del pavimento y se reconoce por la presencia de una capa más oscura, brillante y pegajosa sobre ésta. Generalmente este defecto aparece en la huellas de los vehículos.

El principal problema asociado a este deterioro, es la pérdida de resistencia al deslizamiento, lo cual es una condición de riesgo para los conductores.

##### 10.2.4.2.2. Causas.

La exudación ocurre principalmente en épocas del año calurosas y las principales causas asociadas a este deterioro son:

- Exceso de cemento asfáltico en una o más de las capas del pavimento.
- Riego de imprimación o liga demasiado gruesa.
- Carencia de vacíos en la mezcla asfáltica.
- Además de las altas temperatura, el exceso de carga sobre el pavimento induce el afloramiento del ligante asfáltico.

#### 10.2.4.2.3. Niveles de severidad.

De preferencia, establecer niveles de severidad en función de la reducción que experimente la resistencia al deslizamiento.

Cuando se carece del instrumental para medir el coeficiente de fricción, se puede clasificar como sigue:

*Baja:* El área del pavimento (especialmente la huella) presenta un color ligeramente más oscuro que el resto de la superficie.

*Media:* La zona presenta un cambio de textura debido a la película superficial de asfalto que se ha formado.

*Alta:* En la zona afectada la superficie se presenta brillante, casi no puede verse el árido y con altas temperaturas ambientales, los neumáticos de los vehículos dejan marcas.

#### 10.2.4.2.4. Medición.

No se aplica método de medición.

#### 10.2.4.2.5. Reparación.

*Baja:* No aplicar técnica de reparación.

*Media y Alta:* fresar y recapar.

## ART. 10.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE TRABAJOS DE CONSERVACIÓN, REPARACIÓN Y REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

### 10.3.1. TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN

El deterioro de los pavimentos asfálticos, es un proceso progresivo e inevitable debido a la constante interacción de éstos con agentes climáticos y por la acción de esfuerzos mecánicos provenientes del tráfico. Por ello, es necesario aplicar sobre los pavimentos, técnicas de conservación, cuyo objetivo es restaurar las condiciones iniciales de la superficie de rodado, empleando agentes rejuvenecedores y sellando los primeros indicios de agrietamiento, producto del envejecimiento del asfalto, todo esto, previamente a la aparición de fallas puntuales.

Estos procedimientos contribuyen a la disminución de la tasa de deterioro del pavimento en el tiempo, extendiendo así su vida útil.

A continuación, se describen las distintas técnicas que se consideran para la conservación de pavimentos asfálticos.

### *10.3.1.1. Riego neblina.*

#### 10.3.1.1.1. Descripción.

Es una suave aplicación de una emulsión asfáltica de quiebre lento, diluída con agua sobre una superficie de pavimento existente. Ésta se diluye en variadas proporciones, hasta una parte de emulsión por cinco partes de agua, pero en la mayoría de los casos, se usa una dilución uno es a uno.

Un riego neblina es una valiosa ayuda de mantenimiento cuando se usa con este propósito. Se emplea para renovar superficies viejas de pavimentos que han perdido asfalto y se han convertido en quebradizas con la edad, para sellar pequeñas grietas y superficies porosas. Éste no es un sustituto de un sello de agregados o de una lechada asfáltica.

La cantidad justa de emulsión de baja viscosidad (diluida), fluye fácilmente dentro de la grieta y superficie porosa. También recubre partículas de agregado en la superficie.

Esta acción correctiva prolonga la vida del pavimento y puede demorar la necesidad de una mayor conservación o rehabilitación.

#### 10.3.1.1.2. Especificación Técnica.

Ver Art. 5.6 de la Sección 5.

### *10.3.1.2. Scrub seal.*

#### 10.3.1.2.1. Descripción.

Consiste en la aplicación de un riego neblina como el descrito anteriormente, pero con la incorporación de cepillos en la parte trasera del camión regador, que ayudan a la emulsión a penetrar en el fondo de las fisuras. Es un tratamiento superficial efectivo para pavimentos fisurados y oxidados. El propósito de esta técnica es sellar pequeñas grietas, fisuras, poros, etc., previamente a la aplicación de un sello superficial.

#### 10.3.1.2.2. Especificación Técnica.

Se recomienda que la especificación técnica de construcción del scrub seal, cumpla con lo dispuesto en el Artículo 5.6 de la Sección 5. "Riego Neblina". Se incorporan al equipo de extensión (camión regador), cepillos en la parte posterior, de manera que estos ayuden a la penetración de la emulsión en la superficie del pavimento a tratar.

### *10.3.1.3. Lechada Asfáltica y Micropavimentos.*

#### 10.3.1.3.1. Descripción.

La lechada es una mezcla de agregado fino bien graduado, filler mineral (si es necesario), asfalto emulsificado y agua, aplicado a un pavimento como un tratamiento superficial. Se usa en conservación y reparación de superficies de pavimentos asfálticos. Esta técnica no aumenta la resistencia estructural de una sección de pavimento. Se recomienda que cualquier pavimento que está funcional y estructuralmente débil en áreas localizadas, se repare antes de aplicar la lechada asfáltica.

Cuando la lechada asfáltica se aplica correctamente sobre la superficie de un pavimento, puede ser muy efectiva. La oportuna aplicación puede ayudar a reducir deterioros superficiales causados por la oxidación del asfalto y la rigidización del pavimento. Ésta sella las superficies agrietadas, detiene el envejecimiento de la mezcla, impermeabiliza las superficies porosas del aire y agua y mejora la resistencia al deslizamiento y apariencia del pavimento.

El micropavimento posee características similares a la lechada asfáltica, pero para su fabricación se utiliza una emulsión modificada y los agregados poseen mejores propiedades mecánicas que los de las lechadas.

#### 10.3.1.3.2. Especificación técnica.

Ver Art. 5.8 de la Sección 5.

#### 10.3.1.4. Sello de agregado.

##### 10.3.1.4.1. Descripción.

El sello de agregados se usa para proteger al pavimento de los efectos destructivos del sol y del agua. Otro beneficio secundario del sello de agregados es que aumenta la resistencia al deslizamiento de la superficie del pavimento. Esto ocurre porque la cobertura de agregado aumenta la textura superficial del pavimento.

Una capa simple de sello de agregado se usa como recubrimiento e impermeabilizante de la superficie existente. Consiste en la aplicación de spray de asfalto, cubierto inmediatamente de una capa de agregado de tamaño uniforme.

##### 10.3.1.4.2. Tratamientos.

Un tratamiento multicapas provee un recubrimiento e impermeabilización de mayor durabilidad que un tratamiento simple. Este consiste en dos o más alternativas de aplicación de asfalto y agregado.

##### 10.3.1.4.3. Especificación técnica.

Ver Art. 5.9 de la Sección 5.

### 10.3.2. TÉCNICAS DE REPARACIÓN

Siguiendo el proceso de deterioro de los pavimentos asfálticos, cuando se distinguen fallas en la superficie del pavimento, es necesario realizar trabajos de reparación o respuesta, cuyo objetivo es corregir los deterioros puntuales y mejorar dentro de lo posible, las condiciones de serviciabilidad y seguridad de conducción del pavimento.

A continuación se describen las distintas técnicas que se consideran para la reparación de pavimentos asfálticos.

### 10.3.2.1. Sellado de Grietas.

#### 10.3.2.1.1. Descripción.

La operación consiste en sellar con asfalto, algunos de los tipos de grietas que se producen en los pavimentos asfálticos, con el propósito de minimizar la infiltración de agua y la oxidación del asfalto. Este procedimiento es eficaz para tratar grietas puntuales en el pavimento que tengan severidad media o alta.

#### 10.3.2.1.2. Especificación técnica.

Se distinguen tres niveles de tratamiento para la ejecución de los trabajos, dependiendo del ancho que presente el espaciamiento existente entre las paredes de la cavidad a reparar, cualquiera sea la calidad de ésta (grietas y fisuras en el pavimento, pequeñas fisuras en sellados ejecutados anteriormente, etc.). Dichos niveles se explican más adelante.

En forma previa al relleno de las cavidades, se procede a la remoción y extracción de los materiales inadecuados o sueltos que haya en las juntas y grietas. Esta operación se ejecuta con herramientas manuales apropiadas para el caso, sin emplear técnicas de percusión que pueden dañar el resto del pavimento. El polvo y material suelto que quede, se elimina mediante un barrido enérgico y un soplado con aire comprimido, hasta dejar las paredes totalmente limpias y firmes en toda su profundidad.

Todo material resultante de la limpieza de las cavidades se retira de la calzada y se transporta hasta un botadero autorizado.

En caso de discrepancias respecto al ancho y consecuentemente respecto al tipo de procedimientos a utilizar, para ejecutar el relleno en cierto sector, la Inspección Técnica o el Profesional Responsable, determina en definitiva la faena que se efectúe.

Se recomienda que una vez ejecutado el relleno de una cavidad, el nivel superior del sellado no exceda la cota del pavimento adyacente, más allá de un rango de tolerancia que se fija de acuerdo al tipo de calzada.

#### 10.3.2.1.3. Grietas con ancho comprendido entre 3[mm] y 20 [mm].

Cuando la grieta tenga un ancho entre 3[mm] y 20 [mm], se recomienda emplear como material sellante un mastic asfáltico que cumpla como mínimo las especificaciones de la Tabla 10-1.

El material de sellado se trabaja a la temperatura recomendada por el fabricante del producto asfáltico, es aconsejable que éste rellene completamente la cavidad, en el espesor que sea necesario.

TABLA 10-1: ESPECIFICACIONES PARA EL MATERIAL SELLANTE

Penetración a 25° C	= máx. 60
Ductilidad a 0°C	=min. 2 cm.
Punto de ablandamiento	= min. 59°C
Filler	= máx.25%

## 10.3.2.1.4. Grietas con ancho comprendido entre 20 [mm] y 70 [mm].

Cuando la juntura o la grieta tenga un ancho superior a 2 cm., el tipo de relleno a utilizar es una mezcla arena-asfalto, tipo lechada asfáltica, utilizando como material asfáltico una emulsión tipo CSS-I, CSS-1h o SS-1h.

Se recomienda que la arena se ajuste a una de las bandas granulométricas que se presentan en la Tabla 10-2, o bien, puede corresponder a una de las bandas indicadas en la Tabla 5-18: "Áridos para lechadas asfálticas". La dosificación definitiva es efectuada por un laboratorio autorizado.

TABLA 10-2: BANDAS GRANULOMÉTRICAS

TAMIZ		PORCENTAJE QUE (PASA EN PESO) :	
		Banda tipo A	Banda tipo B
10 mm.	( 3/8 ")	100	100
5 mm.	( N° 4)	85 - 100	85 - 100
2.5 mm	( N° 8)	80 - 95	65 - 90
0.63 mm.	( N° 30)	55 - 80	30 - 50
0.16 mm	( N° 100)	4 - 14	5 - 15

Después de aplicar en las paredes de la cavidad, un riego de liga con emulsión asfáltica diluída, en proporción 1:1, se coloca una mezcla bituminosa para el relleno, evitando cualquier tipo de contaminación. La mezcla se compacta mediante algún tipo de herramienta manual, que puede ser un pisón o varilla metálica.

## 10.3.2.1.5. Cavidades de ancho superior a 7 cm.

Cuando la juntura o grieta tenga un ancho mayor a 7 cm., se aplica como relleno, una mezcla asfáltica que puede ser en caliente o en frío.

Se recomienda que el material asfáltico cumpla con las especificaciones del apartado 5.2.3. del presente Código. y que los áridos cumplan con las especificaciones del Art. 5.10. para mezclas en frío y Art. 5.11 para mezclas en caliente.



Previamente, se aplica en las paredes de la grieta, un riego de liga con emulsión diluida, en proporción 1:1. La mezcla se compacta mediante algún tipo de herramienta manual, que puede ser un pisón o varilla metálica, de acuerdo al ancho de la cavidad.

#### 10.3.2.2. Bacheo Superficial.

##### 10.3.2.2.1. Descripción.

La operación comprende la reparación de baches y el reemplazo de áreas puntuales del pavimento que se encuentren deterioradas, siempre que afecten exclusivamente a la carpeta asfáltica, encontrándose en buenas condiciones la base granular y demás capas de suelos.

Es importante mencionar que antes de optar por esta alternativa, se consideren los efectos negativos que tiene ésta en el IRI o Serviciabilidad del pavimento y, por consiguiente, en el nivel de servicio y la vida útil remanente de éste.

Los trabajos que se especifican pueden realizarse, ya sea mediante procedimientos fundamentalmente manuales o mediante sistemas mecanizados.

##### 10.3.2.2.2. Especificación técnica.

###### a.) Materiales.

Se verificará que:

Cuando la mezcla de reemplazo se apoye sobre una base granular, ésta se imprima según el procedimiento descrito en el Art. 5.4.

Cuando la mezcla se coloque apoyándose sobre una capa asfáltica y cuando se utilicen medios mecánicos para el bacheo, se imprima la superficie según el procedimiento descrito en el Art. 5.4.

En la reparación de pavimentos de concreto asfáltico en caliente, se usen de preferencia, mezclas asfálticas en caliente, que cumplan con la banda granulométrica IV-12 de la Tabla 5-39 presentada en la Sección 5.

La dosificación se ajuste a lo señalado en el Art. 5.11, Mezclas Asfálticas en Caliente.

En la reparación de pavimentos constituídos por mezclas en frío, se ejecute un bacheo mecanizado, el cual se puede realizar con una mezcla en frío, de diseño propuesto por el fabricante y que su empleo sea adecuado.

###### b.) Procedimientos de Trabajo.

###### - Bacheo manual.

Se entenderá como bacheo manual, el procedimiento tradicional que consiste en la remoción manual de la zona deteriorada, la limpieza de las paredes resultantes para posteriormente colocar un imprimante o un riego de liga, según corresponda, para finalizar con la colocación de una mezcla asfáltica.

- *Remoción del área deteriorada.*

*Se verificará que:*

Primero se delimite el área por remover, demarcándola con pintura, de forma rectangular o cuadrada, comprendiendo toda la zona deteriorada que presente fallas o un bache e incluya, aproximadamente, unos 300 mm de pavimento en buenas condiciones.

Las mezclas asfálticas se corten de manera que las paredes queden verticales. Para ello se usan sierras, de preferencia, aún cuando también pueden emplearse taladros.

La remoción alcance hasta una profundidad en que las mezclas no presenten signos de agrietamientos o fisuras y en el caso de baches, alcancen como mínimo hasta el punto más profundo de él.

Se tenga especial cuidado de no dañar la base granular existente bajo las capas asfálticas.

- *Relleno.*

*Se debe verificar que:*

Las paredes y el fondo de la zona en que se hace la remoción, se limpien mediante un barrido enérgico que elimine todas las partículas sueltas (de preferencia mediante soplado) y retire el polvo.

Las paredes queden firmes y perfectamente limpias.

La superficie se recubra con ligante (riego de liga o imprimación según corresponda), para lo cual se utilizan escobillones u otros elementos similares que permitan esparcirlo uniformemente (normalmente la dosificación está comprendida entre 1,3 y 2,4 l/m<sup>2</sup>).

Antes de colocar la mezcla asfáltica de relleno, se verifique que la emulsión de la liga haya quebrado, o que la imprimación haya penetrado, según lo especificado.

La mezcla asfáltica se extienda y nivele mediante rastrillos, colocando la cantidad adecuada para que sobresalga unos 6 mm sobre el pavimento circundante y en los extremos coincida con las líneas de corte de la zona.

La mezcla se deje con paredes verticales y se retire cualquier exceso.

La compactación se haga con un rodillo neumático o liso de 3 a 5 t de peso o alternativamente se use un rodillo manual, dependiendo del espesor de la capa por compactar.

El desnivel máximo tolerable entre la zona reparada y el pavimento que la rodea sea de 3 mm.

- *Bacheo mecanizado.*

Se refiere a las labores de bacheo superficial realizadas mediante un equipo, especialmente diseñado, que secuencialmente limpia el área afectada, coloca un imprimante o riego de liga a presión y rellena y compacta el bache con una mezcla asfáltica.

*Se debe verificar que:*

Cuando el trabajo definido en esta operación se haga utilizando una mezcla preparada, tipo stock pile, corresponda a situaciones de emergencia o en épocas cuando las precipitaciones impidan utilizar otro material.

Consecuentemente, en estos casos, el trabajo se termine dentro de un plazo de 24 horas desde el momento que se dé la orden de ejecución.

Cuando los trabajos se realicen con la calle en servicio, antes de iniciarlos se adopten las medidas seguridad necesarias para la óptima ejecución de los trabajos.

#### 10.3.2.3. Reparación de espesor completo.

##### 10.3.2.3.1. Descripción.

La operación se refiere al bacheo o reemplazo de una parte severamente deteriorada de la estructura de un pavimento asfáltico, cuando el daño afecte tanto a la (s) capa (s) asfáltica (s) como, a lo menos, parte de la base y sub base. El procedimiento se aplica para reparar áreas que presenten fallas originadas por agrietamientos de las diversas capas asfálticas y/o por debilitamiento de la base, subbase y/o subrasante.

##### 10.3.2.3.2. Especificación técnica.

###### a.) Materiales.

###### *Bases y Sub bases.*

Se verificará que las subbases y bases existentes por remover, se reemplacen por materiales que cumplan los requisitos establecidos en el Art. 3.2 y Art. 3.3.

###### *Ligantes.*

Para el riego de imprimación o liga, se usan materiales que cumplan con lo estipulado en el Art. 5.4 y con el Art 5.5.

###### *Mezclas asfálticas.*

En la reparación de pavimentos de concreto asfáltico en caliente, se usará, de preferencia, mezclas asfálticas en caliente, que cumplan con la banda granulométrica IV-12 (de la Tabla 5-39 del Art. 5.11 del presente Código), ligadas con cemento asfáltico tipo 60-80 o 80-100. Finalmente, la dosificación se ajustará a lo señalado en el Art. 5.11.

###### b.) Procedimientos de Trabajo.

###### *Remoción del Área Deteriorada.*

Se verificará que:

Se delimite el área por remover, demarcándola con pintura, de forma rectangular o cuadrada y que comprenda toda la zona deteriorada que presente fallas o baches e incluyendo, aproximadamente, unos 300 mm de pavimento en buenas condiciones.

Las mezclas asfálticas se corten de manera que las paredes queden verticales, utilizando de preferencia sierras, pero también pueden emplearse taladros.

Cuando se reparen baches, la remoción alcance como mínimo hasta el punto más profundo de éstos, y continúe, si a ese nivel el material no se encuentra firme.

En la reparación de los otros tipos de fallas, se retiren todas las capas asfálticas, y se continúe con la base y sub base hasta encontrar una superficie firme y densa.

Al programar la profundidad de la remoción, idealmente, todo lo removido se reemplace por mezclas asfálticas, aún cuando parte de ello corresponda a antiguas bases o sub bases.

Sólo cuando la extensión del área por reemplazar sea muy importante y, simultáneamente, el espesor sea igual o superior a 150 mm, se opte por reemplazar la base y/o subbase, por materiales de tipo base y en tal caso, las bases y sub bases se cortan de manera que sus paredes queden con una inclinación del orden de 1:3 (H:V) hacia dentro, de manera que sirvan de apoyo firme al material que se agrega.

El fondo de la excavación sea paralelo a la rasante.

*Reemplazo de Bases y Sub bases.*

*Se debe verificar que:*

Antes de iniciar la colocación de los materiales de reemplazo se revise el fondo y paredes de la excavación, para verificar que no existen o han existido escurrimientos de aguas. Si ello así ocurre, es conveniente asegurar que los escurrimientos sean evacuados en el futuro.

Normalmente se coloque sólo tipo de material de reemplazo, que se ajuste a los requisitos de la base.

Se coloque por capas de no más de 150 mm de espesor, compactándola con equipos apropiados hasta alcanzar, al menos, el 95% de la D.M.C.S., según ASTM 4253, o el 80% de la densidad relativa, según ASTM D 4253 Of 2000 o ASTM D 4254 Of 2000, según corresponda.

*Relleno con Mezclas Asfálticas.*

*Se debe verificar que:*

Se imprime el fondo de la zona en que se hace la remoción o que queda después de reemplazar la base y sub base, utilizando el ligante según el Art. 5.5.

Las paredes de las capas asfálticas, se limpien eliminando todas las partículas sueltas y luego, de preferencia, mediante soplado, se retire el polvo.

A continuación, la superficie se recubre con el ligante, mediante una escobilla u otro elemento similar que permita un cubrimiento uniforme (normalmente se coloca entre 1,3 y 2,4 l/m<sup>2</sup>).

Antes de colocar la mezcla asfáltica de relleno, se verifique que la emulsión de la liga haya quebrado, y que la imprimación haya penetrado según lo especificado.

La mezcla se extienda y nivele mediante rastrillos, restituyendo las pendientes originales y colocando la cantidad adecuada para que sobresalga unos 6 mm sobre el pavimento circundante.

En los extremos y coincidiendo con las líneas de corte de la zona, se recorte la mezcla, de manera de dejar paredes verticales y retirar cualquier exceso.

La compactación se haga con un rodillo neumático o liso de 3 a 5 t de peso. Alternativamente puede usarse un rodillo manual, dependiendo del espesor de la capa por compactar. El desnivel máximo tolerable entre la zona reparada y el pavimento que la rodea es de 3 mm.

Cuando los trabajos se realicen con la calle en servicio, antes de iniciarlos, se adopten las medidas seguridad necesarias para la óptima ejecución de los trabajos.

### **10.3.3. TÉCNICAS DE REPOSICIÓN**

Finalmente, cuando producto de diferentes fallas, el pavimento ha perdido propiedades funcionales y/o capacidad estructural, se realizan trabajos de reposición y de este modo, se mejora la calidad funcional y/o estructural del pavimento.

A continuación, se describen las distintas técnicas que se consideran para la reposición de pavimentos asfálticos.

#### *10.3.3.1. Fresado.*

##### 10.3.3.1.1. Descripción.

La operación consiste en desgastar la superficie del pavimento, con el fin de restaurar la rasante, removiendo de este modo, deformaciones e imperfecciones del pavimento, dejando una superficie texturizada que sirve de base para un recapado.

El fresado puede ser superficial o profundo, total o parcial, dependiendo del estado del pavimento y del tipo de intervención que se realice. A partir del estudio del estado del pavimento a ser rehabilitado, se define el espesor de pavimento a intervenir.

##### 10.3.3.1.2. Especificación Técnica.

###### a.) Equipo.

Se debe verificar que:

El equipo para la ejecución de los trabajos, sea una máquina fresadora con controles automáticos, capaz de fresar el pavimento asfáltico con una profundidad precisa de corte y con el perfil y la pendiente transversal establecidos, y además esté provista de dispositivos para verter el material fresado directamente en camiones de transporte. Su estado, potencia y capacidad productiva aseguran el correcto cumplimiento del plan de trabajo.

Los vehículos para el transporte del material fresado sean suficientes para garantizar el cumplimiento del programa de trabajo y estén provistos de los elementos necesarios para evitar la contaminación o cualquier alteración perjudicial del material transportado y su caída sobre las vías empleadas para el transporte. Además, como parte del equipo se requieren algunos elementos accesorios, principalmente escobas y una barredora o sopladora mecánica.

###### b.) Procedimientos de Trabajo.

- Preparación de la superficie existente.

Se debe verificar que previo a la operación de fresado, la superficie del pavimento asfáltico se encuentre limpia y, por lo tanto, se ejecuten las operaciones de barrido y/o soplado que se requieran para lograr tal condición.

- Fresado del pavimento.

Se debe verificar que:

El fresado se efectúe sobre el área y espesor apropiado para cada caso, a temperatura ambiente y sin adición de solventes u otros productos ablandadores que puedan afectar la granulometría de los agregados o las propiedades del asfalto del pavimento existente.

La operación de fresado se haga cuidando de no desgarrar ni romper el pavimento subyacente o adyacente y protegiendo al material fresado de contaminación con materiales granulares, de subrasante u otras sustancias objetables.

En proximidades de sitios que resulten inaccesibles al equipo de fresado, el pavimento se remueva empleando otros métodos que den lugar a una superficie apropiada.

El trabajo de fresado se realice en varias capas, hasta alcanzar el espesor adecuado, debiendo quedar una superficie nivelada y sin fracturas, la cual se barre antes del recapado.

En la eventualidad de que al término de una jornada de trabajo, no se complete el fresado en todo el ancho de la calzada, los bordes verticales en sentido longitudinal, cuya altura supere cincuenta milímetros (50 mm), se suavicen de manera que no impliquen peligro para el tránsito.

Igual precaución se tome, en todos los bordes transversales que queden al final de cada jornada.

Cualquiera que sea el método utilizado, los trabajos de fresado no provoquen daños a objetos, estructuras e instalaciones que se encuentren cerca a la zona de acción de los equipos y, por lo tanto, se toman las precauciones que correspondan para garantizar la buena ejecución de los trabajos.

#### 10.3.3.2. Recapado.

##### 10.3.3.2.1. Descripción.

La operación se refiere a la colocación de una nueva capa de rodadura sobre un antiguo pavimento de asfalto, con el fin de recuperar propiedades funcionales del pavimento.

##### 10.3.3.2.2. Especificación técnica.

a.) Materiales.

Riego de liga. Se ejecuta según el Art. 5.5.

Geotextil. Según Especificaciones Técnicas Especiales cuando se requiera.

*Mezclas asfálticas.* Se utilizan:

- Mezclas asfálticas en caliente, que cumplan con la banda granulométrica de la *Tabla 5-29* del presente Código de Normas. La dosificación debe ajustarse a lo señalado en el Art. 5.11.
- Micropavimentos, que cumplan con la banda granulométrica Tipo C-1 de la *Tabla 5-12* del presente Código de Normas. La dosificación debe ajustarse a lo señalado en el Art. 5.8.



## SECCIÓN 11. CONSERVACIÓN Y REPOSICIÓN DE BASES, SUBBASES Y SUBRASANTES

### ART. 11.1 REPOSICIÓN DE BASES Y SUB-BASES

La reposición o reconstrucción de una base, sub base o ambas, además, de la reposición del material de la subrasante hasta determinada profundidad, es necesaria en los siguientes casos:

a.) Cuando debido a trabajos de instalación, renovación o reparación de redes o empalmes domiciliarios subterráneos de servicios de utilidad pública, ha sido necesario romper el pavimento en su capa de rodado y en sus capas de infraestructura, hasta el nivel que fija el respectivo proyecto. Esta ruptura puede adoptar, ya sea una forma aproximadamente cuadrada o rectangular en planta, o bien una de sus dimensiones puede tener una gran longitud (decenas o cientos de metros), en cuyo caso se le da el nombre genérico de zanja o herido.

b.) Cuando la rotura se ha originado por fallas en las capas de rodado o de la infraestructura, por la acción del tránsito al sobrepasarse la resistencia de diseño necesario, por compactación insuficiente o por la acción de agentes climáticos, como el agua o el hielo.

Para la reposición de la base, sub base o subrasante, se adoptan las siguientes disposiciones:

a.) Se rectifican las paredes de la excavación, de modo que queden planas y verticales; se extrae todo el material suelto y, si es necesario, se profundiza la excavación hasta alcanzar un terreno firme, no alterado y no contaminado.

b.) Se rellena la excavación por capas de un espesor no mayor de 20 cm, espesor que puede ser mayor, siempre que se utilice el equipo de compactación adecuado y los ensayes sean efectuados por un laboratorio inscrito en MINVU. Los materiales deberán cumplir con las especificaciones de base y sub base. Se recomienda que para la subrasante se exija un poder de soporte igual o superior al material de subrasante existente.

La compactación debe alcanzar un porcentaje no inferior al 95% de la D.M.C.S. en la subrasante, y no inferior al 95% de la D.M.C.S. en el caso de bases y sub bases, de acuerdo a la norma NCh. 1534/2 Of. 1979.

c.) En la ejecución de estos trabajos se deberá cumplir con las disposiciones contenidas en la Sección 2 y 3 del presente Código, en especial las que se refieren a granulometría, límite líquido, índice de plasticidad, desgaste y poder de soporte de los materiales.

d.) Cuando no sea posible el uso de rodillo, la compactación se efectúa mediante una placa o pisón vibratorio o, en su defecto, por impacto, mediante pisones metálicos de un peso no inferior a 200 N, aplicando el número de golpes por unidad de superficie necesarios para asegurar la compactación mínima exigida.



## **ART. 11.2 REPOSICIÓN DE MATERIALES DE SUELOS EN ÁREAS NO PAVIMENTADAS**

Se debe verificar que:

Cuando se reponga el material extraído de áreas sin pavimentos, tales como aceras, veredones, bandejones, etc., se tenga en consideración el efecto que las excavaciones practicadas en tales sectores, puedan ejercer en la estabilidad de los pavimentos, si estos están en su inmediata vecindad.

Cuando así ocurra, se tomen las medidas preventivas del caso, como suspender el tránsito sobre el o los paños de calzada afectada, hasta después que se haya procedido a efectuar la reposición indicada.

El material que se emplee en la ejecución de los rellenos sea, en general, el mismo extraído de las excavaciones si este es adecuado. De no ser así, se puede disponer que se reemplace por otro de mejor calidad, o que se emplee una mezcla de ambos materiales, en particular cuando la profundidad de la excavación es importante. Para lo anterior se puede exigir un grado de compactación igual o superior al 95% de la D.M.C.S. según norma NCh. 1534/2 Of. 1979.

El relleno pueda ejecutarse por capas de un espesor no superior a 20 cm compactado y que tenga el contenido de humedad óptimo. Se puede emplear un espesor mayor, siempre que se utilice el equipo adecuado.

Estas capas se compacten preferentemente mediante placas o pisonos vibratorios o, en su efecto, por impacto, mediante pisonos metálicos de un peso no inferior a 100 N, aplicando un número suficiente de golpes sobre la misma área de contacto del pisón.

Todos los rellenos se controlen con ensayos de laboratorios oficiales, salvo que la Inspección Técnica o Profesional Responsable, estime no controlar debido al tamaño del trabajo y se emplee un equipo adecuado.

## **ART. 11.3 TÚNELES BAJO PAVIMENTO**

No se permiten túneles bajo la calzada, salvo se demuestre que éstos, no afectan la estabilidad y serviciabilidad futura del pavimento.

## **ART. 11.4 VEREDAS DE ASFALTO**

La conservación de las veredas de asfalto consiste en la demolición y extracción de los tramos de veredas destruidas o en mal estado y su reconstrucción, incluida la base y el mejoramiento de la subrasante, si fuera necesario. En general, este trabajo comprende las siguientes etapas:

- a.) Nivelación del terreno y recompactación.
- b.) Reconstrucción de la base de acuerdo a las especificaciones para Bases definidas en el Art. 3.4, en cuanto a Banda Granulométrica, Límite Líquido e Índice de Plasticidad. Se exige un porcentaje de compactación mínimo de 95% de la D.M.C.S. (NCh. 1534/2 Of. 1979).
- c.) Imprimación de la base, de preferencia con emulsiones de acuerdo al Art. 5.4.

d.) Colocación y compactación de la mezcla asfáltica, para lo cual se aplican las disposiciones que corresponda de la Especificaciones sobre pavimentos asfálticos. Es recomendable que la vereda, luego de construída, mantenga el nivel y la línea que corresponda de acuerdo al proyecto inicial.

La mezcla a emplear podrá ser en frío o en caliente.

#### 11.4.1. MATERIALES

##### 11.4.1.1. Áridos.

Es aconsejable que cumplan con las bandas VI-10a, VII-5 y VIII-2, pudiendo estos materiales ser arenas o piedras trituradas (Tabla 11-1).

TABLA 11-1: BANDAS GRANULOMÉTRICAS

MEZCLA N°		VI-10a	VII-5	VIII-2
Uso		Superficie	Superficie	Superficie
Espesor compactado recomendado para cargas individuales		25 a 50 mm	12 a 25 mm	12 a 25 mm
Tamices: (mm)	ASTM	Porcentaje que pasa en peso		
20	(3/4")			
12,5	(1/2")	100		
10	(3/8")	85-100	100	
5	(N° 4)	-	85-100	100
2,5	(N° 8)	65-80	80-95	95-100
1,25	(N° 16)	50-70	70-89	85-98
0,63	(N° 30)	35-60	55-80	70-95
0,315	(N° 50)	25-48	30-60	40-75
0,16	(N° 100)	15-30	10-35	20-40
0,08	(N° 200)	6-12	4-14	8-16

##### 11.4.1.2. Asfaltos.

De penetración 60.80, 80-100 o emulsiones de residuo duro, aniónicas o catiónicas.

#### ART. 11.5 CALZADAS DE AFIRMADO PÉTREO O GRANULAR

Las calzadas de afirmado pétreo o granular, requieren de una conservación periódica; el trabajo comprende las operaciones de escarificado, recompactación y perfiladura. La frecuencia requerida de este trabajo depende de condiciones locales, tales como el tránsito y la pluviosidad. Por lo general, se estima que debe efectuarse, como mínimo, dos veces al año.

Las operaciones mencionadas se desarrollan de acuerdo a la secuencia que se indica a continuación:

- a.) Escarificación del material pétreo, en una profundidad mínima de 5 cm, mediante motoniveladora, o bulldozer con rooter.
- b.) Riego de la superficie preferentemente mediante regador mecánico.
- c.) Segunda escarificación del material, avanzado en sentido opuesto a la primera.
- d.) Extracción de los trozos de material de tamaño superior a 5 cm, si los hubiere.
- e.) Segundo riego superficial.
- f.) Mezclado y extensión uniforme del material.
- g.) Tercer riego.
- h.) Compactación mediante rodillo neumático, con un peso mínimo de 8 Ton.
- i.) Compactación mediante rodillo liso.
- j.) Perfiladora superficial con motoniveladora.

Si es necesario adicionar material, se deberá cumplir con lo especificado para los materiales de sub bases granulares del presente Código. Sin perjuicio de este trabajo de conservación que se efectúa periódicamente, es conveniente efectuar operaciones de reperfiladura en forma más frecuente. Esta operación se detalla en el Art. 11.6.

## **ART. 11.6 CONSERVACIÓN DE CALZADAS EN TIERRA**

En las calles en que la superficie de rodado de su calzada es el terreno natural, es necesario efectuar periódicamente un trabajo de reperfiladura, a fin de permitir el tránsito de vehículos, en condiciones aceptables. Para este trabajo se usa la motoniveladora.

Las operaciones necesarias para este fin son las siguientes:

- a.) Paso de la hoja de la motoniveladora sobre la cuneta y sobre la acera en caso de existir, restituyendo la sección transversal necesaria para el buen escurrimiento de las aguas; retiro del material excedente.
- b.) Paso de la hoja de la motoniveladora sobre la calzada, para recuperar el perfil transversal; retiro del material excedente.
- c.) Riego superficial, seguido de una compactación mediante rodillo neumático de peso no inferior a 8 toneladas.
- d.) Paso final de la hoja de la motoniveladora, para dar el perfil definitivo a calzada.

Como operación complementaria del trabajo de conservación de calzadas en tierra o en calzadas de afirmado pétreo, puede aplicarse a la superficie un riego matapolvo, según lo especificado en el Art.5.7 del presente Código de Normas.



## **SEGUNDA PARTE: DISEÑO DE PAVIMENTOS Y OBRAS ANEXAS**



## SECCIÓN 12. MECÁNICA DE SUELOS

### ART. 12.1. EL SUELO COMO FUNDACIÓN DEL PAVIMENTO

La Mecánica de Suelos, como rama de la Ingeniería que estudia las propiedades de los suelos, para determinar su capacidad de servir de fundación a los distintos tipos de construcciones, ofrece ciertas modalidades especiales cuando se trata de los pavimentos, si se considera que existen condiciones propias de esta clase de estructuras, como son las distintas clases de suelos que pueden encontrarse en una misma obra, y las características de los esfuerzos aplicados, que son esencialmente dinámicas.

Como objetivo fundamental, en la aplicación de los métodos de la Mecánica de Suelos a las obras de pavimentación, se busca establecer el estado de esfuerzos y deformaciones que se originan en el interior de la masa del suelo, debido a las sollicitaciones originadas por las cargas provenientes del tránsito, actuantes en la superficie del pavimento, y transmitidas a través de las diferentes capas que lo constituyen, hasta el suelo de fundación o subrasante. Se determina en esta forma las tensiones y deformaciones máximas que soporta este último.

En esta Sección se ha incluido una breve reseña de los aspectos más esenciales en la aplicación de la Mecánica de Suelos a las obras de pavimentación. Considerando que se trata de una disciplina básicamente experimental, se ha querido mencionar las principales pruebas y ensayos de laboratorio que se requiere efectuar para conocer las características del suelo de fundación y obtener una adecuada solución para las subrasantes de los pavimentos y también, en cierta medida, para las capas de sub base y de base.

### ART. 12.2. NATURALEZA Y ORIGEN DE LOS SUELOS

Los suelos son conjuntos de partículas minerales, producto de la desintegración de las rocas, que presentan las siguientes propiedades esenciales:

- a.) El conjunto posee una organización definida. En general, sus propiedades varían en sentido vertical con mucha mayor rapidez que en sentido horizontal.
- b.) La organización de las partículas del suelo permite que el agua, que siempre se encuentra en su interior, pueda tener “continuidad”, en el sentido de distribución de presiones. El agua puede llenar todos los poros que existen entre las partículas, formando una masa continua.

Los suelos pueden ser residuales o transportados, la estructuración y distribución interna de las propiedades son diferentes en ambas clases de suelo. En los suelos residuales, su estructura y distribución se asemejan levemente a las de la roca originaria, en cambio, los suelos transportados generan estructuras regidas únicamente por los mecanismos propios del depósito formado por la acumulación del material transportado.



### ART. 12.3. RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS DE LOS SUELOS

En los suelos se distinguen tres fases constituyentes: a) la fase sólida, representada por las partículas minerales; b) la fase líquida, por el agua; y c) la fase gaseosa, por el aire.

Entre estas fases existe un conjunto de relaciones entre los respectivos pesos y volúmenes. Podemos representar a estos últimos por los símbolos siguientes:

a.) Fase sólida: volumen =  $V_s$ ; peso =  $W_s$ ;

b.) Fase líquida: volumen =  $V_w$ ; peso =  $W_w$ ;

c.) Fase gaseosa: volumen =  $V_o$ ; peso =  $W_o$ ;

Se define:

$V_m$ : volumen total  $V_m = V_o + V_w + V_s$

$G_o = \gamma_o / \gamma_w$ , en que  $\gamma_o$  es el peso específico del agua a 4 °C y es aproximadamente =  $\gamma_w$ , por lo que  $G_o$  es aproximadamente igual a 1.

$G_s$ : peso específico de las partículas sólidas dividido por  $\gamma_w$ .

Las relaciones más importantes son las siguientes:

a.) Peso volumétrico de la masa:

$$gm = \frac{W_s + W_w}{V_m}$$

b.) Peso volumétrico de los sólidos:

$$g_s = \frac{W_s}{V_s}$$

c.) Peso específico relativo de los sólidos:

$$S_s = \frac{G_s}{G_o}$$

d.) Relación de vacíos:

$$e = \frac{V_o + V_w}{V_s}$$

e.) Grado de saturación:

$$G_w(\%) = 100 \frac{V_w}{V_o + V_w}$$

f.) Contenido de agua o humedad del suelo:

$$W(\%) = 100 \frac{W_w}{W_s}$$

#### ART. 12.4. GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS

Se denomina granulometría de un suelo a la división del mismo en diferentes fracciones, seleccionadas por el tamaño de sus partículas componentes.

En los suelos gruesos, la característica más importante es la compacidad, que influye directamente en su compresibilidad; esta propiedad depende además de su estructuración y fundamentalmente de su granulometría. No sucede lo mismo en los suelos finos, en que la granulometría no da mayores indicaciones acerca de sus propiedades mecánicas.

Establecido el hecho de que existe esta limitante en el uso de la granulometría, ésta se usa básicamente con un criterio de clasificación. Así se definen las diferentes clases de constituyentes del suelo: arcilla, limo, arena y grava. La distribución granulométrica de los suelos se representa mediante curvas granulométricas, en las cuales se lleva en abscisas el tamaño en mm de las partículas, en escala logarítmica, y en ordenadas el porcentaje en peso de partículas menores que un cierto tamaño.

Mediante estas curvas se puede establecer una relación que representa la medida de la uniformidad del material del suelo y que se conoce como coeficiente de uniformidad.

$$C = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde:

D60: Es el tamaño para el cual el 60% en peso del suelo es igual o menor.

D10 (diámetro efectivo): Es el tamaño para el cual el 10% en peso es igual o mayor.

La separación de muestras de suelo en sus diferentes fracciones se efectúa de acuerdo a métodos especiales, siendo los más importantes el cribado por mallas y el análisis de una suspensión del suelo con hidrómetro.

a.) Cribado por mallas: se usa para obtener las fracciones correspondientes a los tamaños mayores del suelo, generalmente se llega hasta el tamaño correspondiente a la malla N° 200 (0,074 mm).

b.) Método del hidrómetro: se basa en la ley de Stokes, y proporciona una relación entre la velocidad de sedimentación de las partículas del suelo y sus tamaños. Esta ley considera partículas de forma esférica, y si D es el diámetro de una partícula determinada, se obtiene:

$$D = \sqrt{\frac{1.800nv}{gs - gf}}$$

Siendo:

v = velocidad de sedimentación de la esfera, en [cm/seg].

gs = peso específico de la esfera, en [g/cm<sup>3</sup>].

gf = peso específico del fluido, en [g/cm<sup>3</sup>].

n = viscosidad del fluido, en [g\*seg/cm<sup>2</sup>].

La ley de Stokes es válida sólo para tamaños menores de 0,2 [mm], y mayores de 0,002 [mm].

## ART. 12.5. PERMEABILIDAD

El agua puede fluir a través de un suelo siguiendo la ley de gravedad; este flujo se puede producir en dos formas o regímenes diferentes: "laminar", en el cual las Líneas de flujo permanecen separadas; o bien "turbulento", si las Líneas de flujo se entremezclan.

Para velocidades bajas, el flujo es laminar, pero al aumentar estas velocidades más allá de un cierto límite, se hace turbulento. La velocidad límite, hasta la cual el régimen es laminar, es la velocidad crítica.

Para velocidades suficientemente pequeñas, el gasto que circula a través del suelo está expresado por la ley de Darcy:

$$Q = k * i * A$$

Siendo:

A: El área de la sección transversal del filtro colocado en la conducción.

i : gradiente hidráulico.

k : coeficiente de permeabilidad.

La ecuación de continuidad del gasto establece que:

$$Q = A * v \quad v = \text{velocidad del flujo}$$

Por lo cual, al igualar las expresiones anteriores se obtiene:

$$v = k * i$$

Según esta expresión, se puede definir "k" como la velocidad con que fluye el agua a través del suelo cuando está sometida un gradiente hidráulico unitario.

La permeabilidad de los suelos es un valor que admite grandes variaciones según el material de que se trate. Por ejemplo, en las gravas limpias alcanza valores comprendidos entre 10 y 100 [cm/seg], en tanto que en las arcillas puede llegar hasta 10<sup>-8</sup> y 10<sup>-9</sup> [cm/seg].

La permeabilidad está influida por las siguientes características de los suelos:

- a.) La relación de vacío.
- b.) El tamaño de las partículas.
- c.) La composición mineralógica, físico-química.
- d.) La estructura.
- e.) El grado de saturación.
- f.) La existencia de agujeros, fisuras, etc.
- g.) Depende en forma importante de la temperatura del agua.

#### ART. 12.6. RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACIÓN

La deformación que experimenta un suelo por la acción de los esfuerzos aplicados depende de factores tales, como su composición mineralógica, su relación de vacíos, los esfuerzos aplicados con anterioridad y la forma de aplicar los nuevos esfuerzos. En el laboratorio se pueden emplear las siguientes pruebas para determinar las características esfuerzo-deformación:

- a.) Prueba de compresión hidrostática o isotrópica.
- b.) Prueba de compresión confinada o de consolidación.
- c.) Prueba triaxial.
- d.) Prueba directa de esfuerzo cortante.

Mediante estas pruebas se puede llegar a diferenciar dos clases principales del material constituyente del suelo:

- a.) De “falla frágil”, caracterizado por un crecimiento del esfuerzo aplicado hasta un máximo bien definido, después del cual dicho esfuerzo desciende rápidamente al aumentar la deformación.
- b.) De “falla plástica”, en cuyo caso, luego que el esfuerzo llega a un valor límite, se produce la fluencia plástica del material bajo esfuerzo constante e igual a ese límite.

En todo caso, se puede afirmar que la relación esfuerzo-deformación no es un valor constante y depende de las circunstancias en cada caso. En general, el comportamiento plástico corresponde a las arenas sueltas y a las arcillas blandas con contenido de agua relativamente elevado. El comportamiento frágil es propio de las arenas compactas y de las arcillas duras.

## ART. 12.7. TEORÍA DE LA CONSOLIDACIÓN

A través de períodos suficientemente largos de tiempo los suelos experimentan el fenómeno llamado de “consolidación”, que es por consiguiente un proceso muy lento y consiste en la compresión y reducción de volumen de la masa de suelo por efecto de la acción de las cargas exteriores. La forma en que se desarrolla este proceso ha sido estudiada por investigadores y ha dado lugar a la enunciación de la Teoría de la Consolidación, debido principalmente a Terzaghi.

La teoría se basa en una serie de hipótesis, que aun cuando no son totalmente exactas, se aproximan suficientemente a la realidad. Las más importantes son las siguientes:

- a.) El suelo se deforma en una sola dirección, por ejemplo la vertical.
- b.) El flujo del agua se produce sólo en la dirección vertical.
- c.) Es válida la ley de Darcy.
- d.) El suelo está totalmente saturado.

La teoría permite determinar el asentamiento  $\Delta H$  que experimenta un estrato de suelo de espesor  $H$ , de acuerdo a la expresión:

$$\Delta H = \int \frac{H_o \Delta e}{1 + e_o} dz$$

Donde:

$H_o$  = altura del estrato de suelo

$e_o$  = relación inicial de vacíos.

$\Delta e$  = disminución de espesor de una muestra de suelo cuyo espesor total es  $dz = 1 + e_o$ .

El cálculo de la evolución de  $H$  con el tiempo requiere la determinación previa del “Coeficiente de Consolidación del suelo”.

$$C_v = \frac{K(1 + e)}{A_v * g_w}$$

Donde:

$K$  = coeficiente de permeabilidad del suelo.

$e$  = relación de vacíos del suelo (antes de iniciarse el proceso de consolidación).

$A_v$  = coeficiente de compresibilidad del suelo, obtenido mediante la curva de compresibilidad, en laboratorios.

$g_w$  = peso específico de la fase líquida.

La teoría establece algunos hechos importantes como:

a.) El tiempo necesario para alcanzar un determinado grado de consolidación varía en forma directamente proporcional al cuadrado del espesor efectivo de la capa de suelo.

b.) El tiempo señalado en a) es inversamente proporcional al coeficiente de permeabilidad  $K$ .

c.) El tiempo señalado en a) es directamente proporcional al coeficiente de compresibilidad  $A_v$ .

Mediante las pruebas de consolidación en el laboratorio, se obtienen las curvas de consolidación, que muestran la evolución de esta última a lo largo del tiempo.

La aplicación más útil de la teoría de la consolidación es el cálculo del asentamiento total que un estrato arcilloso experimenta por la acción de las cargas y su evolución en el tiempo.

En realidad el fenómeno de consolidación consta de dos procesos superpuestos y mezclados. El primero de ellos que es al que hemos hecho referencia, es la “consolidación primaria” y se refiere a la transmisión de las cargas aplicadas, que en un principio son resistidas por el agua contenida en los poros del suelo a la estructura sólida de este último; esta transmisión de la carga va simultáneamente acompañada de una disminución de volumen y de la correspondiente pérdida del agua intersticial, que drena a través de las superficies del estrato de suelo. El segundo proceso se llama “consolidación secundaria”, y en él adquiere importancia la componente de deformación, por el reacomodo relativo de las partículas de suelo. Este proceso se hace más importante a medida que avanza el proceso primario.

## ART. 12.8. ESFUERZO DE CORTE EN LOS SUELOS

Para el análisis de los esfuerzos aplicados se emplean las teorías de falla, siendo la más universalmente aceptada la Teoría de Coulomb, complementada por la Teoría de Mohr. Según ésta, un material puede fallar por esfuerzo cortante cuando alcanza alguno de los siguientes valores:

$t = c$ ,                      En suelos puramente cohesivos.

$t = c + s\phi$ ,                En suelos con cohesión y fricción.

$t = s \cdot \text{tg}\phi$ ,              En suelos puramente friccionantes.

Siendo:

$t$  = esfuerzos cortante.

$c$  = cohesión o resistencia del suelo sin presión normal exterior.

$s$  = esfuerzo normal (compresión) en el plano de falla.

$\phi$  = ángulo de fricción interna.

Se agrega que la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos es el parámetro fundamental para establecer la falla frente a cualquier sollicitación, la cual incluye siempre esfuerzos de compresión y de corte.

Según la Teoría de la Consolidación, los parámetros anteriormente indicados dependen de la consolidación previa y de la velocidad de aplicación de las cargas, pero además, influye el contenido de agua del suelo, siendo de especial importancia las condiciones de drenaje observadas.

Lo anterior ha permitido diseñar pruebas de laboratorio para determinar la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. En estas pruebas se aplica un determinado esfuerzo normal "S", cuyo valor se obtiene dividiendo la carga aplicada P por el área A sobre la cual actúa, o sea:  $S = P/A$ . A este valor se le llama "esfuerzo total" y es el que actúa sobre la muestra de suelo, a condición que ésta no se encuentre saturada. Si ocurre lo contrario, es decir, si los huecos entre las partículas se encuentran llenos de agua, la carga aplicada puede ser resistida en parte por las partículas de suelo y en parte por el agua y, por consiguiente, el esfuerzo total "s" es igual a  $S + u$ , siendo S el "esfuerzo efectivo" y "u" la presión del agua o presión de poro.

Las pruebas en referencia aplican presiones ortogonales en tres direcciones a una muestra cilíndrica, siendo dos de estas presiones iguales (pruebas triaxiales), y se distinguen tres tipos:

- Pruebas con drenaje (lentas).
- Pruebas con consolidación sin drenaje (rápida - consolidada).
- Pruebas sin drenaje (rápidas).

Cada prueba consta de dos etapas: la primera, en que se aplica la presión hidrostática, y la segunda, en que actúa una fuerza exterior axial, llamada "esfuerzo desviador".

En estas pruebas se establecen dos condiciones extremas en que pueden estar los suelos: a) la condición drenada, en que la carga se aplica lentamente, para que no se eleve la presión del agua, permitiendo que ésta fluya hacia el exterior; y b) la condición no drenada, en que la carga se aplica rápidamente, sin permitir la salida del agua, aumentando por consiguiente la presión de poros.

Según estas diferentes condiciones, en la prueba lenta se alcanza una completa consolidación de la muestra, mientras que en la prueba rápida no se alcanza la consolidación; la prueba rápida-consolidada permite consolidación en la primera etapa, mas no en la segunda.

## **ART. 12.9. PRUEBAS ESPECIALES EN LA TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS**

Se han desarrollado algunas pruebas especiales para determinar la capacidad de soporte de la subrasante, sub bases y bases y, en ocasiones, el pavimento en su totalidad. Estas pruebas se especifican a continuación:

### **12.9.1. PRUEBAS DE PLACA**

Determinan la capacidad soportante mediante una carga aplicada sobre una placa circular, en contacto estrecho con el suelo; se miden las deformaciones correspondientes a diferentes cargas. Es frecuente el uso de placas de 76,2 cm {30"} de diámetro o de placas de área igual al contacto de una llanta. Para impedir la flexión del elemento se pueden colocar encima otras placas de diámetros decrecientes. Que dan al conjunto la rigidez deseada. Las deformaciones de la placa se pueden medir por medio de extensómetros ligados a un puente, cuyo apoyo se coloca a suficiente distancia de la placa.

Por medio de esta prueba puede calcularse el módulo de reacción “valor k” de una subrasante dada. Este concepto se define como la presión que transmite la placa para producir en el suelo una deformación fijada previamente.

$$k = \frac{P}{\Delta}$$

Donde:

P: presión.

$\Delta$ : deformación.

El módulo de reacción k depende de la humedad del suelo. Es conveniente trabajar con la “humedad de equilibrio”, pero como no se conoce a priori, se acostumbra usar una humedad que se considere crítica, como puede ser la de saturación.

La carga se aplica a las placas por incrementos sucesivos. Un nuevo incremento se coloca cuando la velocidad de deformación bajo el anterior es del orden de 0,001 cm/min.

El valor k no es un valor fundamental ya que varía de acuerdo con la geometría del plato de carga.

Se emplea en el diseño AASHTO y en Diseño mecanicista de pavimentos rígidos.

### **12.9.2. PRUEBA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.**

Esta es una prueba de penetración del suelo, en la cual un vástago de 19,4 cm<sup>2</sup> de área se hace penetrar en un espécimen de suelo a razón de 0,127 cm/min; se mide la carga aplicada para penetraciones que varían en 0,25 cm.

El C.B.R. se define como la relación, expresada como porcentaje, entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0,25 cm y la presión necesaria para obtener la misma penetración en un material arbitrario, adoptado como patrón, que es una piedra triturada, en la cual se tienen las presiones en el vástago para distintas penetraciones.

El espécimen de suelo en que se hace la prueba esta confinado en un molde de 15,2 cm de diámetro y 20,3 cm de altura.

Los factores que más afectan los valores obtenidos en la prueba del C.B.R. son la textura del suelo, su contenido de agua y el peso específico seco.

Generalmente la curva presión-penetración obtenida en la prueba es lineal para bajas penetraciones y tiende a hacerse ligeramente curva para penetraciones mayores. Este punto se rige según NCh.1852Of-1981.

### **12.9.3. MODULO RESILIENTE DEL SUELO**

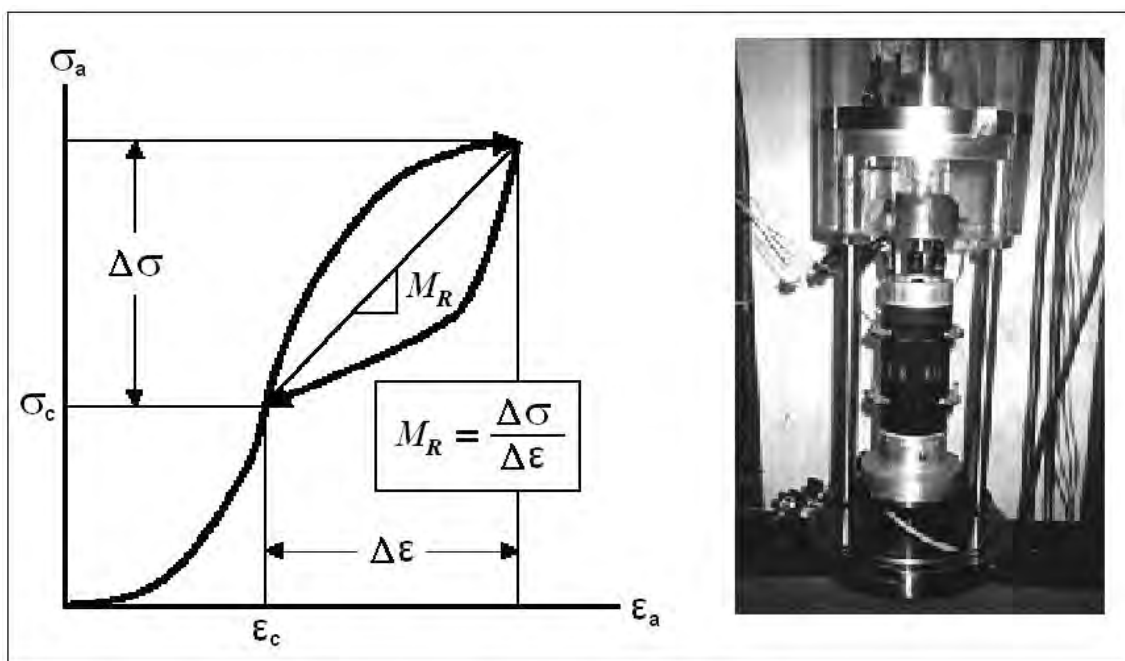
El módulo resiliente de un suelo (MR) es una medida de las propiedades elásticas del suelo y se define como el cociente entre esfuerzo aplicado (pulso de carga) y deformación resiliente (recuperable) que, en general, muestran ciertas características no lineales. El valor de este módulo interviene en el diseño de pavimento (AASHTO y Diseño mecanicista); en el caso de los pavimentos flexibles su valor se usa directamente en el diseño, en cambio, en los pavimentos rígidos es necesario transformar este valor al del módulo de reacción de la subrasante “valor k”.



La ventaja del uso de este método en lugar del valor de soporte del suelo es, por una parte, que permite predecir con suficiente exactitud en el análisis estructural de los sistemas multicapa, la rugosidad, el agrietamiento, el ahuellamiento y otras posibles fallas por otra puede determinarse mediante ensayos no destructivos.

El valor del módulo resiliente se determina según el Método de Ensayo Norma AASHTO T-274. Este ensayo se efectúa en un equipo triaxial dinámico para cargas repetidas.

FIGURA 12-1. EQUIPO UTILIZADO PARA DETERMINAR EL MÓDULO RESILIENTE.



El equipo para medir las deformaciones cuenta con Transformadores Diferenciales Regulables Lineales (LVDT). Se aplican impulso de carga con período de reposo simulando lo que sucede en terreno.

La presión de confinamiento y la tensión de desviación se aproximan al estado de tensiones que se espera en terreno.

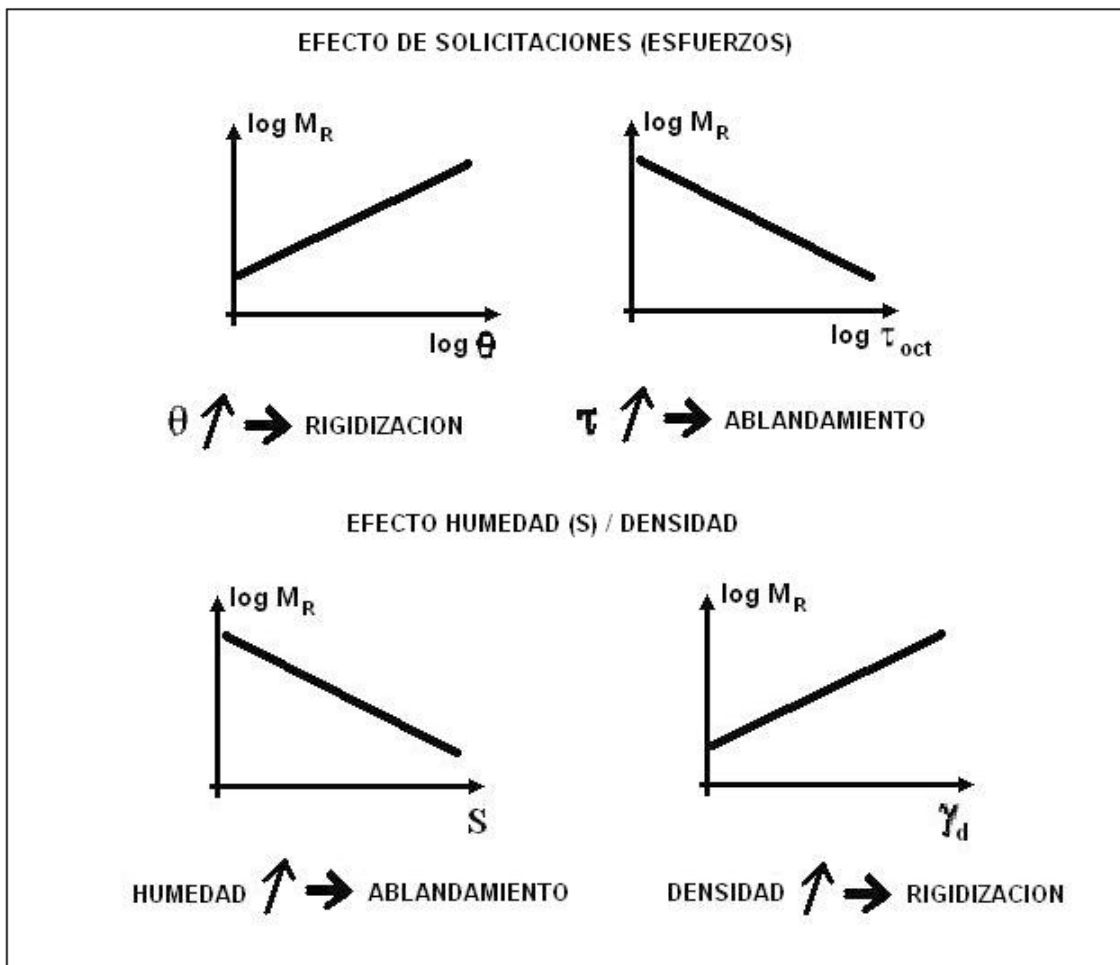
El ensayo tiene procedimientos diferentes, según sea el suelo fino o granular, debido a que la respuesta del suelo es diferente.

Un suelo fino al aplicársele una sollicitación (esfuerzo) responde con una deformación con características de ablandamiento. En otras palabras, cuando se aplica una carga a un suelo fino este se ablanda ( $\tau$  = Tensión octaédrica en suelos finos).

Un suelo granular al aplicársele una sollicitación (esfuerzo) responde con una deformación con características de endurecimiento. Dicho de otra manera, al cargar un suelo granular, éste se rigidiza. ( $\theta$  = tensión volumétrica en granulares).

En ambos casos el módulo resiliente es dependiente del contenido de humedad ( $S$ =grado de saturación) y de la densidad de éste.

FIGURA 12-2. COMPORTAMIENTO DEL MÓDULO RESILIENTE



Los resultados del ensayo determinan el carácter elástico de la probeta de suelo, que queda sometida a una tensión de deformación axial reiterativa de cierta magnitud estando dicha probeta dentro de una cámara triaxial, sometida a una presión lateral estática.

En resumen el módulo resiliente es una función que depende de las características propias del suelo, del estado de tensiones, de su grado de saturación y de su densidad.

Cuando en el diseño estructural se correlaciona con CBR, es preciso tener presente estos efectos.

AASHTO considera el estado de tensiones a 50 cm de profundidad para determinar los esfuerzos correspondientes al módulo resiliente de la subrasante.

## ART. 12.10. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Existen diferentes sistemas de clasificación de los suelos, en relación a sus condiciones como fundación, subrasante o sub base, de acuerdo al criterio empleado. Uno de ellos, es el Sistema de Clasificación AASHTO, que se basa en la granulometría del suelo y tiene una aplicación preferente en pavimentos.

Cabe mencionar también el Sistema de Clasificación U.S.C.S. (Sistema Unificado) que ha alcanzado una amplia difusión y que ofrece particulares ventajas en fundaciones de estructuras.

El Sistema AASHTO emplea siete grupos básicos de suelos, designados con los símbolos A-1 hasta A-7. En el apéndice III (Lámina Tipo N° 12.1) se presenta el cuadro de Clasificación de Suelos según este Sistema.

Según se observa en dicho Cuadro, los parámetros usados para definir cada grupo de suelos son la granulometría, el límite líquido, el índice de plasticidad y el índice de grupo. Con respecto a este último, simbolizado por I.G., se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$I.G. = 0,2a + 0,005ac + 0,01 bd$$

Siendo:

a = Porcentaje del material que pasa la malla N° 200 en exceso del 35%, expresado como número entero; para porcentajes mayores de 75 se considera solamente el valor 40 y para porcentajes menores de 35, el valor de "a" se torna igual a cero.

b = Porcentaje del material en exceso de 15% que pasa la malla N° 200, expresado como número entero positivo; para porcentajes mayores de 55 se toma b = 40.

c = Valor obtenido restando la cantidad 40 del valor del límite líquido, expresado como número entero positivo; si este valor excede de 60, se adopta el valor 20.

d = Valor resultante de restar 10 al valor del índice de plasticidad, expresado como número entero positivo; si el valor obtenido excede de 30, se adopta el valor 20.

Nótese que el rango de valores de I.G. se encuentra entre 0 y 20. Además, entre el Índice de Grupo y el Valor relativo de soporte (C.B.R.) existe una correlación inversa, vale decir que a mayor valor del primero, este último es menor.

## ART. 12.11. COMPACTACIÓN DE SUELOS

Se denomina compactación de suelos al proceso mecánico mediante el cual se mejoran las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo-deformación, a fin de que el suelo mantenga un comportamiento adecuado durante la vida útil del pavimento.

La eficiencia de un proceso de compactación depende de varios factores, cuya influencia en particular se determina por medio de procedimientos normalizados, que reproducen en el laboratorio las condiciones de terreno.

Los factores aludidos son los siguientes:

- a.) La naturaleza del suelo.
- b.) El método de compactación.
- c.) La energía específica por unidad de volumen.
- d.) El contenido de agua del suelo.
- e.) El sentido en que varían los contenidos de humedad del suelo durante la compactación.
- f.) El contenido de agua original del suelo.
- g.) La temperatura.
- h.) Otras variables tales como: número y espesor de las capas por compactar, número de pasadas del equipo de compactación o número de golpes de pisón en cada capa.

En el laboratorio se determinan las “curvas de compactación”, que relacionan el contenido de humedad del suelo y su peso volumétrico seco, tales curvas permiten determinar la humedad óptima correspondiente al valor máximo del peso volumétrico.

## **ART. 12.12. MÉTODOS DE COMPACTACIÓN EN EL TERRENO**

### **12.12.1. MÉTODOS DE COMPACTACIÓN**

Los métodos utilizados para la compactación de suelos dependen del material con el que se trabaje en cada caso pero en forma general se tiene:

- a.) Por presión estática.
- b.) Por impacto.
- c.) Por vibración.
- d.) Por amasado.

Es posible establecer por ejemplo, que en materiales friccionantes como la arena funciona mejor un método vibratorio, mientras que en suelos plásticos, el método de carga estática, resulta ser más ventajoso. Una clasificación del método de compactación utilizado, según algunos tipos de suelo, se muestra a continuación:

TABLA 12-I MÉTODO DE COMPACTACIÓN, SEGÚN EL TIPO DE SUELO.

MATERIAL	IMPACTO	PRESIÓN	VIBRACIÓN	AMASADO
Grava	Pobre	No	Bueno	Muy bueno
Arena	Pobre	No	Excelente	Bueno
Limo	Bueno	Bueno	Pobre	Excelente
Arcilla	Excelente	Muy bueno	No	Bueno

### 12.12.2. EQUIPOS

Los equipos comúnmente usados en la compactación de suelos son:

- a.) Rodillo liso.
- b.) Rodillo neumático.
- c.) Rodillo pata de cabra.
- d.) Rodillos y placas vibratorios.

Sus aplicaciones y principales características se señalan a continuación:

#### 12.12.2.1. Rodillos lisos.

Comúnmente usado en gravas y arenas mecánicamente estables, siempre y cuando funcionen junto a un sistema de vibración. De lo contrario, son principalmente usados en trabajos de terminación superficial o de compactación ligeros. Este tipo de equipos aplica una carga estática al material que radica principalmente en su peso.

#### 12.12.2.2. Rodillos neumáticos.

Se utilizan generalmente en arenas uniformes y suelos cohesivos, con humedad cercana al límite plástico.

Se caracterizan por aplicar a la superficie de la capa prácticamente la misma presión desde la primera pasada, siendo sus llantas flexibles las que proporcionan un área de transmisión de presión lo suficientemente grande como para lograr que el efecto de la densificación se transmita a profundidades considerables, permitiendo utilizar espesores de capa económicos sin perder homogeneidad en los resultados.

La superficie de contacto de la llanta con el suelo es función de peso del rodillo y de la presión de inflado, por lo que se utilizan equipos muy pesados cuando se deseen aplicar presiones muy grandes en áreas importantes.

### 12.12.2.3. Rodillos pata de cabra.

Se utilizan por lo general en suelos finos, con humedad entre 7 y 20% por debajo del límite plástico. Estos equipos pueden compactar concentrando grandes presiones en los puntos de apoyo relativamente pequeños que poseen en los tambores, penetrando en la capa de material suelto especialmente en las primeras pasadas, lo que luego va disminuyendo a medida que la capa se densifica. De esta forma el rodillo va compactando la capa desde abajo hacia arriba.

### 12.12.2.4. Rodillos y placas vibratorios.

Se utilizan generalmente en la compactación de suelos granulares debido a que éstos se compactan mejor a través de la vibración, la que reduce la fricción entre las partículas, dejando que éstas se acomoden por su propio peso.

Su funcionamiento se basa en la combinación del peso del equipo más fuerza dinámica proporcionada por el vibrador; los que pueden actuar a una amplitud y frecuencia adecuada como para permitir el movimiento de las partículas o granos de suelo. Las placas por su parte, si bien, poseen un mismo funcionamiento, se utilizan para trabajos de menor envergadura.

Se recomienda emplear rodillos vibratorios cuyos pesos varíen de 11 a 6 toneladas dependiendo de fabricante; sus frecuencias van de 30 a 40 Hz y amplitudes van de 1,78 a 0,75mm en los rodillos para 11 toneladas y para rodillos de 6,6 toneladas, frecuencias de 30 a 42 Hz y amplitudes de 1,55 a 0,69 Hz.; estos valores son sólo referenciales ya que dependen del fabricante. El tamaño de rodillo a emplear depende del tipo de suelo, espesor de la capa, la amplitud y frecuencia debe verificarse en terreno antes de proceder a fijarla.

## 12.12.3. SELECCIÓN DEL EQUIPO

Por lo general para la elección de equipo a través del tipo de suelo es posible guiarse por la clasificación AASHTO, como se muestra a continuación:

TABLA 12-2: SELECCIÓN DE EQUIPO SEGÚN CLASIFICACIÓN AASHTO.

TIPO DE EQUIPO	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7
Rodillo liso	1	2	2	1	1	1	2	2	3	3	4
Rodillo neumático	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	3
Rodillo pata de cabra	5	5	5	4	4	3	2	2	1	1	4
Pisón de impacto	2	2	1	2	2	2	4	4	4	4	1
Rodillo vibratorio	1	1	1	1	1	3	4	3	3	5	5

Considerando como comportamiento del equipo:

1= Excelente; 2= Bueno; 3= Regular; 4= Deficiente; 5= Inadecuado.

En forma general, para la compactación de las capas de subestructura de un pavimento flexible, se recomienda el uso de rodillos del tipo vibratorio para terminar con rodillos lisos o neumáticos. En lugares donde el ancho sea inaccesible a los equipos usuales se puede compactar con pisones mecánicos manuales u otros equipos hasta alcanzar la mínima densidad establecida.

La superficie final deberá ser uniforme y sin variaciones de cota mayores de 0.0 y -1.0 (cm) respecto a las cotas de proyecto.

## **ART. 12.13. PRUEBAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO**

En el laboratorio se efectúan pruebas de compactación que tratan de representar lo más fielmente posible las condiciones del terreno. Existen las siguientes:

### **12.13.1. PRUEBAS DINÁMICAS**

Presentan las siguientes características:

- a.) El suelo se puede compactar por capas en el interior de un molde metálico cilíndrico.
- b.) La compactación se puede obtener aplicando a cada capa un cierto número de golpes, uniformemente distribuidos, mediante un pisón.
- c.) Existen expresiones que permiten calcular la energía específica en base a: número de golpes por capa, número de capas, peso del pisón, altura de caída y volumen del molde.
- d.) En todos los casos se especifica un tamaño máximo de partícula, eliminándose las mayores por cribado.
- e.) Las pruebas dinámicas más usadas son: la prueba Proctor Standard y la prueba Proctor Modificado.

### **12.13.2. PRUEBAS ESTÁTICAS**

Entre éstas puede mencionarse la prueba introducida por O.J.Porter, en la cual se compacta el suelo colocándolo dentro de un molde cilíndrico de 15,2 cm de diámetro, en tres capas, aplicando 25 golpes de una varilla con punta de bala. La compactación se logra al aplicar al conjunto de las tres capas una presión de 140,6 kg/cm<sup>2</sup> durante un minuto.

### **12.13.3. PRUEBAS POR AMASADO**

En estas pruebas se presiona un émbolo de área especificada contra la superficie de las diversas capas de la muestra colocada dentro de un molde; la presión aplicada es constante.

### **12.13.4. PRUEBAS POR VIBRACIÓN**

Generalmente estas pruebas utilizan un molde Proctor montado en una mesa vibratoria. Se estudia el efecto de la frecuencia, de la amplitud y de la aceleración de la mesa vibratoria, así como la influencia de las sobrecargas, de la granulometría del suelo y del contenido de agua.

**ART. 12.14. ENSAYOS MÍNIMOS PARA EL ÁREA MECÁNICA DE SUELOS**

A continuación, se presentan los ensayos mínimos referidos a esta área, que deben cumplir los laboratorios inscritos en el Registro Oficial de Laboratorios de Control Técnico de Calidad de Construcción del MINVU, según Decreto Supremo N° 10.

a.) Para obras de pavimentación:

- i.) Determinación de la densidad en el terreno - Método del cono de arena, NCh 1516.Of1979.
- ii.) Determinación de la Granulometría de suelos, MC 8.102.1 Of.03, (LNV 105).
- iii.) Límites de consistencia - Parte 1: Determinación del límite líquido, NCh 1517/1.Of1979.
- iv.) Límites de consistencia - Parte 2: Determinación del límite plástico, NCh 1517/2.Of1979.
- v.) Determinación de la razón de soporte de suelos compactados en laboratorio, NCh 1852.Of1981.
- vi.) Relaciones humedad/densidad - Parte 2: Métodos de compactación con pisón de 4,5 kg. y 460 mm. de caída, NCh 1534/2.Of1979.
- vii.) Determinación de la humedad, NCh 1515.Of1979.
- viii.) Determinación de la densidad de partículas sólidas, NCh 1532.Of1980.
- ix.) Método de ensaye estándar para determinar índice de densidad máxima y peso unitario de suelos usando una mesa vibradora, ASTM D4253-00.
- x.) Método de ensaye estándar para determinar índice de densidad mínima y peso unitario de suelos y cálculo de densidad relativa ASTM D4254-00.

b.) Para estructuras

- i.) Determinación de la densidad en el terreno - Método del cono de arena, NCh 1516.Of1979.
- ii.) Determinación de la Granulometría de suelos, MC 8.102.1 Of.03, (LNV 105).
- iii.) Límites de consistencia - Parte 1: Determinación del límite líquido, NCh 1517/1.Of1979.
- iv.) Límites de consistencia - Parte 2: Determinación del límite plástico, NCh 1517/2.Of1979.
- v.) Ensayo de compresión no confinada, ASTM 2166-06.
- vi.) Ensayo Proctor modificado, NCh 1534/2.Of1979.



- vii.) Corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas drenadas, ASTM D3080-04.
- viii.) Determinación de la humedad, NCh 1515.Of1979.
- c.) Áridos para suelos:
  - i.) Determinación de la cubicidad de partículas, MC 8.202.6 Of.03 (LNV 3).
  - ii.) Determinación del material fino menor a 0,080 mm NCh 1223.Of1977.
  - iii.) Determinación del desgaste de los pétreos, NCh 1369.Of1978.
- d.) Ensayos especiales:
  - i.) Ensayo de consolidación unidimensional utilizando incrementos de carga, ASTM D2435-04.

## SECCIÓN 13. ESTUDIOS DE TRÁNSITO

Los estudios de tránsito son fundamentales, otorgan información de entrada en la evaluación de la factibilidad de un proyecto, en el diseño geométrico, en estudios de capacidad vial impacto vial y diseño estructural de un pavimento.

### ART. 13.1. VOLÚMENES DE TRÁNSITO

La determinación del tránsito medio diario anual (TMDA) sólo es posible mediante conteo continuo realizado durante todo el año, pero debido a los costos involucrados y el tiempo que se requiere para estimar este volumen, se han creado diversos métodos que consideran muestras de conteo vehicular y esencialmente la variación cíclica del volumen de tránsito.

Para ello se describen los conceptos básicos y las consideraciones más relevantes a tomar en cuenta en la determinación del volumen de tránsito.

#### 13.1.1. CONCEPTOS BÁSICOS DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO

El volumen de tránsito, es una medida cuantitativa del flujo vehicular que pasa por un determinado punto o sección transversal de una calzada o de una de sus pistas durante un determinado tiempo concreto. Los volúmenes pueden expresarse en términos anuales, semanales, diarios, horarios o en períodos inferiores a una hora.

La magnitud del flujo vehicular, denominada volumen de tránsito, es evaluada mediante conteos. Este acto consiste en medir dichos flujos y sus características propias, en lugares específicos denominados estaciones de conteo. El volumen de tránsito no presenta una distribución uniforme a lo largo del tiempo y espacio, sino que normalmente se consideran las siguientes variaciones:

##### 13.1.1.1. Variaciones cíclicas.

El volumen de tránsito presenta variaciones cuya naturaleza es por lo general cíclica, siempre que se trate de un movimiento vehicular significativo y que obedezca a la circulación regular de días normales. Se denomina día normal a aquel que pertenece a una semana normal, esto significa que no tenga días festivos ni se verifiquen acontecimientos especiales que pudiesen modificar temporalmente las condiciones de circulación.

##### 13.1.1.1.1. Variación horaria.

Esta variación se produce según las horas del día. Se la puede llamar variación horaria durante el día. Se caracteriza por la existencia de valores máximos denominados volúmenes horarios máximos y por su valor medio, denominado volumen horario medio o promedio horario diario.

El volumen horario máximo es parte del período de volumen máximo que se presenta durante las variaciones horarias del día. Según sea el sector considerado, se pueden presentar más de un período de volumen máximo durante el día. Sin embargo, se considera como volumen horario máximo el que corresponde al mayor de los períodos indicados.

#### 13.1.1.1.2. Variación diaria.

Esta variación diaria ocurre según los días de la semana. Se podría denominar variación diaria durante una semana. En la práctica se ha observado que hay días de la semana, cuyo volumen de tránsito se acerca al promedio semanal.

#### 13.1.1.1.3. Variación mensual.

Esta variación se presenta según los meses del año. Podría denominarse también variación mensual durante el año. Uno de los valores más importantes que se podría obtener de esta información, es el promedio diario anual de tránsito o tránsito medio diario anual (TMDA), el cual se obtiene dividiendo el volumen total de tránsito de un año por 365 días.

#### 13.1.1.2. Variaciones no cíclicas.

El volumen de tránsito presenta también variaciones de carácter no cíclico con el transcurso del tiempo. En efecto, estas variaciones ocurren tanto en vías existentes debido a trabajos de mejoramiento que se realiza en ellas, como también en las vías nuevas que se construyen.

##### 13.1.1.2.1. Mejoramiento de vías existentes.

El hecho de que una vía adquiriera mejores condiciones de transitabilidad, trae por consecuencia atracción y aparición de flujos vehiculares que desean usufructuar del mejoramiento producido. Así, el volumen de tránsito total por la vía considerada, está formado por el volumen vehicular que circulaba por esta vía antes de producirse las nuevas condiciones de circulación, más un volumen de tránsito existente que es atraído desde otras arterias de la zona de influencia correspondiente.

##### 13.1.1.2.2. Construcción de vías nuevas.

El volumen de tránsito total en este caso es el que circula en la realidad, constituido principalmente por el tránsito atraído desde otras vías de la zona de influencia respectiva y que evidentemente, existía y por el resto de usuarios que utilicen la nueva vía.

#### 13.1.1.3. Incremento de tránsito.

Además de las variaciones que se producen directamente en el tránsito actual, debido a las dos circunstancias descritas anteriormente, es necesario distinguir aquellas que constituyen incremento del tránsito actual debido al desarrollo o crecimiento vegetativo del área en estudio, principalmente de su población.

El tránsito actual tiene los siguientes incrementos, referidos a períodos anuales:

##### 13.1.1.3.1. Tránsito normal.

Sólo se presenta en el caso de proyectos de mejoramiento de vías existentes. Este incremento corresponde al tránsito que exista sobre la vía en estudio, independiente de la ejecución del proyecto.

#### 13.1.1.3.2. Tránsito desviado.

Representa el flujo de tránsito vehicular, que en la situación sin proyecto se realizaba por otras vías u otros modos y que, como consecuencia del proyecto, empieza a utilizar la vía en estudio, pero manteniendo el origen y destino anterior a la materialización del proyecto.

#### 13.1.1.3.3. Tránsito transferido.

Corresponde al tránsito que cambia su origen y destino como resultado de la ejecución de un nuevo proyecto. El hecho de que la accesibilidad a una zona resulte favorecida como efecto del mejoramiento o habilitación de una vía, se traduce en una reestructuración del origen y destino anterior al proyecto; lo que muestra en aquellas zonas de accesibilidad mejorada, un incremento de tránsito, en detrimento del mismo, desde o hacia otras zonas.

#### 13.1.1.3.4. Tránsito generado.

Corresponde al tránsito inexistente en la situación sin proyecto, que se incorpora como respuesta a la disminución de costo generalizado de transporte. Resulta de la generación de nuevas actividades que se hacen posibles como consecuencia de la ejecución del proyecto.

Cuando se trata de tránsito generado, su composición se puede estimar basándose en observaciones realizadas en vías, cuya función es semejante a la que se espera que cumpla el proyecto en estudio.

### 13.1.2. FACTORES DE CRECIMIENTO

Para cuantificar la magnitud del tránsito futuro existen numerosas metodologías que permiten realizar las proyecciones del volumen de tránsito actual, considerando los incrementos descritos anteriormente. Una manera simple para proyectar el factor de crecimiento  $FCR$ , es asumir una tasa de crecimiento anual del tránsito y usar el promedio del inicio y fin del período de diseño  $FCR_{(TPIF)}$  como el tránsito de diseño.

$$FCR_{(TPIF)} = \frac{[1 + (1 + t)^n]}{2}$$

donde:

$t$ : Tasa anual de crecimiento de tránsito por tipo de vehículo, en porcentaje.

$n$ : Período de diseño, en años.

La Asociación de Cemento Portland (PCA 1984) aplica el tránsito en la mitad del período de diseño  $FCR_{(TMPD)}$  como el tránsito de diseño:

$$FCR_{(TMPD)} = (1 + t)^{0,5 \cdot n}$$

Las guías de diseño del Instituto del Asfalto (A.I. 1981) y la AASHTO (AASHTO 1993), recomiendan el uso del tránsito en todo el período de diseño  $FCR_{(TTPD)}$ , para determinar el factor total de crecimiento, indicado como:

$$FCR_{(TTPD)} = \frac{[(1+t)^n - 1]}{t \cdot n}$$

## ART. 13.2. PROCEDIMIENTOS PARA MEDICIÓN DE TRÁNSITO

El volumen de vehículos se mide mediante el proceso denominado conteo, que es el acto en el cual se determina la cantidad de vehículos que pasan por un lugar en determinadas condiciones. Éstas se especifican de acuerdo a la naturaleza del estudio y al tipo de conteo. En la realización de conteos de tránsito se distinguen los siguientes aspectos:

### 13.2.1. PROCEDIMIENTOS

#### 13.2.1.1. Manuales.

Esto consiste simplemente en contar visualmente cada vehículo que pasa por un punto fijo en una vía, y registrarlo en un formulario, preparado especialmente para condiciones previamente establecidas anotando por ejemplo los movimientos, su clasificación vehicular y tasas de ocupación, entre otras. Este procedimiento manual de conteo requiere el empleo de un grupo limitado de anotadores. La tarea de éstos puede ser complementada con el uso de contadores electrónicos o mecánicos, activados manualmente.

Comúnmente, se realiza un muestreo a través del conteo manual para extender la gama de la información requerida o para comprobar la validez de operación del instrumento automático de conteo. A continuación algunas ventajas y desventajas del conteo manual son:

##### 13.2.1.1.1. Ventajas.

Entre las ventajas se puede citar la flexibilidad en la ubicación del observador, la cual puede cambiarse a voluntad, fácil y rápidamente. No se requiere de experiencia, ni destreza. Permite clasificar el tránsito por tipo de vehículo. Las muestras son cortas y baratas.

##### 13.2.1.1.2. Desventajas.

a.) Entre las desventajas se encuentran los conteos largos, los cuales son caros y los horarios inadecuados. Además, es un método poco apropiado en las inclemencias del tiempo. La exactitud depende de la calidad de observador.

##### 13.2.1.2. Automáticos.

Los procedimientos automáticos se emplean cuando el período de conteo es superior a 24 horas. Tales procedimientos no permiten obtener con exactitud la clasificación de los vehículos, por lo

cual se requiere efectuar previamente conteos manuales en carácter de muestras, sobre cuya base se aplican con posterioridad, los porcentajes correspondientes. Los dispositivos de conteo están compuestos de medios de detección, contadores y registradores.

#### 13.2.1.2.1. Medios de detección.

Los elementos de detección utilizados son de tipo eléctrico, neumático, hidráulico, magnético, fotoeléctrico, ultrasonido y radar. Muchos de estos funcionan a través del contacto de la rueda del vehículo al cruzar estos elementos. De todos los enumerados, los más utilizados en la actualidad, son los de tipo magnético.

#### 13.2.1.2.2. Contadores de tránsito.

Son mecanismos a los cuales llegan impulsos o señales provenientes de los detectores. Los contadores de tránsito constituyen un punto de paso entre los flujos vehiculares reales y los dispositivos registradores.

#### 13.2.1.2.3. Registradores.

La mayor parte de los contadores automáticos registran las cifras directamente, mientras otros confeccionan gráficos con los datos detectados y almacenados.

##### a.) Ventajas.

Se puede hacer en todo momento, ajeno a las inclemencias del tiempo y horarios. Son precisos, si regularmente se inspeccionan y se les realiza mantenimiento. Se compensan los costos de instalación para períodos largos de conteo.

##### b.) Desventajas.

Instalaciones caras para los muestreos de conteo cortos. Requiere frecuente atención calificada. No realiza conteo clasificado.

#### 13.2.1.3. Duración.

En cuanto a la duración de los períodos de conteo continuo, los conteos denominados breves o cortos se refieren por lo general a períodos de 15, 30 o 60 minutos (muestreos manuales o automáticos). Sobre los 60 minutos de duración constituyen recuentos extensos.

Para el análisis estadístico, los períodos básicos de conteo son comúnmente: la hora y el año; días de 24 horas (00:00 a.m. a 12:00 p.m.), días de 16 horas (6:00 a.m. a 10:00 p.m.), días de 12 horas (8:00 a.m. a 8:00 p.m.). La duración entre 200 a 1000 horas de conteo, se requiere normalmente para deducir el flujo anual, el tránsito promedio diario, el volumen promedio horario y una hora punta de diseño, con aproximadamente 10% de exactitud, en un nivel de confianza razonable. En general, los volúmenes pueden promediarse, ser los mínimos o máximos particulares de una vía, pueden relacionarse a una vía como un todo, a una dirección en particular, especificando el movimiento o la pista seleccionada. Con tal amplio rango de opciones es esencial darse una definición precisa para cualquier volumen determinado.

#### 13.2.1.4. Localización.

La localización de las estaciones de conteo para la determinación del volumen de tránsito, está definido principalmente por la aplicación que se dé a esta información. En este estudio se requieren dichos datos para la determinación de la solicitación de tránsito en el diseño de pavimentos. Por lo tanto, sólo se considera el conteo realizado en secciones transversales y en intersecciones.

##### 13.2.1.4.1. Sección transversal.

En los conteos efectuados de esta manera, se registran volúmenes vehiculares según sentidos de tránsito, separados o en conjunto y se realizan por lo general, con el empleo de contadores automáticos.

##### 13.2.1.4.2. Intersecciones.

Los conteos en intersecciones son más apropiados para vías urbanas, pudiendo ser estos aislados o en grupo y son de tipo manual. En general, se registra el volumen de tránsito en las horas más importantes, generalmente aquellas que contiene los volúmenes horarios máximos o para la obtención de muestras durante el día, a fin de determinar promedios.

### **ART. 13.3. SOLICITACIONES DE TRÁNSITO (DISEÑO EMPÍRICO MECANICISTA)**

#### **13.3.1. INTRODUCCIÓN**

Los datos de tránsito se encuentran dentro de los elementos clave requeridos para el diseño y análisis de la estructura de los pavimentos, pues son necesarios para estimar la magnitud y la frecuencia de las cargas que sean aplicadas durante su vida útil.

Los datos del tránsito requeridos en un diseño mecanicista son independientes del tipo de pavimento (rígido o flexible) o del diseño (nuevo o rehabilitado). Los valores típicos necesarios para la aplicación de la metodología de diseño, se enumeran a continuación: volumen del tránsito de camiones (buses) para el año base, velocidad operacional de los vehículos (camiones, buses), factores direccionales y de distribución por carril, espectro normalizado de cargas por eje, por tipo de vehículo y por tipo de eje, factor de distribución por tipo de vehículo, configuraciones base de ejes y ruedas; características de los neumáticos y de la presión de inflado, factor de distribución lateral de camiones, factor de crecimiento del tránsito de camiones.

Dichos datos se obtienen a partir de tres fuentes distintas: pesaje en movimiento, clasificación automática de vehículos y conteo de vehículos. Estos datos pueden aumentarse por estimaciones calculadas a partir de proyecciones de tránsito y modelos de generación de tránsito.

En este artículo se describen los datos de tránsito requeridos para el diseño empírico mecanicista de pavimentos nuevos y rehabilitados. Estos datos incluyen los volúmenes de camiones (buses) y las cargas aplicadas en términos de los volúmenes de camiones (buses) pesados circulantes y los espectros de cargas por eje, para ejes simples, dobles y triples.

#### 13.3.1.1. Información del volumen de tránsito para el año base.

Para los efectos de los datos de entrada de tránsito, el año base se define como el primer año calendario en que el segmento de vía a diseñar es abierto al tráfico. Para ello, se requiere de la siguiente información para el año base:

##### 13.3.1.1.1. Tránsito medio diario anual de camiones, considerando ambos sentidos (TMDAC).

Es el volumen total del tráfico de camiones (vehículos pesados), considerando ambos sentidos, que pasa por un segmento o tramo de una ruta a diseñar durante 24 horas. Comúnmente, se obtiene de la información proveniente de pesajes en movimiento, de la clasificación automática de vehículos, de conteos de vehículos y de modelos de generación de viajes, de las proyecciones de tránsito, durante un período de tiempo dado (se contabiliza un número de días mayor que uno y menor que un año). El TMDAC es simplemente el cociente entre el número total de vehículos pesados, contabilizados en ambos sentidos, para un período de tiempo dado y el número de días de dicho período.

##### 13.3.1.1.2. Número de pistas o carriles en la dirección de diseño.

El número de pistas en la dirección de diseño se determina a partir de especificaciones de diseño y representa el número total de carriles en una dirección.

##### 13.3.1.1.3. Porcentaje de camiones en la dirección de diseño (factor direccional).

El porcentaje de camiones en la dirección de diseño, o factor de distribución direccional (FDD), se utiliza para contabilizar las diferencias o la proporción del volumen de camiones entre ambas direcciones. Usualmente se asume que el TMDAC o el TMDA se distribuyen en partes iguales entre ambas direcciones, sin embargo, eso no siempre es así. La proporción puede variar de vía en vía y depende de varios factores, como son, por ejemplo: las mercaderías transportadas en la vía, entre otros patrones de tráfico locales o regionales.

##### 13.3.1.1.4. Porcentaje de camiones en la pista o carril de diseño (factor de pista).

El porcentaje de camiones en la pista o carril de diseño o factor de distribución por pistas (FDP), define la fracción de camiones que circulan por cada una de las pistas de una ruta, en una dirección. Para vías de dos pistas y dos direcciones (es decir, una pista por cada dirección), este factor es 1.0, pues todo el tránsito de vehículos pesados, en cualquiera de las direcciones, circula por la misma pista. Para más de una pista por dirección, el FDP depende de factores tales como el TMDAC, otros factores de tipo geométrico y del sitio específico del proyecto.

##### 13.3.1.1.5. Velocidad operacional vehicular (camiones).

La velocidad operacional de los vehículos o la velocidad promedio de viaje depende de varios factores, incluyendo el tipo de calle, la calidad del pavimento y el porcentaje de camiones en el flujo vehicular.



### 13.3.1.2. Factores de ajuste de volumen de tránsito.

Los siguientes factores de ajuste para el volumen de tránsito de camiones, son requeridos para la caracterización del tráfico:

- Factores de ajuste mensual.
- Factores de distribución por clase de vehículo.
- Factores de distribución horaria de camiones.
- Factores de crecimiento del tránsito.

### 13.3.1.3. Espectros normalizados de cargas por eje (factores de distribución de cargas por eje).

Un espectro normalizado de cargas por eje es la distribución del porcentaje de ejes que pasan por una vía o sección de ruta, por rango de carga por eje. Este espectro normalizado se determina por tipo de eje y por tipo de vehículo. De este modo, los factores de distribución de cargas por eje son los porcentajes del total de ejes aplicados, para cada rango de carga por eje (es decir, son cada uno de los componentes del espectro normalizado de cargas por eje).

En la guía AASHTO 93, se ha definido el deterioro global en el pavimento a lo largo de su vida útil, en función de los Ejes Equivalentes. Este parámetro se evalúa a partir del Factor de Eje Equivalente (FEE), el cual es un factor o índice del daño en el pavimento, asignado a cada carga por eje específica. Dicho factor se determina a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Factor EEx} = \frac{\text{Nº de ejes de x peso (kN) que causan una determinada pérdida de serviciabilidad}}{\text{Nº de ejes de 80 kN que causan la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

Los Ejes Equivalentes, para cada grupo de carga, se obtienen del producto entre el Factor de Eje Equivalente y el número de ejes que pasan. Por ejemplo, si a un eje simple que pesa entre 8.5 y 9.5 toneladas, se le agrupa en un rango de pesos por eje que tiene como valor representativo de peso por eje, 9 toneladas y su FEE (para un eje de 9 toneladas) es de 1.5, se obtiene entonces, que el paso de 10 ejes simples da como resultado 15 Ejes Equivalentes.

Repitiendo el procedimiento anterior para los demás rangos de cargas por eje y sumando todos los resultados obtenidos, es posible convertir millones de diferentes cargas por eje, en una cantidad: el número de Ejes Equivalentes.

A lo largo del tiempo, se han propuesto variadas expresiones para el FEE. Aún, cuando la definición del Factor Eje Equivalente difiere, la vasta mayoría de ellos se basa en análisis racionales ingenieriles. Los FEE más ampliamente usados son los propuestos por la guía AASHTO, los cuales dependen de las siguientes variables:

- Tipo de pavimento (flexible o rígido).
- Espesor del pavimento (número estructural en los pavimentos flexibles y espesor de losa en pavimentos rígidos).
- Serviciabilidad del pavimento: serviciabilidad inicial y serviciabilidad al final de su vida útil, en términos de los índices de serviciabilidad presente.

La evaluación del deterioro existente en el pavimento a través de los Ejes Equivalentes, presenta una serie de limitaciones. Una de ellas es la que surge al realizar la comparación de las cargas generadas por tránsito, en base a Ejes Equivalentes (ya sea en términos de Ejes Equivalentes por camión o de Ejes Equivalentes totales en un año) entre diferentes secciones, la cual puede ser sólo aproximada llevando a malos entendidos. Ello ocurre debido a que este parámetro depende, además del tráfico, del tipo de pavimento, del espesor y de los niveles de serviciabilidad del pavimento y una variación en ellos no puede ser directamente atribuible a cambios en el flujo de vehículos. Por ejemplo, los Ejes Equivalentes pueden variar de una sección a otra, aún cuando el flujo de tránsito permanezca constante, debido a cambios en el tipo de pavimento o porque el pavimento ha sido rehabilitado.

En la prueba de rodado AASHO, el tránsito acumulado en cada sección de los circuitos correspondió a vehículos con idénticas configuraciones y cargas por eje. El procedimiento de convertir un tráfico variado en aplicaciones de Ejes Equivalentes de 80 kN (18000 lbf o 8,16 Ton) nunca ha sido verificado en terreno. Por otro lado, los factores de equivalencia de carga (FEE) están asociados específicamente a los materiales y a las condiciones de dicha prueba de rodado, haciendo incierta la exactitud en la extrapolación de estos factores para otras regiones, materiales y tipos de deterioro en el pavimento.

Los vehículos pesados, actualmente utilizados, son muy diferentes de aquéllos usados a fines de los años cincuenta y principios de los sesenta, fecha de realización de la prueba de rodado AASHO.

El tradicional método de diseño AASHTO y los nuevos procedimientos empírico-mecanicistas aplican diferentes criterios para evaluar el daño que puede presentar una vía. El criterio de deterioro utilizado en el tradicional método de diseño AASHTO guarda relación con la serviciabilidad, es decir, la evaluación subjetiva de un panel de usuarios, que califican la capacidad funcional de una vía (actualmente existen ecuaciones que permiten correlacionar la serviciabilidad con el IRI).

En los procedimientos de diseño empírico-mecanicistas, se tiene en cuenta que el Factor Ejes Equivalentes se calcula de acuerdo al tipo de deterioro considerado. Por ejemplo, si dicho tipo de deterioro es la deformación en la subrasante en un pavimento asfáltico, el FEE se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Factor EEx} = \frac{\text{Nº de ejes de x peso (kN) que causan una determinada deformación en la subrasante}}{\text{Nº de ejes de 80 kN que causan la misma deformación en la subrasante}}$$

Como se puede apreciar, los procedimientos empírico-mecanicistas verifican deterioros específicos que se pueden presentar en el pavimento (agrietamiento por fatiga, deformación, ahuellamiento, agrietamiento térmico y de tipo longitudinal en pavimentos flexibles; y escalonamientos y agrietamientos, en el caso de los pavimentos rígidos). Los deterioros se modelan a través de ecuaciones calibradas en laboratorio, que requieren, dentro de sus parámetros constitutivos, del número de ejes que pasan durante el período de vida útil del pavimento. Estos modelos forman parte de un análisis de daño de tipo incremental a lo largo del período de diseño del pavimento, los cuales requieren cuantificar el número de ejes circulantes (por rango de pesos por eje, tipo de vehículo, tipo de eje e intervalo temporal).

De este modo, la estimación del daño por medio de Ejes Equivalentes queda obsoleta, dando paso a la aplicación de los espectros normalizados de carga por eje.

Reforzando la idea anteriormente expuesta, es necesario señalar que la cuantificación del daño

expresado en Ejes Equivalentes es inapropiada para evaluar o diseñar pavimentos en función de deterioros específicos, a través de la aplicación de modelos de desempeño del pavimento. A pesar de que los Ejes Equivalentes se han aplicado en las ediciones de la guía AASHTO, las metodologías empírico-mecanicistas, basadas en procedimientos sustentados en modelos de fatiga y funciones de transferencia, requieren datos asociados al número de pasadas de ejes y a la clasificación de vehículos. De esta forma, los datos que en la actualidad se miden en las calles pueden ser directamente utilizados, y no es necesario transformarlos en un parámetro que dependa del deterioro, del tipo de pavimento y de su espesor.

En síntesis, de acuerdo al enfoque presentado tradicionalmente por la guía AASHTO, el colapso de una calle o sección de una vía, guarda relación con un criterio de serviciabilidad última. De acuerdo con el enfoque empírico-mecanicista, este criterio guarda relación con uno o varios tipos de deterioro, asociados a modelos teóricos calibrados en laboratorio y en terreno. Es por ello, que se necesita la contabilización total de la cantidad de ejes que pasan durante el período de vida útil del pavimento, en vez de contabilizar un parámetro que evalúe un deterioro global, en base a una evaluación funcional subjetiva del terreno.

El espectro normalizado de cargas por eje se determina a partir de datos de pesaje en movimiento. Por lo tanto, el nivel de datos de entrada depende de la fuente utilizada para ello (sitio específico, regional o nacional). Para el procedimiento de diseño propuesto en la futura guía AASHTO, los espectros se normalizan de acuerdo a una base anual, debido a que los miembros del comité elaborador de esta nueva guía afirman que no existen diferencias significativas de año a año y de mes a mes, en los datos de pesaje en movimiento, obtenidos del Programa de Desempeños de Pavimentos a Largo Plazo (LTPP) de los Estados Unidos.

### **13.3.2. DATOS DE ENTRADA GENERALES DE TRÁNSITO**

La mayor parte de los datos de entrada que se encuentran bajo esta categoría, definen la configuración de cargas en los ejes y los detalles relacionados con las cargas utilizadas para calcular las respuestas en el pavimento, a excepción del número de ejes por camión y la distancia entre ejes.

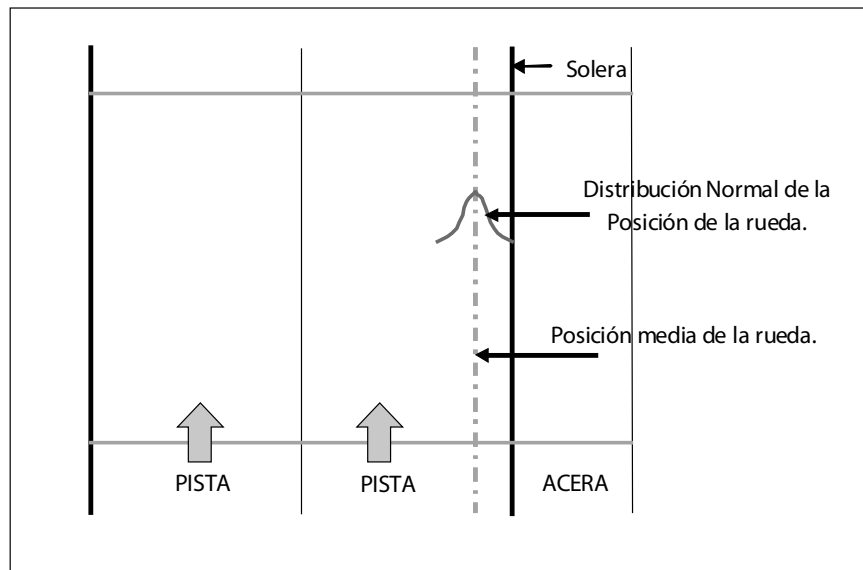
#### **13.3.2.1. Ubicación media de la rueda.**

Es la distancia medida entre el borde exterior de la rueda hasta la línea demarcatoria del pavimento (frontera pista de circulación-solera).

#### **13.3.2.2. Desviación estándar del desplazamiento lateral del tránsito.**

Este parámetro se utiliza para determinar el número de aplicaciones de cargas por eje sobre un punto, a fin de predecir el deterioro y el desempeño de un pavimento. De acuerdo al nivel de entrada de datos, este parámetro se puede determinar a partir de las siguientes formas:

FIGURA 13-1: POSICIÓN DE LA RUEDA EN LA PISTA



### 13.3.2.3. Ancho de la pista o carril de diseño.

Este parámetro guarda relación con el ancho actual de la pista, definido como la distancia medida entre las líneas demarcatorias, para cada uno de los lados de la pista de diseño.

### 13.3.2.4. Configuración de ejes.

Una serie de datos son necesarios para describir las configuraciones de cargas por eje y de rueda típica que se aplican en la vía, debido a que las respuestas calculadas en los pavimentos son generalmente sensibles tanto a la ubicación de ambas ruedas como a la interacción entre varias ruedas en un eje dado. Esta información se puede obtener desde bancos de datos que posean los fabricantes de camiones o medidos directamente en el lugar.

#### 13.3.2.4.1. Ancho promedio del eje.

Consiste en la distancia medida entre los dos bordes exteriores de un eje. Para camiones típicos, se puede asumir un valor de 2,6 metros.

#### 13.3.2.4.2. Espaciamiento entre ruedas en rodados dobles.

Se mide entre los centros de las ruedas componentes de la rueda doble. Un valor típico es de 30,5 cm.

#### 13.3.2.4.3. Espaciamiento entre ejes.

Es la distancia entre dos ejes consecutivos en un eje doble, triple o cuádruple. El valor promedio del espaciamiento entre ejes es de 1,31 metros para ejes dobles y de 1,25 metros para ejes triples y cuádruples. Para el análisis de pavimentos de hormigón con junta simple, el espaciamiento entre los

dos primeros ejes es usado para determinar la ubicación crítica de los ejes en la losa.

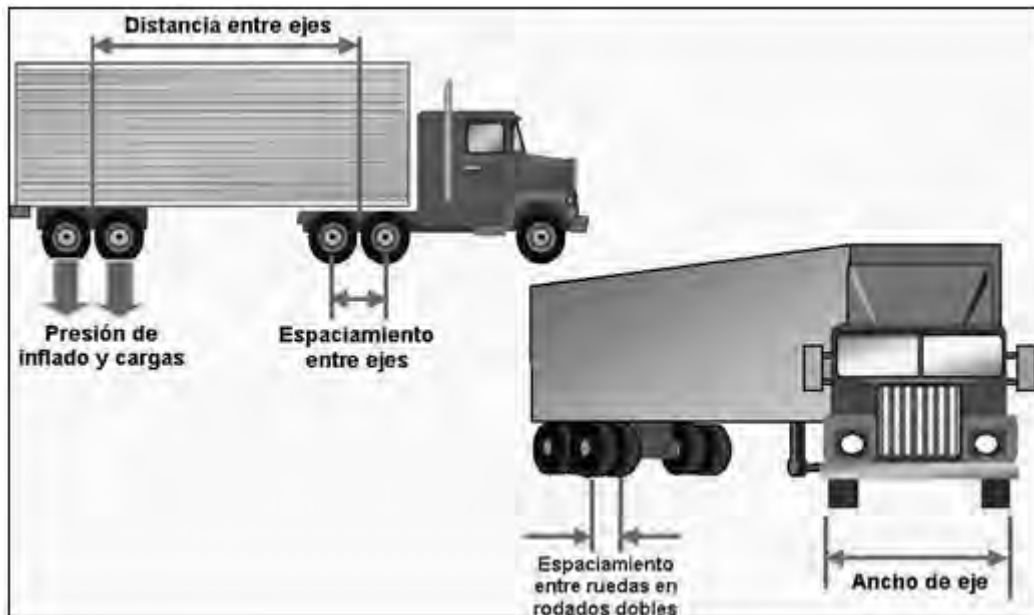
#### 13.3.2.4.4. Número de ejes por camión.

Este parámetro indica el número promedio de ejes existentes en cada camión, por tipo de vehículo pesado y por tipo de eje (simple, doble, triple o cuádruple).

#### 13.3.2.4.5. Distancia entre ejes.

Se necesita una serie de datos para determinar los parámetros asociados a la distancia entre ejes, a fin de calcular las respuestas en el pavimento. Esta información puede ser obtenida directamente de bancos de datos de los fabricantes de camiones o a través de mediciones efectuadas directamente en terreno.

FIGURA 13-2: PRINCIPALES DIMENSIONES EN LOS CAMIONES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO



#### 13.3.2.5. Dimensiones del neumático y presiones de inflado.

Estos parámetros son datos de entrada en los programas de diseño mecanicista.

### ART. 13.4. LOS VEHÍCULOS

#### 13.4.1. DIMENSIONES DE LOS VEHÍCULOS PESADOS

Las dimensiones que se citan a continuación corresponden a las legales vigentes al 10.11.1999, de acuerdo con el Documento de Uso Interno del Centro de Documentación de la Subsecretaría de Transporte.

#### 13.4.1.1. Ancho y alto máximos.

- Ancho máximo: 2,60 m (Con o Sin Carga).
- Alto máximo sobre el nivel de suelo: 4,20 m (Con o Sin Carga).

No obstante la altura máxima indicada, la luz libre o gálibo vertical mínimo que se considera para el diseño de estructuras es de 4,50 m.

#### 13.4.1.2. Longitudes máximas.

Las longitudes máximas de los vehículos pesados y de los elementos remolcables que los componen, son:

- a.) Bus: 13,20 m.
- b.) Bus (Autorizado por Res. N° 62 de 03.12.2001 MINTRATEL): 14,00 m.
- c.) Bus articulado: 18,00 m.
- d.) Camión simple: 11,00 m.
- e.) Semi-remolque corriente (Elemento remolcable): 14,40 m.
- f.) Remolque (Elemento remolcable): 11,00 m.
- g.) Tracto camión con semirremolque corriente: 18,60 m.
- h.) Tracto camión con semirremolque para transporte de automóviles: 22,40 m.
- i.) Camión con remolque: 20,50 m.
- j.) Camión con remolque para transporte de automóviles: 22,40m.

### **13.4.2. PESOS MÁXIMOS**

#### 13.4.2.1. Pesos máximos por eje.

Los pesos máximos de los vehículos pesados y sus tolerancias se encuentran en la siguiente tabla:

TABLA 13-1: PESOS MAXIMOS DEVEHICULOS

TIPO DE EJE	TIPO DE RODADO	[Ton]	TOLERANCIA [Ton]
Simple	Simple	7	0,35
Simple	Doble	11	0,60
Doble	Simple	14	0,70
Doble	Uno doble + uno simple	16	0,75
Doble	Doble	18	0,90
Triple	Simples	19	0,95
Triple	Dos dobles + uno simple	23	1,10
Triple	Doble	25	1,20

- Eje doble es un conjunto de dos ejes cuya distancia entre centros de ruedas es superior a 1,2 metros e inferior a 2,4 metros.
- Eje triple es un conjunto de tres ejes cuya distancia entre centros de ruedas extremas es superior a 2,4 metros e inferior a 3,6 metros.
- Rodado simple es aquel que consta de dos ruedas por eje.
- Rodado doble es aquel que consta de cuatro ruedas por eje.

No obstante el límite señalado para cada conjunto de ejes, cualquiera subcombinación de ejes del conjunto, respeta los límites máximos asignados a ella en forma individual.

#### 13.4.2.2. Peso bruto total.

El Peso Bruto Total queda limitado a los siguientes valores según el tipo de vehículo:

##### a.) Camión semirremolque.

TABLA 13-2: PESO BRUTO TOTAL

CONFIGURACION	PESO BRUTO TOTAL DEL CONJUNTO [Ton]
- Eje posterior Simple o Doble: • Distancia entre Centros Ruedas Extremas [m]: L < 13 13 < L < 15 L > 15	39 42 45
- Eje posterior Triple Independiente de L	45

##### b.) Camión más remolque.

Uno o más remolques, cualesquiera sea la distancia entre ejes extremos, posee un Peso Bruto Total del Conjunto de 45 Toneladas.

## SECCIÓN 14. DISEÑO GEOMÉTRICO DE PAVIMENTOS

### A) EL DISEÑO EN PLANTA

#### ART. 14.1. ANCHO NECESARIO DE CALZADAS Y VEREDA

Tanto las calzadas como las veredas tienen el ancho que indique el perfil transversal aprobado por el instrumento de planificación que corresponda, sea éste el Plan Regulador Intercomunal, el Plan Regulador Comunal o el Plan Seccional del sector respectivo o el Proyecto de Pavimentación.

Estos anchos se estudian atendiendo al tipo de uso del suelo, tipo de vía en estudio, tránsito esperado, volumen y nivel de servicio deseado. (Véase el capítulo 3 del Título II de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones).

En cualquier caso, el ancho de la calzada no puede ser inferior a 3 metros en los pasajes, (salvo en pasajes de pendiente elevada que puede ser 1,2 metros) y a 7 metros en las calles (salvo en vías de un solo sentido que contemplen locomoción colectiva que pueden ser de 6,5 metros), mientras que el ancho mínimo de las veredas es de 1,2 metros, dependiendo del tipo de vía que esté diseñando.

Para los efectos de cálculo de la capacidad vehicular de las vías, así como también para su demarcación, se considera que cada pista no puede tener un ancho inferior a 2,75 metros ni superior a 4 metros, siendo recomendable la utilización de un ancho modular de 3,50 metros.

Se deberá tener en cuenta que, al haberse determinado un ancho óptimo de las pistas, existe una reducción de capacidad si el ancho es inferior, de acuerdo a la siguiente relación:

TABLA 14-1. PORCENTAJE MÁXIMO DE REDUCCIÓN, SEGÚN ANCHO ÓPTIMO DE PISTAS.

Ancho de la pista (m)	% Máx. Reducc. Capacidad
2,75	30
3,00	20
3,25	10

Se propende a que el ancho de las pistas y el ancho total de la vía, permitan la circulación de un número entero de vehículos, de modo que este número sea, de preferencia, un número par. Esta disposición tiene especial importancia en las intersecciones de las vías,

Cuando en el diseño se contemplan elementos de canalización del tránsito, éstos pueden también cumplir con la condición de permitir el paso de un número entero de vehículos. En las zonas en que existan obstrucciones laterales o curvas, se puede aumentar el ancho de la calzada, según se expresa en el Artículo correspondiente.

#### ART. 14.2. USO DE SOLERAS Y OTROS ELEMENTOS DE CONFINAMIENTO

En un pavimento de calzada, el diseño de elementos de confinamiento tiene por objetivo fundamental evitar que los vehículos invadan el espacio destinado al tránsito de peatones. Pero, tales elementos, cumplen además, otros dos objetivos importantes, que son: a) servir de contención lateral del



pavimento e impedir posibles desplazamientos laterales, b) permitir la formación de una cuneta de suficiente capacidad, sin un ancho excesivo, para la adecuada captación de las aguas lluvias.

En el diseño de pavimentos de calzada se emplea como elementos de confinamiento, en forma preferente, las soleras de hormigón vibrado prefabricadas. Puede disponerse, sin embargo, el uso de otro tipo de soleras, tales como soleras de piedra, atendiendo a razones de orden práctico o económico.

Las especificaciones constructivas para las soleras están contenidas en las Especificaciones de Construcción, que se refieren a soleras de hormigón vibrado y de piedra, respectivamente.

La altura de las soleras sobre el borde del pavimento adyacente a ellas no puede ser inferior a 15 cm. Extendiéndose como tal la del punto más alto de la solera.

El uso de las soleras tipos A, B o C, que se mencionan en la Sección 6 del presente Código, se proyectan de acuerdo a la importancia de las vías en estudio, como norma general, en las vías Expresas, Troncales, Colectoras y de Servicio. En vías Locales se emplea soleras tipo A exclusivamente, mientras que en Pasajes pueden usarse también las soleras tipo B y C.

Para las veredas se proyectan elementos de confinamiento en todos los casos en que estén constituidas por elementos o piezas prefabricadas, tales como baldosas o adoquines. En estos casos, el elemento indicado es la solerilla (Sección 6 del presente código). Sin embargo, si el proyectista lo estima necesario, puede diseñar otro tipo de confinamiento con especificaciones especiales para su construcción, las que se someten a la aprobación del Servicio.

Un punto importante en el diseño es, establecer disposiciones constructivas tendientes a evitar la infiltración de agua a través de las posibles discontinuidades que existan en la superficie de contacto, entre los elementos de confinamiento y el pavimento.

## **ART. 14.3. CRUCES A NIVEL Y A DIFERENTE NIVEL**

### **14.3.1. CRUCES A NIVEL**

En las áreas urbanas, la red vial está constituida en un 90 % o más por vías cuyos cruces se producen a nivel (es decir, a un mismo nivel) independientemente de los dispositivos de prevención (señalizaciones, semáforos), que son necesarios para evitar accidentes en tales cruces. El proyectista de las obras de pavimentación deberá considerar en el diseño las siguientes normas fundamentales:

- a.) Dentro de las limitaciones naturales existentes en las áreas urbanas, se procure las mejores condiciones de visibilidad en los cruces.
- b.) No se produzcan discontinuidades en la alineación de los ejes de las vías en los puntos de cruce de los mismos.
- c.) El enlace entre las líneas de soleras de ambas vías sea un arco de círculo con un radio no inferior a 6 m, para permitir que los vehículos puedan girar con comodidad.
- d.) Se procure, en lo posible, que el cruce se produzca en ángulo recto o aproximadamente recto.

### **14.3.2. CRUCES ESPECIALES A NIVEL**

El diseño de cruces especiales a nivel se exige cuando correspondan al encuentro de vías Expresas con vías Troncales o Colectoras. No se proyectan cruces directos entre vías Expresas y Locales o de Servicio. El diseño de un cruce especial a nivel tiene por objeto aumentar la seguridad del tránsito de vehículos y se basa en las siguientes consideraciones:

- a.) La velocidad de los vehículos debe estar limitada en función de la visibilidad. En caso que la velocidad correspondiente, para que esto sea posible, es inferior a la velocidad normal de circulación, se adoptará las medidas tendientes a obtenerla, mediante inflexión de las trayectorias y / o estrechamiento del ancho del pavimento.
- b.) Se recomienda evitar que los vehículos puedan encontrarse en un mismo punto con otras corrientes de circulación; y por consiguiente, tales puntos de encuentro queden lo más separado posible, adoptando una disposición geométrica adecuada.
- c.) Se procure, en lo posible, que los cruces especiales se produzcan en ángulo recto o aproximadamente recto y en ningún caso se proyecten ángulos de cruce inferiores a 60% (sexagesimales), a menos que se usen dispositivos especiales de control de tránsito o de señalización.
- d.) El trazado de las vías y de los islotes de canalización del tránsito en el cruce especial, sugiere ser proyectado de modo de facilitar las maniobras permitidas a los vehículos y de dificultar o imposibilitar las maniobras indeseables o prohibidas.
- e.) Cuando, a juicio del proyectista, el tránsito que circula por la vía Expresa sea intenso, se recomienda estudiar el diseño de vías laterales suplementarias que permitan la entrada y salida de vehículos hacia y desde dicha vía.
- f.) La señalización y demarcación se requiere efectuarlas conforme a las disposiciones vigentes.

### **14.3.3. CRUCES GIRATORIOS**

Los cruces giratorios se usan como solución de diseño cuando se cruzan dos o más vías, en forma tal que la circulación dentro del cruce tenga sentido único. La separación de los tránsitos que emergen o acceden desde o hacia las diferentes vías se obtiene mediante longitudes de entrecruzamiento suficientes entre dos vías consecutivas; con este fin se adopta en el diseño una velocidad de circulación no superior a 60 Km. por hora.

La forma geométrica de los cruces giratorios pueden ser aproximadamente circular o elíptica, se opta por la forma elíptica cuando sea necesario disponer de diferentes longitudes de entrecruzamiento, en razón de la diferente importancia relativa de las vías que se cruzan.

### **14.3.4. CRUCES A DIFERENTE NIVEL**

Los cruces a diferente nivel sólo se proyectan en cruces de dos vías, limitándolos a los casos en que ambas sean Expresas, o bien, una de ellas, sea Expresa y la otra Troncal o Colectora.

A fin de determinar la conveniencia o necesidad de construir con cruces a diferente nivel, cuando las obras sean financiadas por el Estado, se recomienda al proyectista hacer un estudio en que se comparen el costo de producción de esta obra y el costo que significa prescindir de ella, teniendo en consideración factores tales como: seguridad para los vehículos y peatones, demoras ocasionadas por las detenciones, mayor gasto de combustible, congestionamiento y aumento de la contaminación ambiental.

En un cruce a diferente nivel, una de las vías preferentemente mantiene su trazado en altura a nivel del terreno circundante, mientras que la otra pasa por encima o por debajo de ella. En el primer caso, se habla de un paso sobre nivel y en el segundo, de un paso bajo nivel, desde el punto de vista estructural, se trata de un puente, cuyo proyecto se incorpora al proyecto general de la obra.

Para permitir el paso de los vehículos de una vía a otra, se diseñan las vías de enlace, cuyo trazado responde, en lo posible, al de una curva geométrica característica; por lo general un arco de círculo, de ovoide o de clotoide. En el proyecto se deberá tener presente los siguientes puntos importantes:

- a.) Los giros de los vehículos se efectúen hacia la derecha salvo en casos muy justificados en que no se comprometa la seguridad.
- b.) La velocidad de circulación que se considere en las vías de enlace no sea mayor de un 70% de la velocidad de circulación en las vías que se cruzan.
- c.) Las vías de enlace tengan un solo sentido de tránsito y 4 metros de ancho como mínimos.
- d.) Los pasos sobre o bajo nivel cumplan con las siguientes características: Altura mínima 4,30 metros, ancho total: de la calzada más 1,20 metros de acera a cada lado como mínimo. Si el puente tiene apoyos o pilares intermedios, se deja como mínimo 1,20 metros libres a ambos lados de la línea de pilares.
- e.) La pendiente más adecuada para las vías de enlaces sea de un 4 % a un 6%.
- f.) Las vías de enlace tengan aceras en uno de los costados a lo menos.
- g.) El número de vías de enlace (dos o más), se fije de acuerdo a la importancia de las vías que se cruzan.
- h.) Cuando sea previsible que una vía de enlace soporte una intensidad de tránsito de cierta importancia, su capacidad se determine considerando, además de su ancho, características geométricas y velocidad de circulación, el número de entradas y salidas de vehículos que se estime en el estudio correspondiente.
- i.) La entrada y salida de vehículos desde y hacia la vía Expresa se puede facilitar mediante vías de aceleración o deceleración, adyacentes a ella y equivalentes a un ensanche de la calzada (Véase volumen 3 del Manual de Vialidad Urbana).
- j.) Reviste especial importancia el problema del desagüe en los pasos bajo nivel, cuya solución es materia de un estudio complementario dentro del proyecto correspondiente.

#### ART. 14.4. CURVAS HORIZONTALES

El diseño de las curvas horizontales debe estar relacionado con dos variables fundamentales: la visibilidad y la velocidad máxima de los vehículos.

A fin de satisfacer las condiciones que resulten de los valores que se adopten para cada una de las variables señaladas, se recomienda aplicar los siguientes criterios de diseños:

- a.) Las curvas tengan el radio y el peralte necesarios para evitar los peligros derivados de la falta de visibilidad y de la acción de la fuerza centrífuga.
- b.) El paso de la alineación recta a la curva se haga, si es preciso, mediante una curva de transición.
- c.) En las vías de alta velocidad (Expresas y algunas Troncales) se diseñe un sobreebanco en las curvas, si es necesario.

El radio de la curva se puede calcular mediante las fórmulas que relacionan las variables a que se ha hecho referencia. En todo caso no se adoptará un valor inferior al que se indica a continuación:

Para vías Expresas:           100 metros.

Para vías Troncales:           60 metros.

En el proyecto se debe especificar los siguientes datos de la curva horizontal: radio, ángulo en el centro, longitud de las tangentes, longitud o desarrollo de la curva, longitud de la secante. Además, se recomienda indicar la posición exacta del principio y fin de la curva, mediante el valor correspondiente del metraje o kilometraje acumulado desde el punto origen o cero del proyecto, y la posición geométrica del proyecto, y la posición geométrica del vértice.

#### ART. 14.5. CURVAS DE TRANSICIÓN

Las curvas de transición, intercaladas entre una curva horizontal y las alineaciones rectas inmediatas a ella, se pueden usar en los casos en que el proyectista lo considere necesario. Para ello, se analizan las variables que intervienen en el problema, como son: longitud de la transición, velocidad mínima y radio de la curva circular. Se usa la curva de transición siempre que la longitud que para ella se obtenga sea de un valor significativo, lo cual se deja a criterio del proyectista.

Para la determinación de la longitud de transición se pueden aplicar las fórmulas de uso habitual en este caso.

A su vez, puede emplearse como curvas de transición las siguientes curvas geométricas:

- a.) Clotoide o espiral de transición.
- b.) Ovoide.
- c.) Lemniscata.

d.) Parábola cúbica.

e.) Círculo de radio mayor al de la curva circular.

Para el replanteo de la curva de transición proyectada, se requiere indicar un número suficiente de puntos con sus respectivas coordenadas ortogonales o polares; además, el metraje o kilometraje medido desde el origen o punto cero del proyecto, correspondiente al principio y fin de la curva.

#### **ART. 14.6. DISEÑO GEOMÉTRICO DE LAS JUNTAS EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN**

En las Especificaciones de Construcción se mencionan los diferentes tipos de juntas usados en los pavimentos de hormigón, su ubicación sobre el pavimento y la distancia a la que son construídas. En este caso, se debe definir la disposición geométrica a usar, especialmente en las juntas de contracción, a fin de evitar la formación de puntos o zonas débiles y de potencial aparición de grietas.

La disposición geométrica en planta de las juntas debe ser la de alineamientos rectos, con intersecciones perpendiculares entre sí; de no ser posible lo anterior, se pueden formar ángulos de 60° como mínimo, sin quiebre; y unión a las soleras en forma ortogonal. La consideración de estos aspectos puede tender a la formación de paños de calzada rectangulares o, en todo caso, en forma de polígono rectangular o simétrico.

Se pondrá especial cuidado en la distribución de las juntas en los sectores conflictivos por su forma geométrica irregular, tales como los cruces de calles, tanto a nivel como a diferente nivel; se procure cumplir con lo indicado anteriormente, como además, se requiere tratar que las superficies de los paños sean aproximadamente iguales y en ningún caso superior a 20 metros cuadrados.

#### **ART. 14.7. ESTACIONAMIENTOS**

En general, el estacionamiento de vehículos puede efectuarse tanto en sitios de propiedad privada, como en bienes nacionales de uso público, debiendo, en este caso satisfacer los presentes requerimientos.

La posibilidad de estacionar en terrenos de uso público admite, a su vez, dos casos a considerar: a) sobre la calzada, y b) en áreas especiales destinadas a tal fin.

##### **14.7.1. ESTACIONAMIENTOS**

Sobre la calzada se puede considerar admisible el estacionamiento de vehículos en forma limitada, en vías Colectoras, de Servicio y Locales, teniéndose presente la reglamentación edilicia correspondiente, sin embargo, el estacionamiento en vías Expresas y Troncales no es autorizado.

##### **14.7.2. ESTACIONAMIENTO EN ÁREAS ESPECIALES**

Cuando el instrumento de planificación respectivo contemple áreas especiales de estacionamiento de vehículos, situados fuera de la calzada, se deberá cumplir en el diseño con las prescripciones que se establece a continuación:

a.) Dimensionamiento: Las dimensiones de un área de estacionamiento dependen fundamentalmente del número de plazas que se considere, de la disposición geométrica de éstas y de los espacios necesarios para las evoluciones y la entrada y salida de vehículos. Las dimensiones mínimas para áreas unitarias de estacionamiento son: 4,50 metros de largo por 2,25 metros de ancho; tales dimensiones se aumentan según sea la disposición geométrica de dichas áreas y su posición relativa con respecto a obstáculos fijos adyacentes.

b.) Capacidad: La capacidad de un estacionamiento se determina de acuerdo a los requerimientos de demanda considerados, está expresada por el número de plazas o áreas unitarias de estacionamiento. Obviamente, se considera en la determinación señalada, los espacios accesorios mencionados en a). Normalmente se requieren entre 20 y 30 metros cuadrados de superficie total por cada área unitaria, incluyendo dichos espacios accesorios, a fin de que el estacionamiento funcione en forma adecuada, puede estimarse, a priori, un promedio de 25 metros cuadrados por plaza.

c.) Separación de la Calzada: Cuando un área de estacionamiento tenga una superficie útil superior a 100 metros cuadrados, se dispone de una faja de separación con la calzada de tránsito adyacente, de uno o dos accesos, con un ancho no superior a 4 metros si existe un sólo sentido de circulación y no superior a 7 metros si existe doble sentido de circulación. La faja de separación consiste en un bandejón limitado por soleras y de un ancho no inferior a un metro.

d.) Emplazamiento: Se debe verificar que las áreas especiales de estacionamiento, en ningún caso, perturben la circulación peatonal por las aceras, como tampoco interfieran en sus accesos con el tránsito de vehículos en la calzada adyacente. En otras palabras, es necesario respetar la continuidad y el ancho de las aceras y disponer los accesos (entradas y salidas) de estas áreas, en tal forma que permitan que los vehículos puedan operar en forma cómoda y libre de riesgos.

e.) Pavimento: La condición superficial de un estacionamiento se asimila al de la calzada adyacente. En general, se requiere de un pavimento de asfalto u hormigón. El diseño de estos pavimentos se hace de acuerdo a las disposiciones contenidas en las secciones correspondientes del presente texto.

f.) Disposición Geométrica: Las áreas unitarias de estacionamiento pueden disponerse, con relación al eje de calzada, formando ángulos comprendidos entre 0° y 90°, de modo que los vehículos puedan estacionarse en posición paralela o perpendicular a dicho eje o en cualquier posición intermedia. Se recomienda tener presente que, según sea, dicha disposición, puede haber una capacidad diferente y fluidez dentro del estacionamiento y, en consecuencia, se demarca adecuadamente cada una de las plazas, a fin de que se logre efectivamente tales condiciones.

#### *B) EL DISEÑO ALTIMÉTRICO*

### **ART. 14.8. TRAZADO DE LA RASANTE, PENDIENTES LONGITUDINALES**

La rasante del pavimento se estudia y determina de acuerdo a las condiciones topográficas, de mecánica de suelos y de drenaje correspondientes.

Se entiende por rasante, la línea del eje de la superficie de la calzada de cualquier vía, que corresponde al trazado del perfil longitudinal de la misma y cuyas cotas están medidas respecto a un cierto plano horizontal de referencia.

En las vías urbanas tiene especial importancia la consideración, dentro de este problema, de las cotas de cimientos y sobrecimientos de las edificaciones contiguas, sin perjuicio de lo anterior, se recomienda que el proyectista minimice el volumen del movimiento de tierras, en función de la longitud y de la pendiente de la rasante.

Los puntos bajos del trazado se ubican donde la evacuación de las aguas lluvias sea más conveniente, por otra parte, se procura que los puntos altos no coincidan con alguna curva horizontal, ya que, si esto sucede, se agrega un segundo factor de reducción de la visibilidad al que representa, de por sí, dicha curva.

En los pavimentos de hormigón, o de asfalto, la pendiente longitudinal mínima recomendable es de 3 ‰ (tres por mil), no obstante, si fuese forzoso adoptar una pendiente inferior a dicho valor, el proyectista deberá, junto con tal solución, demostrar que ello no significa problemas en la evacuación de las aguas. Para otros tipos de pavimento (adoquines, macadam hidráulico, afirmados granulares, maicillo, etc.), no puede emplearse pendientes longitudinales inferiores al 5 ‰ (cinco por mil).

Por otra parte, el valor máximo recomendable para la pendiente longitudinal es del 8% en calzadas con pavimento de hormigón, asfalto o adoquines, y del 4% para los demás tipos de pavimento.

El proyectista debe tener en cuenta, que el uso de pendientes muy altas o muy bajas, que se encuentren cerca de los límites señalados o queden fuera de los mismos, puede tener consecuencias desfavorables, debido a la acción de las aguas, ya que pueden presentarse problemas de infiltraciones con saturación de las capas de infraestructura, como también problemas de erosión o desgaste superficial. Se debe estudiar el régimen de precipitaciones y el escurrimiento en los casos en que estos lleguen a sus niveles más altos.

#### **ART. 14.9. CURVAS VERTICALES**

Cada vez que la línea de la rasante sufra un cambio de pendiente superior al 4%, (deflexión), ya sea por acomodo al terreno o por la ubicación de puntos bajos, es necesario enlazar los dos tramos rectos mediante una curva vertical parabólica o circular. De acuerdo al ángulo que ambas direcciones formen entre sí, la concavidad de la curva puede estar dirigida hacia arriba o hacia abajo.

El radio de la curva circular o la constante de la parábola se elige de modo que se obtenga una distancia de visibilidad adecuada. En el caso de curva circular, no se deberá emplear radios inferiores a 200 metros en las curvas convexas o con su concavidad hacia arriba ni inferiores a 400 metros en las curvas cóncavas o con su concavidad hacia abajo. Se recomienda en lo posible, emplear radios iguales o superiores a 700 metros y a 1000 metros, respectivamente.

Se debe verificar que en el proyecto se indiquen los siguientes datos de la curva vertical: radio de la curva circular o flecha de la parábola, según sea el caso, longitud de la tangente, ángulo de deflexión y kilometraje o metraje en el principio y fin de la curva, medida desde el punto origen.

#### **ART. 14.10. PERFILES TRANSVERSALES DE CALZADAS EN CALLES**

Para ofrecer las mejores condiciones al tránsito de vehículos la forma mas conveniente de la intersección entre la superficie de una calzada y un plano vertical perpendicular al eje de la misma puede ser una línea recta horizontal. Sin embargo, la necesidad de permitir un mejor escurrimiento

de las aguas lluvias hace necesario dar a dicha intersección o perfil transversal de la calzada una forma diferente, de modo que la altura sea máxima en el centro y descienda hacia los costados, otorgando así una determinada pendiente transversal al pavimento.

En vías urbanas, las aguas no disponen de evacuación lateral y existe, por lo tanto, acumulación de ellas sobre el pavimento, por consiguiente, es necesario adoptar las medidas necesarias para su evacuación, disponiendo la colocación de desagües o sumideros conectados a la red de aguas lluvias, a una determinada distancia el uno del otro.

Entre un punto de evacuación y el siguiente hay un determinado volumen de aguas acumuladas, las que se canalizan a lo largo de los costados de la calzada y en forma tal que el ancho cubierto por las aguas sea el mínimo posible, a fin de evitar molestias, tanto a los vehículos como a los peatones. Para ello, es necesario disponer de pendientes transversales.

Para determinar el valor de esta pendiente, es necesario considerar una serie de factores: intensidad y duración de las precipitaciones muy variables, según sea la zona del país en que deba trabajarse; distancia a que se encuentran o se proyectan los sumideros y su capacidad de absorción, pendiente longitudinal y ancho de la calzada.

En todo caso, no es recomendable en general usar pendientes transversales superiores al 3%, que pueden afectar a la necesaria estabilidad de los vehículos.

De acuerdo a lo anterior, la solución más simple para el perfil transversal, es la de una doble vertiente plana, cuya intersección con el plano vertical de referencia consiste en dos rectas simétricas respecto al centro de la calzada, que constituye su punto de encuentro. Sin embargo, es conveniente eliminar el quiebre de las pendientes de dichas rectas, para lo cual se usa una curva de enlace de un radio similar al indicado en el apartado anterior. Sin embargo, tal medida no es necesaria cuando la diferencia de pendientes sea inferior al 4 %.

La solución expresada, en que la parte central del perfil transversal es una curva, puede hacerse extensiva a todo el ancho de éste, lo cual ofrece la ventaja de que las zonas vecinas a las soleras, que son poco usadas por los vehículos, pueden tener mayor pendiente y así se reduce el ancho cubierto por las aguas lluvias. Existe, sin embargo, el problema de una mayor dificultad constructiva, por consiguiente, la necesidad de usar equipos más sofisticados.

El proyectista decide sobre el tipo de solución para cada caso en particular.

#### **ART. 14.11. PERFILES TRANSVERSALES DE PASAJES Y ACERAS**

En los Pasajes, por lo general, el pavimento es una faja de 3 metros de ancho, con veredones en tierra a ambos costados. Si el Pasaje es de poca longitud (50 m) con pendiente en un sólo sentido se puede usar un perfil transversal horizontal. Para una longitud mayor, es conveniente usar un perfil a dos vertientes, similar al de calzada de calles con una pendiente transversal de 1% a 2%; esta solución es apropiada siempre que no se prevea acumulación de aguas en los veredones o que se considere difícil su pronta evacuación, ya que pueden ocurrir infiltraciones que afecten a las capas inferiores o a la subrasante del pavimento. En tal caso, una mejor solución consiste en usar un perfil a dos vertientes en posición invertida, es decir, con su punto más bajo en el centro del pavimento, complementada mediante la colocación de sumideros para la recolección de las aguas, conectados a un sistema de



captación o bien mediante pozos de infiltración. En las aceras, la pendiente transversal deberá estar dirigida hacia la calzada, y no sea inferior a un 2%.

#### ART. 14.12. PERALTE EN CURVAS HORIZONTALES

La necesidad de disponer de un determinado peralte en las curvas horizontales está relacionada directamente con el valor de la velocidad máxima de los vehículos, del radio de la curva y del coeficiente de fricción entre neumáticos y pavimento. Estos valores que para cada vehículo, de acuerdo a su peso propio y demás características especiales, determinan el valor de las fuerzas, centrífuga y resistente determinan también el peralte de la curva, permitiendo que las fuerzas de deslizamiento y de volcamiento, calculadas en base a las dos anteriormente mencionadas, no sobrepasen los límites aceptables.

Se recomienda tener presente, además, para fijar el valor del peralte, las siguientes observaciones:

- a.) Para un radio y un peralte determinados, la condición de deslizamiento limita en mayor proporción la velocidad que la condición de volcamiento.
- b.) Para un radio determinado, el aumento del peralte aumenta en muy pequeña proporción la velocidad máxima admisible.

Para fijar el máximo valor aceptable del peralte, puede emplearse la definición de “grado de curvatura” ( $C^\circ$ ), que es el ángulo en el centro correspondiente a un desarrollo de 100 pies (30,5 metros). Si  $R$  es el radio de la curva en metros, el grado de curvatura es:

$$C^\circ = \frac{1746}{R}$$

Calculado este valor, el peralte máximo admisible se puede determinar de acuerdo a la tabla siguiente:

TABLA 14-2. CÁLCULO PERALTE MÁXIMO ADMISIBLE.

$C^\circ$ (grados)	2	3	4	5	Sobre 5
Peralte (%)	2,8	4,2	5,6	7	7,0

El peralte más adecuado se determina por el proyectista, de acuerdo a lo expresado anteriormente.

#### ART. 14.13. TRANSICIÓN DE PERALTE

Una vez determinado el peralte de una curva, se establece una longitud de transición para pasar desde el perfil transversal normal de la calzada hasta el perfil peraltado, lo cual puede hacerse en la misma longitud de la curva de transición horizontal, de existir ésta.

Para el trazado de esta transición de peralte se determinan las generatrices de la superficie de la calzada cada cierta distancia; para esto suele imponerse la condición de que el perfil longitudinal del borde exterior, o sea, el que se conecta al borde exterior de la curva, sea una recta cuya pendiente respecto al eje oscile entre 1,5 y 2 %.

Si el perfil transversal está formado por dos rectas AC y BC, se empieza por hacer girar BC en torno de C, apoyándola en el borde exterior, para continuar después dicho giro en torno de A hasta alcanzar el valor del peralte.

Si el perfil transversal es una curva, se trazan tangentes sucesivas desde el extremo B hasta el extremo A, continuando después el giro en torno de A.

Las generatrices pueden también apoyarse en el eje en lugar de hacerlo en su borde interior. Utilizando este procedimiento en el perfil en ángulo, hay que girar las dos vertientes alrededor de C en el mismo sentido, hasta que se sitúen una en prolongación de la otra en el punto que se alcance el valor del peralte. Si el perfil transversal es curvo, se levantan simultáneamente ambas vertientes mediante tangentes, hasta llegar a un perfil horizontal, continuando después el giro entorno al eje de la vía, hasta alcanzar el valor total del peralte.

Este método de transición puede aplicarse al empalme de dos calzadas con diferente forma de perfil transversal.



## SECCIÓN 15. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

### ART. 15.1 GENERALIDADES

Un pavimento de hormigón consiste básicamente en losas de hormigón simple o armado, apoyadas directamente sobre una base.

Considerando que la rigidez del hormigón es mucho mayor que la del material de apoyo, la capacidad de carga está determinada fundamentalmente por la losa misma. Dicho de otra forma, la losa tiene un gran efecto repartidor de carga y la presión de contacto entre la losa y su fundación es sólo una pequeña fracción de la presión superficial. Este efecto se denomina usualmente como “acción de viga” de los pavimentos rígidos.

El diseño estructural de un pavimento de hormigón está condicionado por una serie de factores incidentes, tanto externos como propios de éste. Dentro de ellos se encuentran los siguientes:

- Espesor, longitud y ancho de la losa.
- Diseño y tipo de juntas (forma y esparcimiento).
- Características climáticas y de drenaje.
- Expectativas de construcción y mantenimiento.
- Módulo de reacción de la subrasante K.
- Tráfico solicitante, expresado en Ejes Equivalentes (EE).
- Propiedades del hormigón.
- Tipo de confinamiento.

Los métodos de diseño que se utilizan, varían de acuerdo al tipo de vía a construir. En el caso de vías de bajo tránsito: Pasajes, Calles Locales y de Servicio, se utiliza un método de Diseño Mecanicista (limita esfuerzos y deformaciones en la losa de hormigón), mientras que en vías de alto tránsito (Vías Colectoras, Troncales, Expresa) se utiliza un enfoque de diseño empírico-mecanicista (basado en la serviciabilidad), el cual se presenta en la Guía de Diseño AASHTO 98. Ambos enfoques se desarrollan en extenso en la presente sección.

### ART. 15.2 TIPOS DE PAVIMENTOS

Existen varios tipos de pavimentos de hormigón. En orden de menor a mayor costo inicial de construcción, estos son:

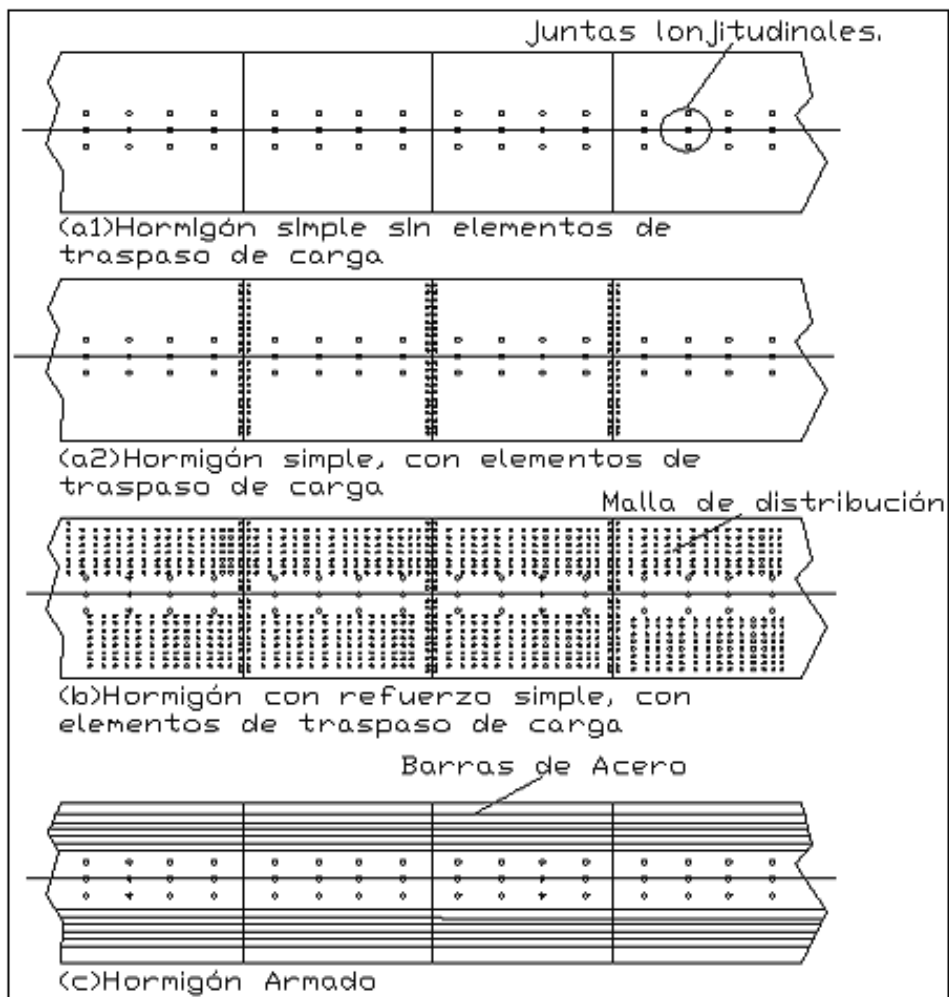
a.) Pavimentos de hormigón simple con juntas poco espaciadas:

- Sin elementos de traspaso de carga.
- Con elementos de traspaso de carga.

b.) Pavimentos de hormigón con refuerzo simple, con elementos de traspaso de carga y juntas espaciadas.

- c.) Pavimentos de hormigón armado.
- d.) Pavimentos de hormigón armado pretensado o postensado.

FIGURA 15-1: TIPOS DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN



## ART. 15.3 ASPECTOS GENERALES

### 15.3.1. TIPOS DE JUNTAS

El diseño de las juntas forma parte integrante del sistema estructural de los pavimentos de hormigón, ya que sus características (espaciamiento, tipo, dimensiones, etc.) son un factor importante a considerar con relación a las tensiones de la losa y durabilidad del pavimento. Se distinguen los siguientes tipos de juntas:

- Juntas longitudinales.
- Juntas transversales de dilatación.

- Juntas transversales de contracción.
- Juntas transversales de construcción.

#### 15.3.1.1. Juntas longitudinales.

Las juntas longitudinales tienen como principal objetivo controlar la formación de grietas longitudinales que tienden a producirse debido a los efectos combinados de cargas y alabeo.

Como elemento de transmisión de cargas se utiliza la interacción mecánica provocada por la traba de las caras de unión y la colocación de barras de acero con resaltes, que mantienen unidas las losas, actuando como elementos de articulación (ver Figura 15-2).

FIGURA 15-2: JUNTAS LONGITUDINALES ARTICULADAS

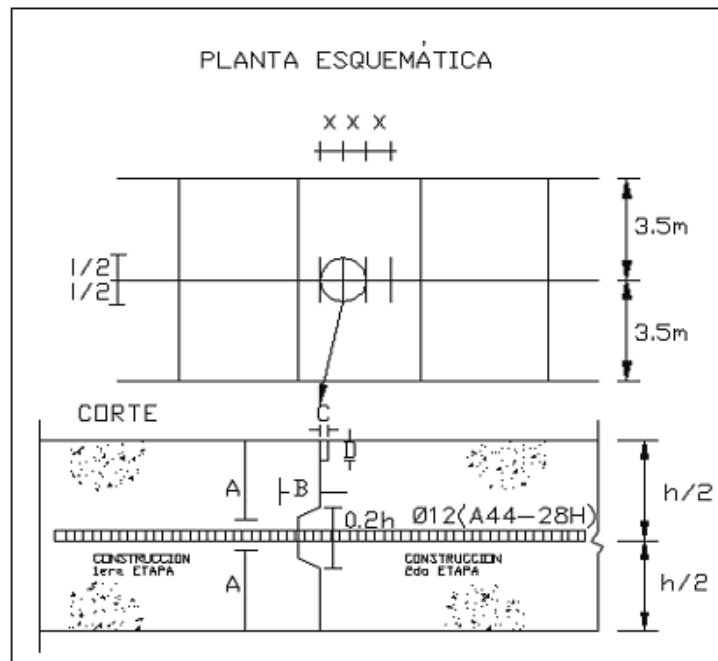


TABLA 15-1: DIMENSIONES JUNTA LONGITUDINAL

Espesor Pav. H (cm)	Dimensiones (cm)					
	A	B	C	D	I	X
15 a 20	6 - 8	2 - 3	0,5 - 1,0	2,0 - 3,0	63	120
20 a 24	8 - 10	2 - 3	0,5 - 1,0	2,0 - 3,0	63	100
24 a 28	10 - 12	2 - 3	0,5 - 1,0	2,0 - 3,0	63	90

#### 15.3.1.2. Juntas transversales de dilatación.

Las juntas de dilatación son el elemento más débil del pavimento y es allí donde con más frecuencia se presenta el fenómeno de erosión por surgencia (bombeo de finos).

Si se adoptan longitudes excesivas entre juntas de dilatación consecutivas, se produce una concentración de esfuerzos de tracción y compresión que puede llegar a producir “blow up”, por efecto de pandeo.

Las juntas dejan de funcionar como tales, ya sea porque se introducen elementos extraños en ellas o están muy distanciadas unas de otras (más de 200 m).

### 15.3.1.3. Juntas transversales de contracción.

Las juntas transversales de contracción tienen como función básica, la de controlar la formación de grietas y/o fisuras derivadas de la retracción del hormigón en su proceso de endurecimiento. Estas juntas controlan además el efecto del alabeo. Cuando una losa se contrae uniformemente por una disminución de su temperatura media o de su contenido de humedad, aparecen, por roce con la base, tensiones de tracción. Colocando juntas transversales a distancias apropiadas, estas tensiones quedan reducidas a límites admisibles.

En el caso del alabeo, la junta actúa como una articulación imperfecta, reduciéndose así la luz libre de flexión.

Considerando que las juntas de dilatación, o no existen o se tiende a separarlas excesivamente, se proyectan juntas de contracción y alabeo a poca distancia.

En general, el distanciamiento recomendado para pavimentos sin armar y sin barras de traspaso de cargas es de 3,5 a 4 m.

FIGURA 15-3: JUNTAS TRANSVERSALES DE CONTRACCIÓN

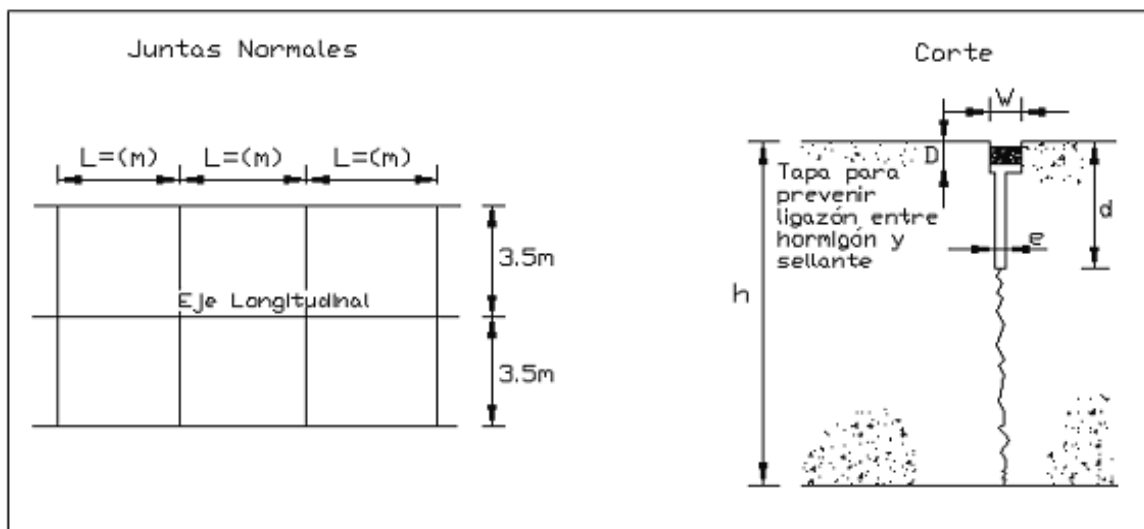


TABLA 15-2: DIMENSIONES JUNTA TRANSVERSAL

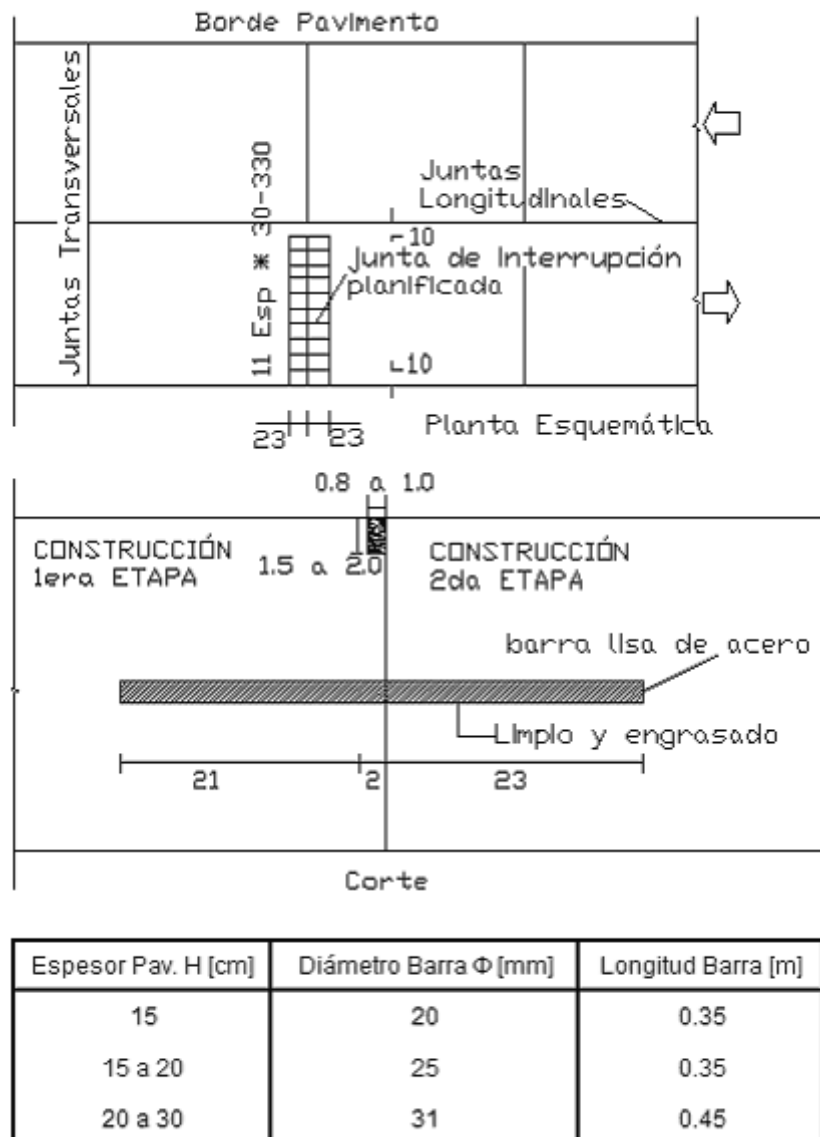
Espesor Pav. H(cm)	19 - 20	21 - 22	23 - 24	15 - 16	17 - 18
Factor de forma $\frac{W}{D}$	0,8 a 1,2	0,8 a 1,2	0,8 a 1,2		
Ancho superior W (cm)	0,9 a 1,1	0,9 a 1,1	0,9 a 1,1		
Profund. Sellado D (cm)	1,0 a 1,2	1,0 a 1,2	1,0 a 1,2	4 a 5	4,5 a 5,5
Profund. junta d (cm)	5 a 6	5,5 a 6,5	6,0 a 7,0		
Abertura. junta e (cm)	0,4 a 0,6	0,4 a 0,6	0,4 a 0,6		

#### 15.3.1.4. Juntas transversales de construcción.

Cuando se ejecute una interrupción planificada de la pavimentación, ésta se hace en un lugar de coincidencia con una junta normal de contracción y las barras de traspaso de carga se colocan en la forma indicada en la Figura 15-4:



FIGURA 15-4: JUNTAS TRANSVERSALES DE CONSTRUCCIÓN



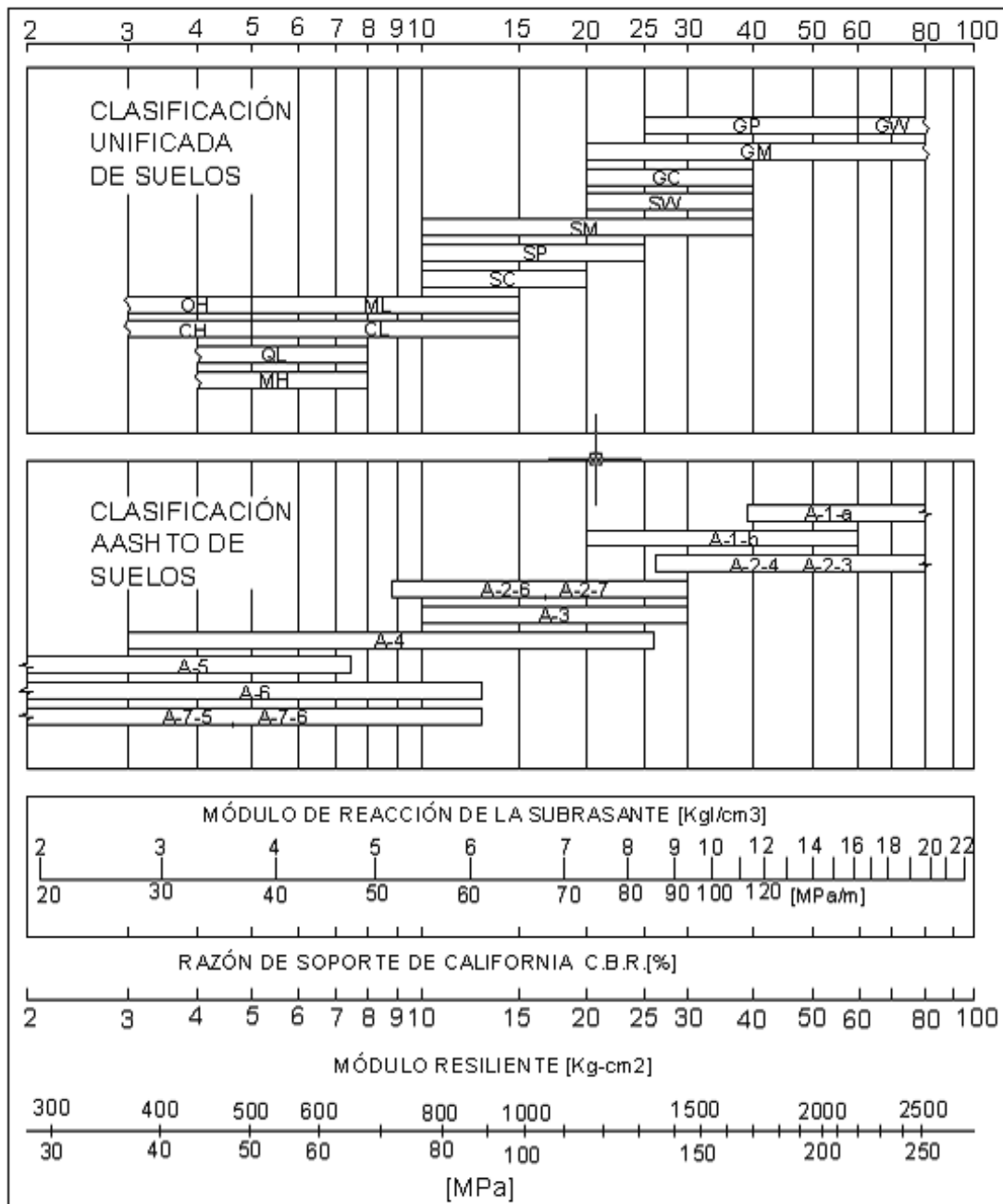
En cuanto al material de sello de las juntas mencionadas, se recomienda que éste quede 4 mm por debajo de la rasante del pavimento.

### 15.3.2. SUBRASANTE Y BASE

Un factor de relativa importancia en el diseño de espesores de un pavimento de hormigón es la calidad del suelo que conforma la subrasante. Éste, usualmente se refiere al módulo de reacción de la subrasante “k”, que representa la presión de una placa circular rígida de 76 cm de diámetro dividida por la deformación que dicha presión genera. Su unidad de medida es el  $\text{kg/cm}^2/\text{cm}$  ( $\text{kg/cm}^3$ ).

Debido a que el ensayo correspondiente (Norma AASHTO T222-78) es lento y caro de realizar, habitualmente se calcula correlacionándolo con otro tipo de ensayos más rápidos de ejecutar, tales como la clasificación de suelos o el ensayo CBR (Figura 15-5 y lámina tipo N° 15-1 del Apéndice III).

FIGURA 15-5: RELACIONES APROXIMADAS ENTRE SOPORTE DE SUELOS Y SU CLASIFICACIÓN



La relación más usada es la correspondencia CBR-k. Sin embargo, esta relación puede conducir a errores importantes en la determinación de k, particularmente en los suelos finos de bajo poder de soporte. El ensayo CBR opera en la fase plástica del suelo, llegando a su rotura en circunstancias que la medición del módulo k opera en su fase elástica. Por otra parte, aún cuando se ejecute el ensayo CBR sobre muestras de suelo relativamente inalteradas, no se detectan plenamente los efectos tixotrópicos propios de los suelos finos.

La relación más confiable para estimar el módulo k es la que se obtiene de la deflexión elástica superficial (Viga Benkelman).

Con el propósito de diseñar pavimentos se puede utilizar la siguiente relación:

$$k = 22 \cdot e^{0.8 \cdot \Delta}$$

Donde:

k: Módulo de reacción de la subrasante en kg/cm<sup>3</sup>.

Δ: Deflexión elástica superficial en mm (viga Benkelman).

Para fines prácticos se propone la siguiente tabla:

TABLA 15-3: MÓDULO DE REACCIÓN K DE ACUERDO AL TIPO DE SUELO

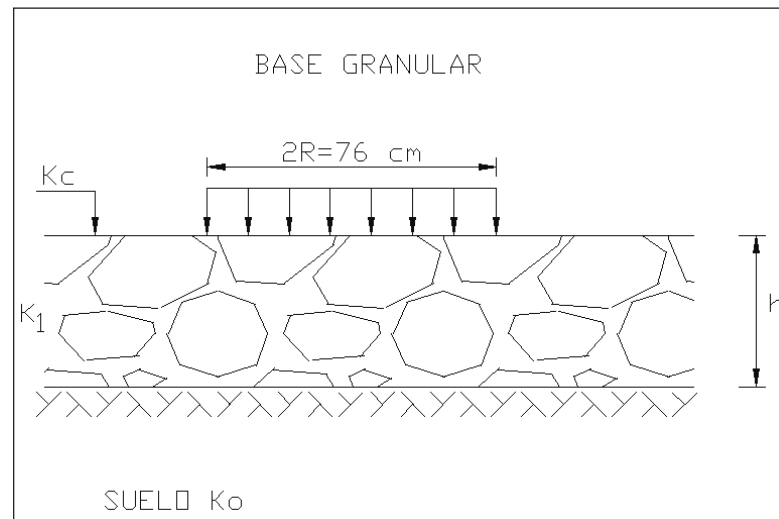
Clasificación AASHTO	Clasificación Unificada (U.S.C.S.)	Densidad Seca (kg/m <sup>3</sup> )	CBR (%)	Valor K (MPa/m)
<b>Suelos granulares</b>				
A-1-a bien graduado	GW	2002.3 - 2242.5	60 - 80	81.3 - 121.9
A-1-a pobremente graduado	GP	1922.2 - 2082.3	35 - 60	81.3 - 108.4
A-1-b	SW	1761.9 - 2082.3	20 - 40	54.2 - 108.4
A-3	SP	1681.9 - 2082.3	15 - 25	40.7 - 81.3
<b>Suelos A-2</b>				
A-2-4	GM	2082.3 - 2322.6	40 - 80	81.3 - 135.5
A-2-5	GM	2082.3 - 2322.6	40 - 80	81.3 - 135.5
A-2-4	SM	1922.2 - 2162.4	20 - 40	81.3 - 108.4
A-2-5	SM	1922.2 - 2162.4	20 - 40	81.3 - 108.4
A-2-6	GC	1922.2 - 2242.5	20 - 40	54.2 - 121.9
A-2-7	GC	1922.2 - 2242.5	20 - 40	54.2 - 121.9
A-2-6	SC	1681.9 - 2082.3	10 - 20	40.7 - 94.9
A-2-7	SC	1681.9 - 2082.3	10 - 20	40.7 - 94.9
<b>Suelos finos</b>				
A-4	ML, OL	1441.6 - 1681.9	4 - 8	6.8 - 44.7 *
A-4	ML, OL	1601.8 - 2002.3	5 - 15	10.8 - 59.6 *
A-5	MH	1281.4 - 1601.8	4 - 8	6.8 - 51.5 *
A-6	CL	1601.8 - 2002.3	5 - 15	6.8 - 69.1 *
A-7-5	CL, OL	1441.6 - 2002.3	4 - 15	6.8 - 58.3 *
A-7-6	CH, OH	1281.4 - 1761.9	3 - 5	10.8 - 59.6 *

\* El valor k de los suelos es altamente dependiente del grado de saturación

(Fuente AASHTO 98)

La presencia de una base de calidad superior a la subrasante, permite aumentar el módulo  $k$  de diseño. En la Figura 15-6 y en la Tabla 15-4 se indican los criterios de modificación para una base granular y en el ábaco contenido en la Figura 15-7 se da la solución gráfica a la fórmula propuesta.

Figura 15-6: AUMENTO DE  $K$  DEBIDO A LA PRESENCIA DE UNA BASE GRANULAR



Los valores de  $K_1$  son los siguientes:

TABLA 15-4: VALORES DE  $K_1$

$K_1$	CBR1 (APROX) %
10	35
15	60
20	80

El módulo de reacción combinado se calcula con la siguiente expresión:

$$K_c = K_0 \cdot \left[ 1 + \left( \frac{h}{38} \right)^2 \cdot \left( \frac{k_1}{k_0} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

donde:

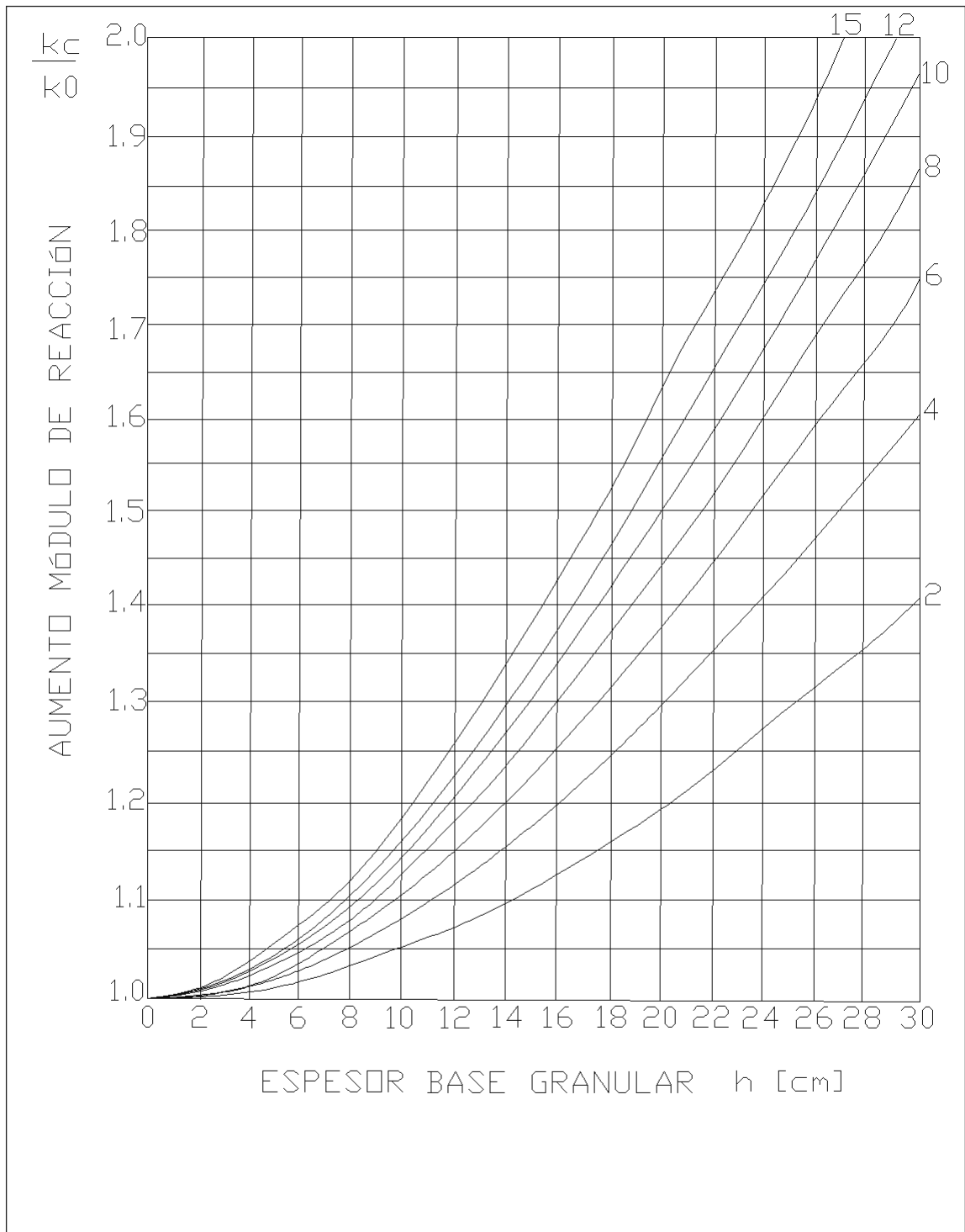
$k_1$ : Módulo de reacción de la base, [kg/cm<sup>3</sup>].

$k_c$ : Módulo de reacción combinado, [kg/cm<sup>3</sup>].

$k_0$ : Módulo efectivo de reacción de la subrasante, [kg/cm<sup>3</sup>].

$h$ : Espesor de la base, [cm].

FIGURA 15-7: AUMENTO DEL MÓDULO DE REACCIÓN DEBIDO A LA PRESENCIA DE UNA BASE GRANULAR



## ART. 15.4 METODOLOGÍA DE DISEÑO MECANICISTA PARA PAVIMENTOS DE HORMIGÓN EN PASAJES, CALLES LOCALES Y DE SERVICIO

### 15.4.1. INTRODUCCIÓN

Dado que los Pasajes, Calles Locales y de Servicio son transitados principalmente por vehículos livianos y en muy pocas ocasiones se ven sometidas al paso de vehículos pesados, un enfoque que considere la pérdida de serviciabilidad (o de IRI) para el diseño de estas vías, como lo es AASHTO 98, no es del todo adecuado. Por esta razón se introduce a continuación, un enfoque de diseño mecanicista de falla por rotura de la losa de hormigón (agrietamiento) y se verifica a falla por fatiga ocasionada por cargas provenientes del tránsito.

Con el fin de conseguir un diseño adecuado de acuerdo a las solicitaciones a las que se encuentra sometida la vía en su vida de servicio, se evalúan los esfuerzos y deformaciones en las losas de los pavimentos de hormigón. Esto es posible hoy en día, con el adelanto de los programas computacionales de elementos finitos, que permiten extender las ecuaciones de Westergaard ubicando las cargas a cualquier punto de la losa.

### 15.4.2. ANTECEDENTES

Se presentan dos tipos de esfuerzos en una losa de hormigón durante su vida de servicio: esfuerzos debido al alabeo y a las cargas. El alabeo se produce principalmente por gradientes de temperatura a través del espesor de la losa, aunque también se ha encontrado que existe alabeo por humedad y de construcción.

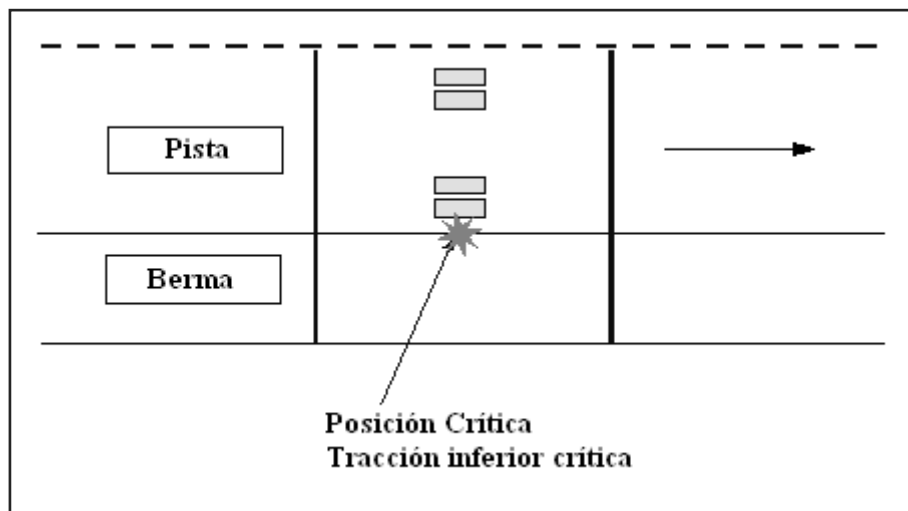
En cuanto a los esfuerzos producidos por las cargas, éstos generan un gradiente de tensiones a través del espesor de la losa, que puede llegar a causar tracciones críticas en algunos puntos. Considerando que el hormigón es mucho más resistente ante esfuerzos de compresión que de tracción, son estos últimos los que controlan el diseño.

En una serie de estudios se ha encontrado que son 3 posiciones de carga sobre la losa, las cuales son de interés para el análisis y diseño de los pavimentos de hormigón. Dichas posiciones son:

- a.) Carga en la mitad del borde longitudinal de la losa.
- b.) Carga en la esquina (en las cercanías de la junta transversal de la losa).
- c.) Carga en el centro de la losa.

En conformidad a lo señalado, se ha llegado a la conclusión de que la primera posición mencionada, es la que mayores esfuerzos genera en las losas de hormigón.

FIGURA 15-8: POSICIÓN CRÍTICA QUE PRODUCE TRACCIÓN EN LA PARTE SUPERIOR DE LA LOSA



#### 15.4.3. CRITERIO DE FALLA

Un pavimento de hormigón falla estructuralmente cuando las losas presentan agrietamientos tales que las subdividen en partes menores. A nivel de la evaluación del pavimento en su conjunto (todas las losas que lo componen), la falla de una losa muy probablemente no implique que el pavimento se encuentre inadecuado para su empleo. Sin embargo, una vez que una losa falla, el tiempo que demora en producirse una falla generalizada y el colapso de la vía, sin haber medidas correctivas de por medio, es muy corto.

#### 15.4.4. Estructura del pavimento

El sistema estructurante de un pavimento de hormigón se compone generalmente de 3 capas: la losa de hormigón, una base y la subrasante.

##### 15.4.4.1. Losa de Hormigón de Cemento Vibrado (HCV).

###### 15.4.4.1.1. Resistencia a la Flexotracción.

Para la generación de las Cartillas de Diseño se utiliza una resistencia a la flexotracción de 4,6 MPa (5 MPa de resistencia media) para la losa de HCV..

###### 15.4.4.1.2. Longitud de la losa.

Se consideran pavimentos de hormigón cuya longitud de losa es de 3,5 m.

###### 15.4.4.1.3. Módulo de Elasticidad del Hormigón.

Para el Módulo de Elasticidad de hormigones de características normales, se considera apropiado un valor de 29.000 MPa.

## 15.4.4.2. Base granular.

## 15.4.4.2.1. Módulo de Elasticidad y Coeficiente de Fricción de la base.

A continuación, se presentan en la Tabla 15-5, los valores que permiten estimar el módulo de elasticidad de la base a utilizar y el valor del coeficiente de fricción entre la base y el pavimento:

TABLA 15-5: MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y COEFICIENTES DE FRICCIÓN DE LAS BASES

TIPO DE MATERIAL DE BASE	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]	COEFICIENTE DE FRICCIÓN		
		Bajo	Medio	Alto
Suelo fino	20,2 - 275,8	0,5	1,2	2,0
Árrea	68,8 - 172,2	0,5	0,8	1,0
Granular	103,4 - 310,1	0,7	1,4	2,0

Para la obtención de las Cartillas de Diseño se considera que todos los pavimentos están situados sobre una base granular.

## 15.4.4.2.2. California Bearing Ratio (CBR).

Para la base granular se supone un  $CBR \geq 60\%$ .

## 15.4.4.3. Subrasante.

La subrasante se caracteriza mediante un parámetro que representa la capacidad de soporte que ésta posee, el cual es conocido como Módulo de Reacción de la subrasante "k" [MPa/m]. Existen varias relaciones mediante las cuales se puede conocer el valor de k, a continuación, se señalan:

## 15.4.4.3.1. Correlaciones para Suelos Finos (A-4 a A-7, según clasificación AASHTO).

La capacidad de soporte de los suelos finos está muy influenciada por el nivel de saturación ( $S_r$ ) a que se encuentran. La expresión para determinar  $S_r$  es la siguiente:

$$S_r = \frac{w (\%) \gamma_w}{\gamma_d - \frac{1}{G}}$$

donde:

$$\gamma_w = 1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \text{ (densidad del agua).}$$

$\omega$ : contenido de humedad [%].

$$G: \text{ peso unitario seco o densidad seca, } G = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

$\gamma_d$ : peso específico del suelo [ $kg/m^3$ ].



Utilizando la relación anterior, la AASHTO ha determinado una función lineal que relaciona el valor de  $k$  (MPa/m) con  $S_r$ :

$$K \left[ \frac{\text{MPa}}{\text{m}} \right] = A \cdot S_r + B$$

Donde A y B son parámetros que se dan a conocer a continuación en la Tabla 15-6, con los cuales será posible determinar el valor de  $k$  que corresponda en cada caso.

TABLA 15-6: VALORES DE A Y B PARA SUELOS FINOS

CLASIFICACIÓN SUELO	A	B
A-4	-0,44	55,73
A-5	-0,59	70,07
A-6 (para $S_r < 80\%$ )	-1,11	116
A-6 (para $S_r = 80\%$ )		
A-7-5	-0,77	86,14
A-7-6	-0,56	76,56

Nota: Para clasificar el tipo de suelo, ver Tabla 15-3.

Debe tenerse en consideración que la relación presentada para obtener el Módulo de Reacción de la Subrasante, fue desarrollada para humedades iguales y superiores al 50%, por lo que extrapolaciones para grados de humedad inferiores, pueden conducir a errores. Además, para los suelos tipo A-6, la función lineal es válida sólo hasta un 85% de humedad, dado que a mayor grado de saturación, el valor de  $k$  disminuye menos que la función lineal.

#### 15.4.4.3.2. Rangos de valores del Módulo de Reacción K para Suelos Granulares.

Para ver en detalle estos valores, dirigirse a Tabla 15-3.

#### 15.4.4.3.3. Correlaciones con el CBR.

Para conocer el valor de K, también es posible utilizar la relación existente entre el Módulo de Reacción y el CBR de la subrasante, la cual se presenta a continuación:

$$K \left[ \frac{\text{MPa}}{\text{m}} \right] = \begin{cases} 2,55 + 52,5 \cdot \log CBR & , CBR \leq 10\% \\ 46 + 9,08 \cdot (\log CBR)^{4,34} & , CBR > 10\% \end{cases}$$

Notas:

1. El rango de variación de esta relación respecto al promedio es del orden de  $\pm 50\%$ .
2. El CBR se determina a la humedad óptima (no saturado).

#### 15.4.4.3.4. Determinación del Módulo de Reacción mediante Ensayos con Placa de Carga.

El valor del Módulo de Reacción se puede determinar mediante dos tipos de ensayos de placa de carga:

- Ensayos con cargas estáticas repetitivas (AASHTO T221, ASTM D1195).
- Ensayos con cargas estáticas no repetitivas (AASHTO T222, ASTM D1196).

Si bien, ambos ensayos se realizan con un plato de carga de 762 mm (30") de diámetro, en el ensayo repetitivo, el valor de  $k$  se determina como la razón entre la carga y la deformación elástica (la parte que se recupera de la deformación total); mientras que en el ensayo no repetitivo, se usa la razón entre carga y deformación para una deformación de 1,25 mm (0,05").

#### 15.4.5. Esfuerzos de alabeo

Una de las sollicitaciones a las que se ven sometidas las losas es el alabeo. Como ya se señaló, éste tiene una componente debida al gradiente de temperatura, otra de humedad y finalmente una de construcción.

Para determinar el diferencial de temperatura positivo o negativo se utiliza la siguiente relación:

$$\Delta T(+) = 12.33 - \frac{2385.715}{D} + 0.707 \cdot WIND + 0.596 \cdot TEMP - 5.924 \cdot 10^{-4} \cdot PRECIP$$

$$\Delta T(-) = -28.62 + \frac{2377.897}{D} + 0.817 \cdot WIND + 0.227 \cdot TEMP + 0.0002884 \cdot PRECIP$$

donde:

$\Delta T(+)$ : Diferencial de temperatura positivo asociado a alabeo convexo, °C.

$\Delta T(-)$ : Diferencial de temperatura negativo asociado a alabeo cóncavo, °C.

D: Espesor de losa [mm].

WIND: Velocidad media anual del viento [nudos].

TEMP: Temperatura media anual del ambiente, °C.

PRECIP: Precipitación media anual [mm].

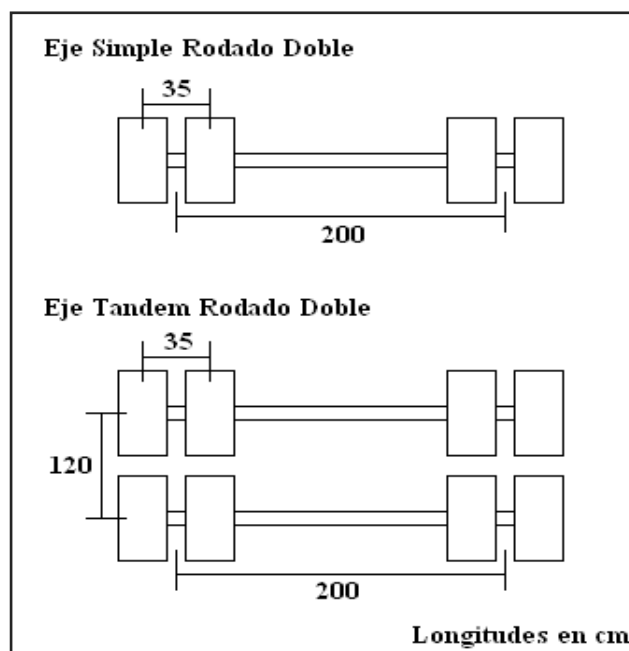
Cabe señalar que los gradientes que se obtienen a lo largo del país, con estas ecuaciones, pueden no ser totalmente representativos debido a que la relación empleada, es originaria de los Estados Unidos (sólo ha sido traspasada a las unidades de medida nacional) y su alcance y campo de aplicación directo, es el método AASHTO 1998.

Con respecto al alabeo debido a humedad y construcción se emplea la recomendación dada por AASHTO 1998, tomando un promedio de los valores recomendados, es decir, 0,033 [°C/mm]. Cabe destacar que este valor sólo se empleará en el caso de gradiente por temperatura negativo, ya que así se establece en la guía AASHTO 1998.

#### 15.4.6. MODELACIÓN DE CARGAS

La configuración de un ESRD ( eje simple rodado doble) a utilizar, tanto de 80 kN (8,16 Ton.) para la obtención de los espesores de losa de diseño (verificación de falla por fatiga), como de 123 kN (12,5 Ton.) para la verificación por carga máxima, son las que se presentan a continuación:

FIGURA 15-9: CONFIGURACIONES DE EJES CONSIDERADAS



Para la modelación de las cargas, se considera la presión de los neumáticos como cargas distribuidas sobre un área rectangular. De esta manera, las dimensiones de contacto, se obtienen a través de las siguientes relaciones):

$$A_c = \frac{P}{q} \quad ; \quad L = \sqrt{\frac{A_c}{0,5227}}$$

donde:

Ac: Área de contacto [m<sup>2</sup>].

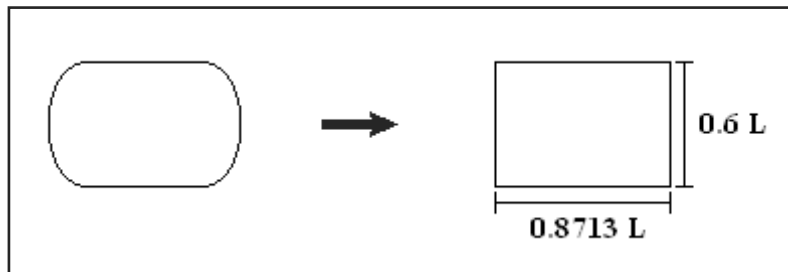
P: Carga por neumático [N].

q: Presión de inflado de neumáticos [N/m<sup>2</sup>].

L: Variable para determinar los lados de la carga rectangular [m].

Las expresiones para determinar las dimensiones de los lados de la carga rectangular se presentan en la Figura 15-10:

FIGURA 15-10: MODELACIÓN DE SECCIÓN DE NEUMÁTICO EN LOSA DE HORMIGÓN



#### 15.4.7. MODELOS DE FATIGA

A continuación se presentan los modelos de fatiga que se han de considerar para esta verificación:

##### 15.4.7.1. Modelo Portland Cement Association (PCA).

$$\log N = 11.737 - 12.077 \left( \frac{\sigma}{MR} \right), \quad \frac{\sigma}{MR} \geq 0.55$$

$$N = \left( \frac{4.2577}{\frac{\sigma}{MR} - 0.4325} \right)^{3,268}, \quad 0.45 < \frac{\sigma}{MR} < 0.55$$

$$N = \text{ilimitado}, \quad \frac{\sigma}{MR} \leq 0.45$$

donde:

N: Número de repeticiones admisibles de ejes de 80 [kN].

$\sigma$  : Esfuerzo debido a tensión por carga en el borde de la losa combinada con carga de alabeo.

MR: Módulo de ruptura. Este valor se obtiene en el ensayo de flexotracción de la NCh. 1038 Of. 1977.

#### 15.4.7.2. Modelo AASHTO 2002.

$$\log N = 2.0 \left( \frac{\sigma}{MR} \right)^{-1,22}$$

donde:

N: Número de repeticiones admisibles de ejes de 80 [kN].

$\sigma$  : Esfuerzo debido a sollicitación [MPa].

MR: Módulo de Ruptura [MPa].

### ART. 15.5 METODOLOGÍA DE DISEÑO EMPÍRICO-MECANICISTA PARA PAVIMENTOS DE HORMIGÓN EN VÍAS EXPRESAS, TRONCALES Y COLECTORAS

#### 15.5.1. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO AASHTO 1998

##### 15.5.1.1. Introducción.

En el método de diseño AASHTO 98 se considera que:

Son variables de diseño:

- El tránsito (WI8).
- La subrasante, representada por el valor (k).

Son parámetros de diseño:

- La serviciabilidad inicial (pi) y la serviciabilidad final (pf).
- La variabilidad, representada por la desviación normal (So).
- La confiabilidad (R), representada por el coeficiente de Student (Zr)..
- La resistencia a la flexotracción ( $S_c$ ).
- El coeficiente de drenaje (Cd).
- El módulo elástico del hormigón (Eh).
- El Coeficiente de Poisson ( $\mu$ ).
- El modulo elástico de la base (Esb).
- El largo de la losa ( L ).
- El espesor de la base (Hb).
- El factor de ajuste por confinamiento (TB).
- El coeficiente de fricción losa base (f).

- Velocidad media anual del viento [nudos] (WIND).
- Temperatura media anual del ambiente, [°C] (TEMP).
- Precipitación media anual [mm] (PRECIP).
- Tipo de transferencia de carga (sin / con barras).

Como resultado se obtiene el espesor de la losa D.

A continuación se hace una descripción general esquemática del Método AASHTO 1998, incluyendo el desarrollo teórico y las recomendaciones que entrega dicho método en la obtención de las distintas variables y parámetros de diseño de diseño.

El procedimiento de diseño empleado, se resume a continuación, a través de los siguientes diagramas de flujo, tanto para el diseño del espesor de la losa, como para las correspondientes verificaciones de escalonamiento y tensión de esquina (esta verificación se hace exclusivamente para pavimentos sin barras de traspaso de cargas).

FIGURA 15-11: PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE ESPESOR DE LOSA

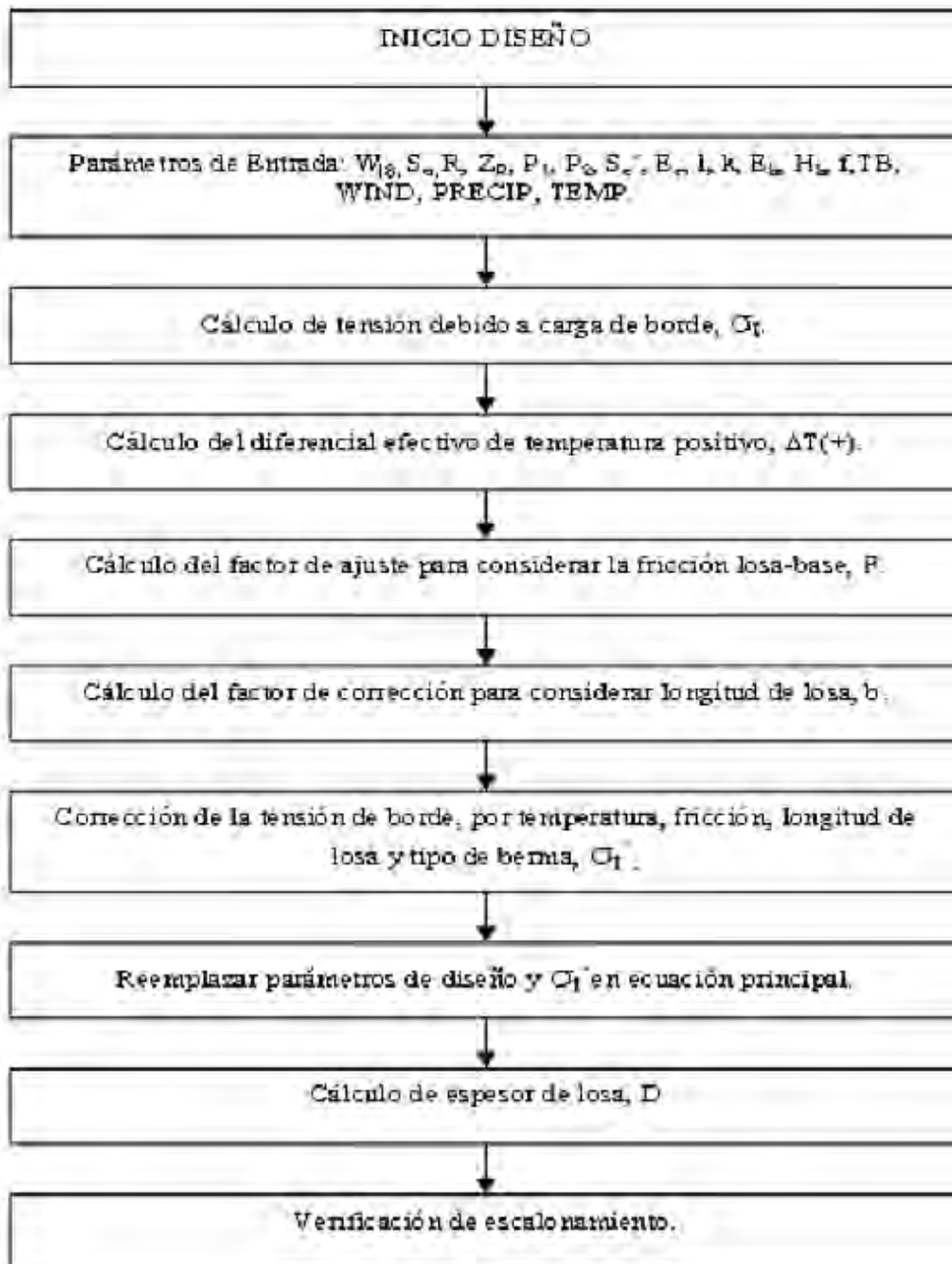
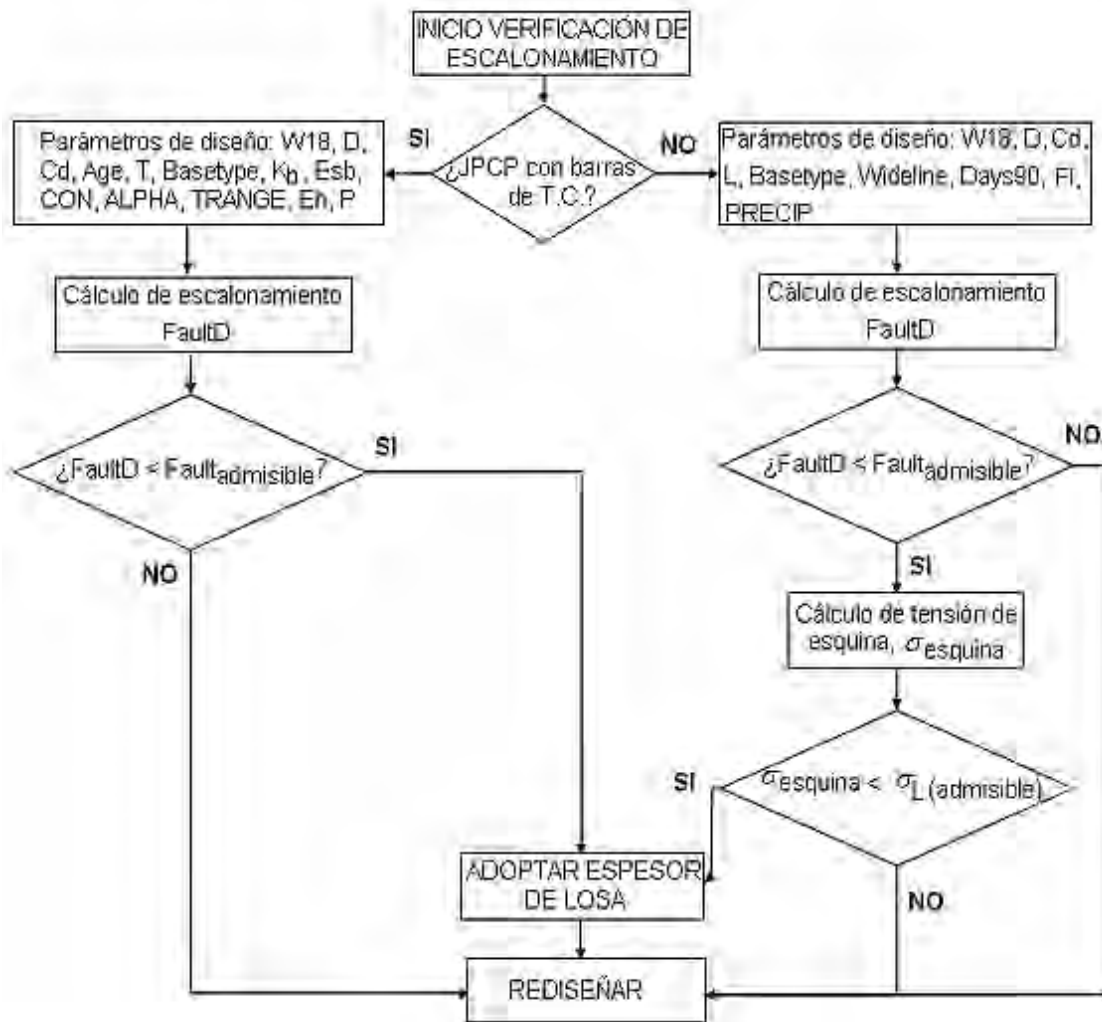


FIGURA 15-12: PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN DE ESCALONAMIENTO Y TENSIÓN DE ESQUINA



### 15.5.1.2. Variables de diseño en AASHTO 98.

#### 15.5.1.2.1. Tránsito - Ejes Equivalentes.

El procedimiento consiste en convertir el tráfico mixto de diversos ejes y configuraciones de carga, a una configuración conocida de un eje simple de 18 Kips. Esto, a través de un factor equivalente y finalmente, sumar los ejes resultantes de carga para el respectivo período de diseño.

El volumen de tránsito a considerar sólo toma en cuenta vehículos pesados, debido a que son éstos los que influyen de forma significativa en el comportamiento de un pavimento.



Al momento de diseñar un pavimento se proyecta el tránsito que circula anualmente (durante la vida de diseño) por la vía, con el fin de conocer el tránsito acumulado para el cual se diseña el pavimento. Con este fin se utiliza una tasa de crecimiento geométrico, la cual depende de proyecciones de variables macroeconómicas, de proyecciones de las tasas de motorización y de la evolución del sistema de actividades, asociadas a flujos de tránsito de la zona donde se va a emplazar el proyecto.

AASHTO transforma los diferentes ejes que circulan por una ruta a un eje simple de rueda doble (ESRD) de 80 kN (18 kips) de peso, considerado como eje patrón y denominado Eje Equivalente (EE). El factor de equivalencia es el cociente que resulta entre el número de ejes de una configuración y peso necesarios para originar una determinada pérdida de serviciabilidad, respecto del número de ejes patrón requeridos para producir la misma pérdida de serviciabilidad. El valor de este cociente es el Factor de Ejes Equivalentes y se resume en la siguiente fórmula:

$$\text{Factor } EE_x = \frac{\text{Nº de ejes de } x \text{ peso (kN) que causan una determinada pérdida de serviciabilidad}}{\text{Nº de ejes de 80 kN que causan la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

Cabe notar que el Factor Eje Equivalente (FEE) no es válido para otro criterio de falla que no sea serviciabilidad, ya que sólo es función de ella. Además, este factor es distinto para diferentes espesores de losa, por lo que su valor es sólo una aproximación.

El cálculo necesario para obtener el tránsito de diseño requiere de los siguientes pasos:

- a.) Determinar el volumen representativo de cada tipo de vehículo.
- b.) Indicar el crecimiento de volumen para cada tipo de vehículo y obtener el total de vehículos considerando la vida de diseño.
- c.) Multiplicar el factor de equivalencia, a cada tipo de vehículo. La suma de estos valores es el tráfico que se utiliza para el diseño estructural del pavimento.

#### 15.5.1.2.2. Clima.

Los parámetros directos del clima que afectan a un pavimento de hormigón son la temperatura y las precipitaciones. La temperatura se manifiesta principalmente en el comportamiento del pavimento por medio del alabeo que produce en las losas. Las precipitaciones se asocian al debilitamiento de la subrasante producto de la infiltración de agua a esta capa y además, es parte de los procesos de bombeo de finos.

La Tabla 15-7 entrega valores para las diversas variables climáticas que se emplean en las ecuaciones de diseño de la Guía AASHTO 98:

TABLA 15-7: ESTADÍSTICAS CLIMÁTICAS

UBICACIÓN	ESTACIÓN SINÓPTICA	TEMPERATURA MEDIA ANUAL [°C]	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL [mm]	VEL. VIENTO MEDIA ANUAL [nudos]
La Serena	La Florida	13,6	83,6	5,9
Longotoma	Longotoma	13,5	247,2	1,3
Valparaiso	Lago Peñuelas	13,5	649,4	1,3
Santiago	Quinta Normal	14,5	320,4	2,8
Curicó	General Freire	13,3	658	4,4
Chillán	Bernardo O'Higgins	12,7	1163	5,6
Concepción	Carriel Sur	12,4	1087,2	9,1
Los Angeles	María Dolores	12	1675	5,4
Temuco	Maquehue	11,2	1278,2	5,2
Valdivia	Pichoy	11	1874,1	5,0
Osorno	Cañal Bajo	10,4	1390,1	6,0
Coyhaique	Coyhaique	8,8	1485,4	6,6
Punta Arenas	Punta Arenas	6,3	413,3	14,3

#### 15.5.1.2.3. Modulo de reacción de la subrasante.

El Módulo de Reacción de la subrasante  $k$ , es el parámetro que caracteriza la capacidad de soporte de la subrasante en un pavimento de hormigón. La guía AASHTO 1998 considera 3 pasos para su determinación.

a.) Seleccionar el valor  $k$  adecuado para cada estación. Para determinar este valor puede recurrirse a tres métodos:

- Correlaciones: Hay diversos estudios que permiten correlacionar el valor de  $k$  con la clasificación del suelo, nivel de humedad, densidad, Razón de Soporte de California (CBR) o Cono Dinámico de Penetración (DCP).

Para ver los rangos recomendados para el valor  $k$ , para distintos tipos de suelos y CBR, ver Tabla 15-3.

- Deflexiones y Retroanálisis: Estos métodos son adecuados para la determinación de  $k$  en el diseño de recapados, reconstrucciones o diseños de pavimentos en suelos similares a los de estudio.

- Plato de Carga: El valor  $k$  se puede determinar mediante dos tipos de pruebas: con cargas estáticas repetitivas (AASHTO T221, ASTM D1195) o con cargas estáticas no repetitivas (AASHTO T222, ASTM D1196). Estos ensayos tienen una variedad de propósitos y por lo mismo no proporcionan directamente el valor necesario para el diseño de pavimentos rígidos.

b.) Determinar el valor  $k$  "efectivo" ajustado estacionalmente.

El  $k$  "efectivo" ajustado estacionalmente corresponde a un valor "medio" que pondera los " $k$ " estacionales, en función del daño por fatiga permitido por cada uno de estos. Este proceso consta de 7 pasos:

- Seleccionar valores tentativos para realizar el diseño:  $D$  (Espesor de la losa),  $S_c'$  (Resistencia a la

flexotracción del hormigón),  $E_b$  (Modulo Elástico de la base),  $f$  (Coeficiente de fricción de la base),  $H_b$  (Espesor de la base), Diferencial de temperatura,  $L$  (Espaciamiento de la juntas transversales) y serviciabilidad inicial y final (PI y P2).

- Seleccionar  $k$  para cada estación.
- Para cada estación calcular  $W'$  (repeticiones admisibles de ejes de 80[kN]) con el modelo descrito anteriormente.
- Calcular el daño relativo para cada estación como el inverso de  $W'$ .
- Calcular el daño total anual como el promedio de los daños relativos de cada estación.
- Determinar  $W'$  correspondiente al daño total anual.
- Con el modelo descrito anteriormente (AASHTO 1998), buscar un valor de  $k$  que permita obtener el valor  $W'$  asociado al daño total anual determinado en el paso anterior. Este es el  $k$  efectivo ajustado estacionalmente.

c.) Ajustar el valor de  $k$  "efectivo" debido a efectos de capas rígidas, rellenos o terraplenes.

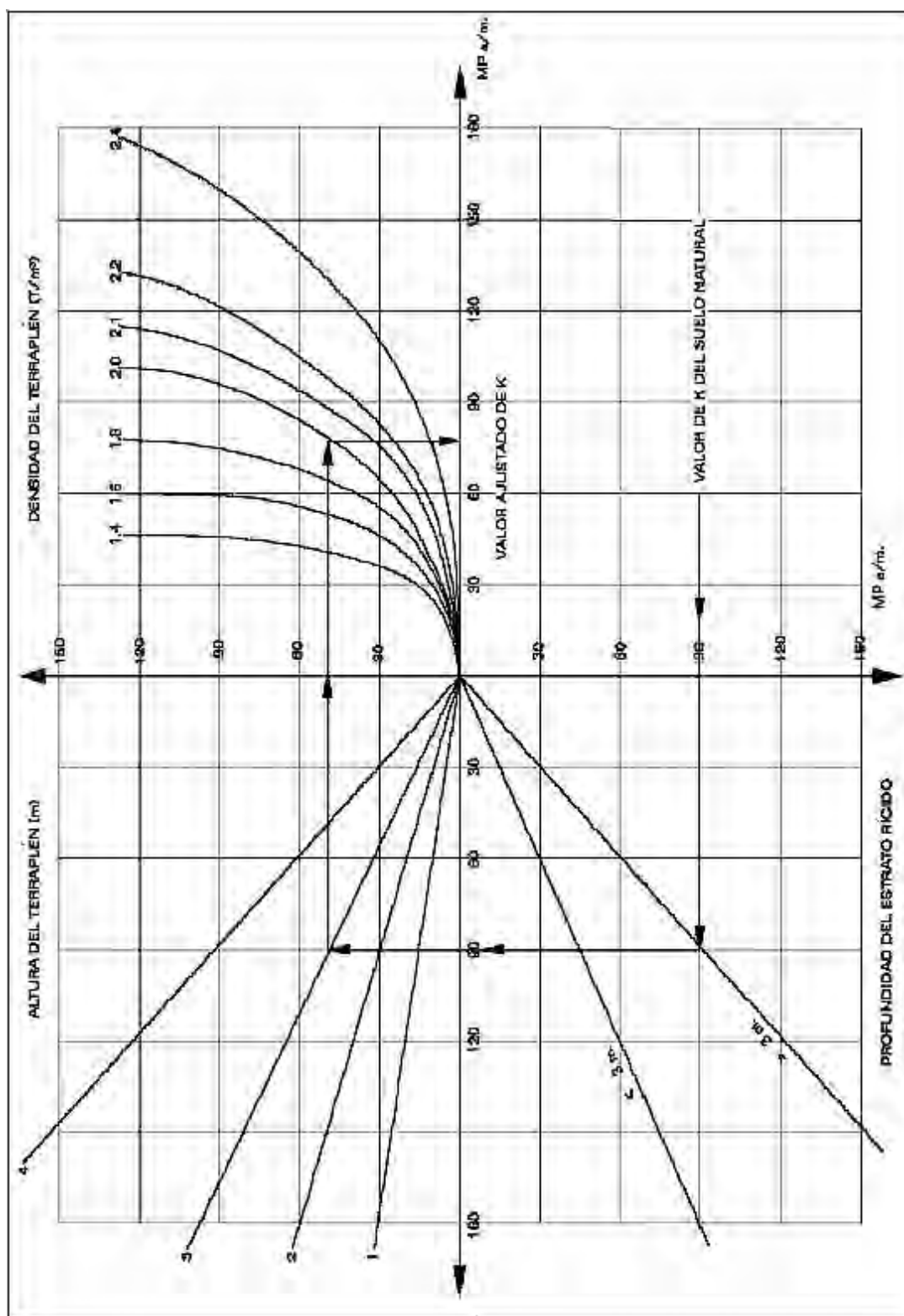
El valor de  $k$  se corrige cuando se presentan una o ambas de las siguientes situaciones:

- Presencia de un estrato rígido bajo la subrasante hasta la profundidad de 3 [m]. Como estrato rígido puede considerarse roca o suelo firmemente cementado.
- Relleno o Terraplén construido sobre el suelo natural.

Esta corrección no se aplica para el caso de un estrato rígido, si el valor de  $k$  ha sido obtenido con ensayos no destructivos (deflexión y retrocálculo) o con plato de carga en terreno, debido a que estas pruebas ya consideran esta situación.

Para realizar el ajuste se emplea el ábaco dado por la Figura 15-13:

FIGURA 15-13: AJUSTE DE K DEBIDO A PRESENCIA DE TERRAPLÉN Y/O ESTRATO RÍGIDO



15.5.1.3. Parámetros de diseño en AASHTO 98.

15.5.1.3.1. Serviciabilidad.

La serviciabilidad inicial  $P_1$ , es la que tiene el pavimento en el momento de ser entregado al tránsito. En el diseño de pavimentos de hormigón, lo recomendable es usar el valor de  $P_1=4,5$ .

La serviciabilidad final  $P_2$ , representa el mínimo de serviciabilidad deseado para el final de la vida de diseño proyectada de un camino. El valor recomendado es de  $P_2=2,5$ .

15.5.1.3.2. Desviación Estándar del error combinado de las variables ( $S_0$ ).

Una desviación estándar es seleccionada tal que represente las condiciones locales. Los valores de  $S_0$  desarrollados en la prueba de camino AASHTO no incluyeron error del tráfico. Sin embargo, el error de la predicción desarrollado en la prueba correspondió a una desviación estándar total para el tráfico, de 0.35 para pavimentos rígidos.

15.5.1.3.3. Confiabilidad.

Los conceptos de confiabilidad consisten básicamente en incorporar un cierto grado de certeza en el proceso de diseño, con el fin de confirmar que las alternativas de diseño durarán el período de análisis. El factor de diseño de confiabilidad considera variaciones en la predicción del tráfico, proporcionando un nivel de seguridad al pavimento con respecto a su sobrevivencia al período para el cual fue diseñado.

Generalmente, debido al volumen y a la dificultad de desviar el tráfico y a la expectativa pública de la disponibilidad de vías, el riesgo debe ser reducido al mínimo. Esto es logrado seleccionando niveles más altos de confiabilidad para los distintos tipos de vía.

El uso del concepto de confiabilidad requiere los siguientes pasos:

- a.) Defina la clase de vía.
- b.) Seleccione un nivel de confiabilidad de la gama dada en la Tabla 15-8. Cuanto mayor es el valor de la confiabilidad, mayor la estructura del pavimento requerida.
- c.) Se debe escoger un valor de  $S_0$  de acuerdo a lo mencionado en el apartado 15.5.1.4.2.

TABLA 15-8: NIVELES SUGERIDOS DE CONFIABILIDAD SEGÚN CLASIFICACIÓN DE VÍAS

CLASIFICACIÓN VÍAS	NIVEL DE CONFIANZA RECOMENDADO	COEFICIENTE ESTADÍSTICO ZR
Expresas	80	-0,841
Troncales	75	-0,674
Colectoras	60	-0,253
Locales y Servicio	50	- 0,000

Nota: Los valores recomendados pueden ser aumentados sólo en situaciones particulares que así lo requieran, como sería el caso de los pavimentos de túneles por ejemplo, en donde resulta oneroso realizar operaciones de conservación regulares y poco espaciadas en el tiempo.

#### 15.5.1.3.4. Variabilidad.

La variabilidad se refiere fundamentalmente a las varianzas en las mediciones de los parámetros que se definen en el diseño, con respecto a los valores que se obtienen en terreno en forma real.

Cada una de estas variables pueden variar en un rango muy amplio, por esta razón es necesario conocer sus parámetros estadísticos asociados, para poder manejar estas variables en forma correcta.

#### 15.5.1.3.5. Propiedades del Hormigón.

##### a.) Resistencia a la flexotracción.

Para la metodología presentada se emplea la resistencia media a la flexotracción a 28 días ( $S_c'$ ). El valor a asignar en el diseño depende de las posibilidades que existan en la zona de construcción del pavimento, para producir hormigones de cierta calidad. Ante esto se deberán considerar los valores de la Tabla 15-9.

TABLA 15-9: RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN [MPa]

TIPO DE VÍA	$S_c'$
Expresa	5,0
Troncal	5,0
Colectora	5,0

##### b.) Modulo de Elasticidad.

El Modulo de Elasticidad del hormigón ( $E_c$ ) puede ser obtenido a partir de un análisis de deflexiones medidas o de la realización de un ensayo en laboratorio. Adicionalmente, puede ser obtenido por medio de correlaciones, como la dada por el "American Concrete Institute":

$$E_c = 4750(f_c')^{0,5} \quad (30)$$

donde:

$E_c$  = Módulo de Elasticidad del hormigón [MPa].

$f_c'$  = Resistencia a la compresión cilíndrica [MPa].

Se recomienda para el caso de hormigones de características normales, un valor de 29.000 [MPa].

##### c.) Razón de Poisson.

La razón de Poisson se define como la razón entre la deformación unitaria lateral y la unitaria axial, causada por una carga en el sentido axial. Su valor puede obtenerse mediante un ensayo estático o dinámico determinando las deformaciones antes señaladas.

En la mayoría de los materiales tratados con cemento, su valor varía entre 0,10 y 0,25. Para el caso de hormigones de características normales se recomienda emplear un valor de 0,15.

15.5.1.3.6. Modulo de Elasticidad y Coeficiente de Fricción de la base.

El tipo de base puede influir sobre el comportamiento de los pavimentos de hormigón, ya que afecta directamente en las condiciones de soporte de la losa. Por otra parte, el coeficiente de fricción es el parámetro que pretende cuantificar la resistencia que se presenta al deslizamiento entre la base y la losa.

El Módulo de Elasticidad de la base ( $E_b$ ) depende del tipo de base utilizada y su valor puede ser obtenido de la Tabla 15-10.

TABLA 15-10: MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y COEFICIENTES DE FRICCIÓN PARA DIFERENTES TIPOS DE BASE

TIPO DE MATERIAL DE BASE	MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]	COEFICIENTE DE FRICCIÓN		
		Bajo	Medio	Alto
Suelo fino	20,2 - 275,8	0,5	1,2	2,0
Areña	88,8 - 172,2	0,5	0,8	1,8
Granular	182,4 - 310,1	0,7	1,4	2,0

15.5.1.3.7. Factor del tipo de confinamiento.

La construcción de soleras de hormigón unidas al borde exterior del pavimento mediante barras de acero con resalte, contribuye sustancialmente a mejorar el comportamiento de éste. Esto es debido a una reducción en las tensiones de borde y esquina, conjuntamente con una disminución de la infiltración de agua a lo largo de los bordes del pavimento.

Para las soleras de hormigón amarradas es recomendable utilizar un valor de 0,94 como factor de tipo de confinamiento.

15.5.1.3.8. Drenabilidad de la base ( $C_d$ ).

La infiltración de agua bajo el pavimento y su acumulación en la base, permite que se generen presiones importantes en la fase fluída, bajo la acción de cargas de tránsito. Esta presión produce arrastre de partículas finas del suelo con la consiguiente erosión por surgencia o “bombeo de finos”.

Con dicho fenómeno la base de apoyo del pavimento se socava, produciendo huecos o creando diferencias de rigides de apoyo, con la consiguiente formación de grietas en las losas.

Las características de Drenabilidad se expresan a través de un coeficiente de drenaje de la base “ $C_d$ ”, cuyo valor depende del tiempo en que ésta se encuentra expuesta a niveles de humedad cercana a la saturación y del tiempo en que drena el agua. El primer factor indicado depende, a su vez, del nivel de precipitaciones de la zona, altura de la rasante, bombeo o inclinación transversal, sistema de saneamiento superficial, etc. El segundo factor depende de la calidad de los materiales de la base, existencia de drenaje y propiedades de permeabilidad de la subrasante.

La clasificación que se ha asignado a la calidad del drenaje se presenta a continuación en la Tabla 15-11:

TABLA 15-11: CALIDAD DEL DRENAJE

CALIDAD DEL DRENAJE	AGUA REMOVIDA DEL INTERIOR *
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	El agua no es drenada

\* Basado en el tiempo de drenaje, es decir, el 50% drenado (tiempo requerido para drenar el 50% del agua drenable).

Los valores de los coeficientes de drenaje son presentados a continuación:

TABLA 15-12: COEFICIENTE DE DRENAJE AASHTO MODIFICADO

Drenaje Longitudinal	Clima	Subrasante Grad. Fina		Subrasante Grad. Gruesa	
		Base No-Permeable	Base Permeable	Base No-Permeable	Base Permeable
No	Húmedo	0,70-0,90	0,85-0,95	0,75-0,95	0,90-1,00
No	Seco	0,90-1,10	0,95-1,05	0,90-1,15	1,00-1,10
Si	Húmedo	0,75-0,95	1,00-1,10	0,90-1,10	1,05-1,15
Si	Seco	0,95-1,15	1,10-1,20	1,10-1,20	1,15-1,20

#### 15.5.1.3.9. Transferencia de carga.

La transferencia de carga representa la capacidad de un pavimento de hormigón de transferir parte de las cargas solicitantes a través de las juntas transversales. La eficiencia de carga depende de múltiples factores y tiende a disminuir durante la edad con las repeticiones de carga.

Dentro de los factores más importantes de eficiencia se pueden mencionar los siguientes:

- a.) Existencia de dispositivos especiales de transferencia de carga (barras de traspaso, zapatas de juntas).
- b.) Interacción de las caras de la junta transversal. Para el caso de no existir dispositivos especiales, puede existir transferencia por roce entre las caras de la junta. Su eficiencia depende básicamente de la abertura de la junta y de la angulosidad de los agregados.

La abertura de la junta transversal depende principalmente del largo de los paños, la temperatura ambiente con la cual se ejecute el pavimento y las variaciones periódicas de la misma.

Para el tamaño y espaciamiento de las barras de transferencia de carga, AASHTO propone las siguientes recomendaciones:

- Diámetro de las barras de transferencia:  $D/8$  (D: espesor de la losa).
- Espaciamiento entre barras: 12 pulgadas.
- Largo barras: 18 pulgadas.



### 15.5.2. REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS

El método de diseño AASHTO 98 es recomendable para la rehabilitación de pavimentos de hormigón en vías Colectoras, Troncales y Expresas.

## ART. 15.6 CARTILLAS DE DISEÑO

A continuación se presentan los fundamentos de diseño para la obtención de las Cartillas de Diseño en pavimentos de hormigón, las cuales son presentadas en la parte final del presente artículo. Como se ha mencionado anteriormente, los métodos de diseño de pavimentos de hormigón, varían de acuerdo al tipo de vía a construir.

### 15.6.1. FUNDAMENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE CARTILLAS DE DISEÑO EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN DE PASAJES, CALLES LOCALES Y DE SERVICIO

#### 15.6.1.1. Configuración de carga.

De acuerdo a lo presentado en el Art. 15.4, considerando la posición de carga crítica que genera los mayores esfuerzos en la losa de hormigón, el análisis se lleva a cabo utilizando un Eje Simple de Rueda Doble (ESRD) de 80 kN (8,16 Ton) circulando a 30 cm del borde longitudinal del pavimento, tanto para Pasajes, como para Calles Locales y Calles de Servicio. Se ha considerado dicha distancia al borde longitudinal, dado que es una situación que se presenta comúnmente en las vías (los vehículos tienden a centrarse en la calzada, pero con cierta desviación).

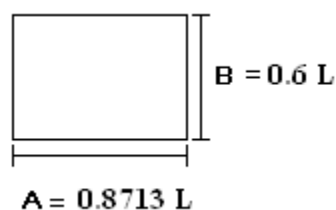
Las dimensiones de contacto ingresadas en el programa, para representar la carga de los neumáticos sobre la losa de hormigón, son las siguientes:

TABLA 15-13: DIMENSIONES DE CONTACTO

ESRD [Ton]	ESRD [kN]	L [cm]	A [cm]	B [cm]	VERIFICACIÓN
8,16	80	23,6	20,6	14,1	Falla por fatiga
12,5	123	29,2	25,5	17,5	Falla por rotura

Donde A y B se muestran en la siguiente figura:

FIGURA 15-14: DIMENSIONES DE CONTACTO



### 15.6.1.2. Zonas climáticas.

#### 15.6.1.2.1. Zonificación por temperatura.

A nivel mecanicista la única variable de entrada que depende directamente de la ubicación geográfica de la vía, es el gradiente térmico a través de la losa. Es por esto, que mediante procesos iterativos y utilizando un programa de elementos finitos, ha sido posible demostrar que el gradiente térmico, no llega a ser importante como para efectuar una zonificación climática y se puede controlar el efecto regulando el largo de las losas.

#### 15.6.1.2.2. Zonificación por precipitaciones.

De acuerdo a las recomendaciones del método AASHTO 1998, para considerar el efecto del alabeo por humedad y construcción, es recomendable utilizar la siguiente zonificación:

TABLA 15-14: PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL

Clima	Precipitación Media Anual [mm]
Seco	< 762
Húmedo	≥ 762

A partir de las Tablas 15-7 y 15-14, se observa que desde Chillán al sur correspondería a un clima húmedo y hacia el norte a un clima seco.

A partir de los análisis efectuados, se ha encontrado que no es necesario generar Cartillas de Diseño diferenciadas por tipo de clima, dejando así una sola cartilla para los pavimentos de hormigón en Pasajes, Calles Locales y de Servicio.

### 15.6.1.3. Parámetros losa de HCV.

#### 15.6.1.3.1. Resistencia a la flexotracción.

Para la generación de las Cartillas de Diseño se utiliza una resistencia a la flexotracción de 5 MPa (se considera la probabilidad de que exista un 20% de fracción defectuosa).

#### 15.6.1.3.2. Longitud de la losa.

Se consideran pavimentos de 3.5 m de longitud.

#### 15.6.1.3.3. Módulo de Elasticidad del Hormigón.

Se utiliza el valor recomendado para hormigones de características normales, es decir, 29.000 MPa

### 15.6.1.4. Parámetros de la base.

#### 15.6.1.4.1. Módulo de Elasticidad y Coeficiente de Fricción de la base.

Para la obtención de las Cartillas de Diseño se considera que todos los pavimentos estarán situados sobre una base granular. De esta manera, a partir de la Tabla 15-5 se han seleccionado los siguientes valores:

TABLA 15-15: VALORES A UTILIZAR PARA CARACTERIZAR LA BASE GRANULAR

Tipo de Clima	Módulo de Elasticidad [Mpa]	Coefficiente de Fricción
Seco ( $P < 762$ mm)	150	1,4
Húmedo ( $P \geq 762$ mm)	105	0,7

Nótese que en la Tabla 15-15 han sido presentados los valores para caracterizar a la base granular, tanto para clima seco, como para clima húmedo, ya que estos han sido empleados para verificar que no es necesario zonificar climáticamente.

#### 15.6.1.4.2. California Bearing Ratio (CBR).

Para la base granular se supone un  $CBR = 60\%$ .

#### 15.6.1.5. Módulo de Reacción de la subrasante.

##### 15.6.1.5.1. Correlaciones con el CBR.

Para obtener el módulo de reacción de la subrasante, se utiliza la correlación existente entre esta variable de diseño y el CBR, la cual se presenta a continuación:

$$K \left[ \frac{\text{MPa}}{\text{m}} \right] = \begin{cases} 2,55 + 52,5 \cdot \log CBR & , CBR \leq 10\% \\ 46 + 9,08 \cdot (\log CBR)^{4,34} & , CBR > 10\% \end{cases}$$

Dado que el programa de elementos finitos no considera el valor del CBR de la base granular como input de diseño, se utiliza la expresión propuesta en el apartado 15.3.2., la cual permite obtener un Módulo de Reacción Combinado (o Módulo de Reacción Equivalente) que considera el aporte de la base. Dicha expresión es la siguiente:

$$K_c = K_0 \cdot \left[ 1 + \left( \frac{h}{38} \right)^2 \cdot \left( \frac{k_1}{k_0} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

donde:

$k_1$ : Módulo de reacción de la base, [MPa/m].

$k_c$ : Módulo de reacción combinado, [MPa/m].

$k_0$ : Módulo efectivo de reacción de la subrasante, [MPa/m].

$h$ : Espesor de la base, [cm].

Nótese que para la generación de las Cartillas de Diseño se han considerado distintos rangos de capacidad de soporte del suelo, dentro de los cuales se han escogido los menores valores (criterio conservador, suponiendo el peor caso). Los valores correspondientes de diseño para cada CBR del suelo son los siguientes:

TABLA 15-16: MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE DE DISEÑO

RANGO CBR [%]	CBR DISEÑO [%]	K [Mpa/m]	K equivalente [MPa/m]
≤ 3	2	18.4	19.7
4-7	4	34.2	35.1
8-12	8	50.0	51.7
13-20	13	60.5	63.0
≥ 20	20	74.5	77.9

#### 15.6.1.6. Esfuerzos de alabeo por temperatura.

No serán considerados en el análisis mecanicista que se está desarrollando, ya que estos esfuerzos son controlados limitando la longitud de la losa.

#### 15.6.1.7. Modelos de fatiga

Se utilizan los modelos de la PCA y de AASHTO 2002 para la verificación de falla por fatiga en pavimentos de hormigón.

### 15.6.2. CARTILLA PROPUESTA

Como se mencionó anteriormente, a partir de los resultados obtenidos se ha observado que no es necesario diferenciar por zonas climáticas para la confección de las Cartillas de Diseño, dado que los espesores de losa obtenidos, prácticamente no varían para los distintos niveles de tránsito.

Además, tanto en Pasajes como en Calles Locales y de Servicio, los espesores de losa obtenidos difieren muy poco para los distintos niveles de tránsito, por lo que se propone una única Cartilla de Diseño para dichas vías. A continuación se presenta la Cartilla de Diseño propuesta:

TABLA 15-17: CARTILLA DE DISEÑO PROPUESTA PARA PASAJES, CALLES LOCALES Y DE SERVICIO

TIPO DE VÍA	TRÁNSITO	CAPA	CARACTERÍSTICA	CBR SUBRASANTE (%)				
				≤ 3	4-7	8-12	13-20	>20
PASAJE	≤ 50.000 EE	Losa	Rmf=5[Mpa]	150	140	130	130	120
		Base	CBR>=60	300	150	150	150	150
LOCAL	≤ 200.000 EE	Losa	Rmf=5[Mpa]	160	150	140	130	130
		Base	CBR>=60	300	150	150	150	150
DE SERVICIO	≤ 1.000.000 EE	Losa	Rmf=5[Mpa]	170	160	150	140	140
		Base	CBR>=60	300	150	150	150	150

Nota:

1. Hormigón: Resistencia media a la flexotracción de 50 [kgf/cm<sup>2</sup>] a los 28 días.
2. Base: CBR  $\geq$  60%.
3. Espesores expresados en mm.
4. Separación entre juntas transversales igual a 3,5 m.
5. Los espesores de la cartilla pueden ser disminuidos en 10 mm, en caso de considerar losas de 2,25 m de largo por 1,75 m de ancho o dimensiones inferiores. En este caso se señala que las juntas deben tener un corte de ancho 2 mm sin sello (Ver especificaciones constructivas en Sección 4).

Para este tipo de vías, con el fin de controlar el alabeo en las losas, se recomienda que éstas sean de menor longitud (menor separación entre juntas transversales) y ancho. Es aconsejable dividir la losa en 4 partes iguales para dicho fin.

A continuación, se presenta una breve descripción de las técnicas constructivas utilizadas para el aserrado de las losas (en hormigón endurecido). Para más detalles se recomienda ver sección 4.

#### 15.6.2.1. Aserrado de juntas.

Esta operación se efectúa una vez que el hormigón haya endurecido lo suficiente para evitar el desgrane, pero antes que comience el agrietamiento. Se estima que el período adecuado está comprendido entre nueve y catorce horas, luego de la colocación y terminación del hormigón.

Se ejecuta primero un corte inicial (precorte) de un ancho aproximado de 3,0. a 4,0 mm., y una profundidad equivalente a 1/4 del espesor de la losa, pero no inferior a 60 mm. Luego se efectúa un segundo corte, utilizando como guía el precorte, mediante una sierra de mayor espesor, para formar una ranura de aproximadamente 8 mm. de ancho, con una profundidad no superior a 1/4 del espesor de la losa.

La sierra puede ser del tipo de hoja con filo de diamante o de disco abrasivo, ambos refrigerados por agua.

Como opción al corte tradicional señalado anteriormente, se acepta un corte de 2 mm de ancho y profundidad equivalente a 1/4 del espesor de la losa, sin sello posterior de la junta.

**15.6.3. FUNDAMENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE CARTILLAS DE DISEÑO EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN DE VÍAS COLECTORAS, TRONCALES Y EXPRESAS**

Se ha aplicado el método AASHTO 98 para la obtención de las Cartillas de Diseño. Las cuales se presentan en Anexo de la sección.



## SECCIÓN 16. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

### ART. 16.1. GENERALIDADES

Históricamente el diseño de pavimentos se ha ejecutado con métodos empíricos y últimamente con empírico-mecanicistas.

#### 16.1.1. MÉTODO EMPÍRICO

Los métodos empíricos se basan en la observación del comportamiento de las estructuras de los pavimentos, bajo la acción de las sollicitaciones inducidas por el tráfico, en un ambiente determinado.

La aplicación de los métodos empíricos de diseño para pavimentos flexibles data desde tiempos del imperio Romano, aunque éstos se desarrollaron como ciencia, sólo a fines del siglo XIX. En sus comienzos, la aplicación de estas metodologías se limitaba a la experiencia propia de los profesionales, lo cual trajo como consecuencia la inexistencia de metodologías claras y discordancia en los parámetros considerados para el diseño. Consecuencia de ello, se comienza a realizar estudios con el objetivo de definir parámetros comunes para el diseño. En estos estudios se establecieron ecuaciones que relacionaban propiedades inherentes del pavimento con características geométricas y de carga. Así, se generaron una serie de relaciones, tablas y ábacos, que permitían a los diseñadores determinar el espesor de las capas a partir de unos pocos datos iniciales.

Unos de los primeros métodos desarrollados, corresponden a los utilizados por el Departamento de Carreteras del Estado de California en 1929. Esta metodología relaciona el espesor del pavimento con el valor del CBR de las distintas subcapas del suelo. Asimismo, destaca el método AASHTO, que fue desarrollado en la década de los cincuenta por la American Association of State Highway and Transportation Officials de Estados Unidos, cuya última versión para pavimentos flexibles es del año 1993.

#### 16.1.2. MÉTODO EMPÍRICO MECANICISTA

Las tendencias actuales en lo referente a métodos de diseño de pavimentos flexibles, indican una preferencia marcada por el desarrollo de métodos “*racionales*”. Los métodos empírico-mecanicistas, relacionan los niveles de sollicitaciones transmitidas al sistema estructural con la respuesta obtenida, en términos de esfuerzos y deformaciones, estos valores se introducen en ecuaciones de transferencia, las que son calibradas con pavimentos reales en funcionamiento. Estas respuestas, permiten al diseñador predecir el comportamiento de los pavimentos bajo ciertas condiciones diferentes, lo cual se ha visto favorecido, producto del desarrollo de modelos analíticos más representativos, (modelos de respuesta), los cuales no son sólo aplicables a condiciones locales, sino a condiciones y situaciones que el proyectista considere relevante.

En décadas pasadas, la aplicación y desarrollo de estas metodologías se encontraba limitada sólo a los grandes centros de investigación, quienes poseían las herramientas para la ejecución de los algoritmos, los cuales se basaban principalmente en la teoría de Boussinesq. Actualmente, los algoritmos de cálculo para la estimación de la respuesta estructural, se basan principalmente en modelos multicapa - teoría de Burmister - para modelos elásticos estratificados, donde los materiales



se caracterizan en función de su módulo de elasticidad y la relación de Poisson. Dichos algoritmos pueden ser ejecutados en computadoras personales, obteniéndose resultados de alta exactitud, en tiempo limitado y a bajo costo.

En general, los modelos de respuesta pueden clasificarse en función de las ecuaciones constitutivas de los materiales que los gobiernan en: modelos elásticos, modelos visco-elásticos, visco-plástico, lineales y no lineales.

Las ventajas que presenta la metodología empírico-mecanicista radican en que permite relacionar y modelar parámetros físicos, basándose en la teoría de la resistencia de los materiales y ciencias de la ingeniería. Los modelos más sofisticados permiten al diseñador considerar modelos de comportamiento no lineales para suelos y materiales granulares, ello sumado a la aplicación de modelos probabilísticos, ha dado como resultado, modelos más representativos, que hacen posible extrapolar resultados de campo y laboratorio, lo cual se ha reflejado directamente en el desarrollo de pavimentos de mayor duración, menores costos de conservación y rehabilitación.

## **ART. 16.2. MÉTODO AASHTO 93**

### **16.2.1. INTRODUCCIÓN**

La metodología AASHTO 93 tiene su origen en la prueba de caminos AASHO (AASHO Road Test) realizada entre los años 1958-1960 en Ottawa, Illinois, EE.UU. En dicha prueba se utilizaron dos tipos de pavimento (asfalto y hormigón), cuatro tipos de bases granulares y un tipo de subbase y subrasante. Durante la realización de la prueba se tomaron mediciones en el pavimento, con los datos obtenidos se calibraron ecuaciones que dieron origen a la AASHO Interim Guide (1961). Posteriormente se sometió a una Primera Revisión (1972) y luego a revisiones y modificaciones realizadas en 1981, 1986 y 1993, incorporando conceptos tales como variabilidad, confiabilidad y rehabilitación a lo largo de las distintas versiones.

El método AASHTO da una gran importancia a la serviciabilidad, que es el parámetro que representa el grado de deterioro del pavimento. Este concepto nace en la prueba AASHO y corresponde a la opinión de un panel de usuarios, representado por medio de un parámetro denominado PSR (Present Serviceability Rating), luego en versiones posteriores se introduce el concepto del PSI (Present Serviceability Index) que incorpora mediciones del comportamiento y estado del pavimento para cuantificar la pérdida de serviciabilidad.

El Método AASHTO 93 se ha utilizado en el diseño de pavimentos flexibles y rígidos sometidos a niveles de tráfico bajos, medios y altos. No obstante, cabe mencionar que es un método empírico, basado en una ecuación de regresión para pavimentos rígidos y otra para pavimentos flexibles.

Estas ecuaciones se calibraron con mediciones realizadas en Illinois, bajo condiciones similares a las del sur de Chile, por lo que no se garantiza que su aplicación en otras regiones proporcione diseños adecuados.

El método de diseño relaciona la cantidad de ejes equivalentes solicitantes con el módulo resiliente, el nivel de confianza, variabilidad y número estructural, de manera que la estructura experimente una pérdida de serviciabilidad determinada. La ecuación básica es la siguiente:

$$EE = (NEi + 25,4)^{9,36} 10^{-(16,4 - ZR * So)} MRi^{2,32} \left( \frac{pi - pf}{4,2 - 1,5} \right)^{1/B}$$

$$B = 0,40 + \left[ \frac{97,811}{NEi + 25,4} \right]^{5,19}$$

EE = Ejes equivalentes de 80 kN (8.16 ton) de rueda doble.

NE = Número estructural [mm].

pf = Índice de serviciabilidad final del pavimento.

pi = Índice de serviciabilidad inicial del pavimento.

ZR = Coeficiente estadístico asociado a la confiabilidad.

So = Desviación estándar combinada en la estimación de los parámetros.

MRi = Módulo resiliente de la capa i [MPa].

## 16.2.2. DATOS DE ENTRADA

### 16.2.2.1. Variables de diseño.

#### 16.2.2.1.1. Tránsito o Solicitaciones.

Las solicitaciones para el diseño son definidas mediante el concepto de número de ejes equivalente (EE), el cual corresponde a la cantidad de ejes de 80 [kN] que trasladan al pavimento desde un estado inicial ( $p_i$ ) hasta un estado de serviciabilidad final ( $p_f$ ).

Para determinar los ejes equivalentes totales se define un factor eje equivalente que corresponde para una serviciabilidad perdida  $\Delta p$  en una estructura con número estructural dado NE al cociente entre el número de repeticiones de ejes de peso X con relación al número de pasadas de un eje simple rodado doble de peso 80 kN.

En resumen, el número de ejes equivalentes es dependiente del modo de falla (serviciabilidad) y del tipo de estructura (delgada o gruesa).

#### 16.2.2.1.2. Suelo.

El suelo se caracteriza por el módulo resiliente (ver Sección 12 para definición). En este caso se incluyen las relaciones que correlacionan el módulo resiliente con el CBR obtenidas a partir de la fórmula original de AASHTO, que se obtiene igualando términos; el término correspondiente a confiabilidad y variabilidad de AASHTO 93 se igualó al factor de seguridad (factor regional) de AASHTO 1972 y el término correspondiente al de la capacidad de soporte (S) se igualó al término que correspondía al módulo resiliente  $M_r$  incorporado en la versión AASHTO 1993.

- Base Granular:

$$M_R = -0,147(CBR)^2 + 29,9(CBR) + 592 \quad [Kg/cm^2]$$

$$(60\% \leq CBR \leq 80\%)$$

- Subbase Granular:

$$M_R = -0,152(CBR)^2 + 22,44(CBR) + 512 \quad [Kg/cm^2]$$

$$(20\% \leq CBR \leq 40\%)$$

- Subrasante:

$$M_R = 115,247(CBR)^{0,595} \quad [Kg/cm^2]$$

$$(2\% \leq CBR \leq 30\%)$$

- Módulo resiliente equivalente:

Cuando se hacen reemplazos o rellenos de suelos el módulo resiliente de diseño puede obtenerse considerando que el módulo resiliente de una capa es dependiente del módulo de la capa subyacente, por lo cual se recomienda que cuando los suelos que conforman la subrasante tengan un  $CBR < 7$ , se incluya una capa superior de mejoramiento de un  $CBR > 20$  en el caso de vías tipo Pasajes, Locales y de Servicio, y un  $CBR > 15$  en las vías tipo Colectoras, Troncales y Expresas.

Para establecer el módulo de una subrasante que incluye una capa de mejoramiento se realiza con la siguiente relación, que se obtiene aplicando las relaciones bicapa de Odemark:

- Módulo equivalente:

$$M_{Rd} = F * M_{R0}$$

- Factor Módulo de Diseño:

$$\frac{1}{F} = \frac{0,125}{\left[ 0,0156 + h^2 \left( \frac{M_{R1}}{M_{R0}} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{1}{2}}} \left( 1 - \frac{M_{R0}}{M_{R1}} \right) + \frac{M_{R0}}{M_{R1}}$$

Donde:

$M_{Rd}$  : módulo resiliente de diseño [MPa] (equivalente).

$M_{R0}$  : módulo resiliente de la subrasante o capa de orden 0 [MPa].

$M_{R1}$  : módulo resiliente de la capa de orden I [MPa].

$h$  : espesor de la capa de orden I [m].

### 16.2.2.1.3. Clima.

El efecto de las aguas lluvias en el pavimento se representa por los coeficiente de drenaje ( $m_i$ ) con que se mayoran o minoran los coeficientes estructurales de base y sub base.

Este coeficiente permite ajustar el coeficiente estructural de las capas no tratadas, en función de las condiciones del drenaje del proyecto. Los valores recomendados se encuentran en la Tabla 16-1.

TABLA 16-1. COEFICIENTES DE DRENAJE.

$m_i$	Casos
1.0	Para zonas 1 y 2
0.9 - 0.8	En casos especiales de cualquier zona, como suelos muy finos y presencia de napa en la zona de influencia de transmisión de cargas (0 a 1[m]). Zona 3

### 16.2.2.2. Parámetros de diseño.

#### 16.2.2.2.1. Serviciabilidad ( $p$ ).

El pavimento se diseña para que sirva un determinado lapso de tiempo llamado “vida de diseño”, que corresponde al periodo durante el cual la serviciabilidad se mantiene dentro de ciertos límites fijados por el diseñador.

Los valores a considerar en vías urbanas para pavimentos flexibles son: 4,2 serviciabilidad inicial y 2 serviciabilidad final. Estos estados se miden con el índice de serviciabilidad presente (PSI).

TABLA 16-2. ESCALA DE CALIFICACIÓN DE LA SERVICIABILIDAD SEGÚN AASHO [AASHO 62].

Calificación		Descripción
Numérica	Verbal	
5.0-4.0	Muy Buena	Sólo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son lo suficientemente suaves y sin deterioro para clasificar en esta categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpeteados durante el año de inspección normalmente se clasificarían como muy buenos.
4.0-3.0	Buena	Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los "Muy Buenos", entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un leve deterioro superficial, como desconches y fisuras menores.
3.0-2.0	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos, y puede presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamiento, parches y agrietamiento. Los pavimentos rígidos en este grupo pueden presentar fallas en las juntas, agrietamiento, escalonamiento y pumping.
2.0-1.0	Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad de tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento y ahuellamiento, y ocurre en un 50% o más de la superficie. El deterioro en pavimentos rígidos incluye desconche de juntas, escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo.
1.0-0.0	Muy Mala	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.

16.2.2.2.2. Confiabilidad (R).

El grado de confiabilidad en el diseño se asocia al valor que corresponde al nivel de confianza de la distribución normal ( $Z_r$ ). Las confiabilidades a considerar para cada vía son presentadas en la Tabla 16-3.

TABLA 16-3: CONFIABILIDADES DE DISEÑO

Tipo de Vía	Confiabilidad R [%]	Coficiente Estadístico $Z_R$
Expresas	80	-0,841
Troncales	75	-0,674
Colectoras	60	-0,253
Servicio o locales	50	0

Nota: Los valores recomendados pueden ser aumentados sólo en situaciones particulares que así lo requieran, como sería el caso de los pavimentos de túneles por ejemplo, en donde resulta oneroso realizar operaciones de conservación regulares y poco espaciadas en el tiempo.

#### 16.2.2.2.3. Variabilidad ( $S_p$ ).

Representada de la desviación normal de error combinado ( $S_p$ ) de todos los parámetros que intervienen en el comportamiento del pavimento.

La Comisión de Diseño de la Cámara Chilena de la Construcción recomienda emplear 0,45.

#### 16.2.2.2.4. Coeficientes Estructurales ( $a_i$ ).

Los coeficientes estructurales para cada capa dependen de las propiedades reales de los materiales que las constituyen, para condiciones normales de diseño se deberán adoptar los valores indicados en la Tabla 16-4.

TABLA 16-4. COEFICIENTES ESTRUCTURALES.

Capas Asfálticas		
Capa Estructural	Estabilidad [N]	Coefficiente $a_i$
Carpeta de rodadura	14.000-12.000	0,44
	12.000-10.000	0,43-0,42
	10.000-8.000	0,41-0,40
Binder	9.000-7.000	0,39
Base Asfáltica	8.000-6.000	0,33
Capas Granulares		
Capa Estructural	CBR (%)	Coefficiente $a_i$
Base Estabilizada	80 a 100	0,13
Sub-base granular	30 a 40	0,11

#### 16.2.2.2.5. Número estructural.

Es el resultado a obtener de aplicar la fórmula, puede dar múltiples soluciones de espesor. El diseñador, de acuerdo a su experiencia, puede decidir cómo distribuye los espesores de las capas para superar o la menos igualar el número estructural que dé la fórmula. Se recomienda que al menos un 60% de éste, sea tomado por las capas asfálticas. Esto es lo que hace la verificación por capas.

El número estructural se obtiene al resolver la ecuación y se distribuye asignado espesores a las distintas capas, y efectuando la sumatorias de la multiplicación este espesor ( $h$ ) en milímetros por el coeficiente estructural ( $a_i$ ) y el coeficiente de drenaje ( $m_i$ ).

$$NE = \sum h_i \cdot a_i \cdot m_i$$

### 16.2.3. VERIFICACIÓN POR CAPAS

Se recomienda realizar este procedimiento a todos los diseños creados según la Guía AASHTO, para una determinación idónea de los espesores de las capas de la estructura.

$$e_{asf} \geq NE_1 / a_{asf}$$

$$e_{base} \geq (NE_2 - e_{asf} * a_{asf}) / a_{base}$$

$$e_{subbase} \geq (NE_3 - e_{base} * a_{base} - e_{asf} * a_{asf}) / a_{subbase}$$

Donde:

NE<sub>3</sub>: Número estructural calculado a partir del módulo resiliente de la Subrasante.

NE<sub>2</sub>: Número estructural calculado a partir del módulo resiliente de la Subbase.

NE<sub>1</sub>: Número estructural calculado a partir del módulo resiliente de la Base.

### 16.2.4. CONSIDERACIONES RELATIVAS AL MÉTODO DE DISEÑO AASHTO

Con relación al Método AASHTO se recomienda tener presente las siguientes consideraciones.

- Considerar que las ecuaciones AASHTO se obtienen en una prueba efectuada a fines de los años cincuenta en unas pistas de prueba ubicadas en Illinois construídas muy cuidadosamente, pero con equipos de esa época y sistemas de medición de esa fecha.
- La pluviométrica y temperaturas a que estuvo sometido el pavimento fueron la del lugar.
- Los suelos que conformaban la subrasante A-6 y A-7-6 (arcillas con pobre drenaje).
- Se emplearon cuatro tipos de bases; en experimento principal las bases fueron de origen calizo, en estudio especial base silícea, las otras bases en estudios especiales fueron tratadas con cemento y asfalto.
- Se usó sólo un tipo de sub base granular, de grava y arena.
- Sólo empleó un tipo de mezcla asfáltica en carpeta de rodadura de tamaño 3/4" y un tipo como binder de tamaño 1". En consecuencia, es normal que todas las mezclas tengan un coeficiente estructural. Lo que es lejano a la realidad por efecto clima y nuevos desarrollos.
- Al no incorporar propiedades fundamentales de los materiales se detiene el progreso y las posibilidades de incorporar nuevos materiales.
- Circularon aproximadamente 1.100.000 ejes equivalentes durante dos años (con cargas y presiones de neumáticos de la época, muy diferentes a las actuales). No es posible pensar que se pueda extender a varios millones de ejes situación actual la ecuación AASHTO.
- El criterio de falla en AASHTO es Serviciabilidad, que tiene muy baja correlación con agrietamientos y deformaciones que son las principales fallas en pavimentos flexibles, por ejemplo, un pavimento puede tener excelente serviciabilidad pero estar próximo a la falla.

- Recordando la prueba AASHTO, ésta simula mejor un tránsito no interrumpido y de característica bastante diferentes al tránsito a que están sometidos los pavimentos urbanos.
- Para los pavimentos de vías de Servicio, Calles Locales y Pasajes no es posible aplicar el método ya que en estos pavimentos el problema no es serviciabilidad sino deterioros a causa de cargas máximas. La prueba AASHTO no fue diseñada para ese tipo de tránsito y las estructuras a que se llega pueden ser más aptas para fallos por fatiga en capa asfáltica al no tener ninguna consideración por eliminar los espesores intermedio, como se hace en España y otros países.
- El método de diseño AASHTO 93 se emplea en algunos estados americanos y algunos países sudamericanos. No se emplea en Europa, Australia, Sudeste Asiática y algunos países sudamericanos.
- No obstante, debe reconocerse que es el primer método que incorpora la calidad de servicio y que tiene consideraciones hacia la opinión del usuario, además es un método de diseño que por primera vez incorpora el concepto de confiabilidad y variabilidad en el diseño estructural.
- Es importante agregar que al incorporarse el módulo resiliente en la ecuación se nos indica que el próximo paso es el diseño mecanicista, ya que el módulo resiliente, es una relación de esfuerzo aplicado y la respuesta del pavimento como deformación específica recuperable.

### **16.2.5. REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS**

Se recomienda emplear este método en el diseño de rehabilitación, según la Guía AASHTO 93.

## **ART. 16.3. MÉTODO EMPÍRICO MECANICISTA**

### **16.3.1. GENERALIDADES**

Los métodos empírico-mecanicistas se basan en propiedades mecánicas de los materiales relacionados con cargas cuyo resultado es una respuesta del pavimento representada por esfuerzos y deformaciones unitarias, luego, a partir del valor máximo de la respuesta estructural en los puntos críticos de la estructura, se calcula el nivel de daño esperado en el período de diseño para los diferentes tipos de deterioros que se pudieran presentar.

Los principales criterios utilizados para determinar los espesores necesarios para alcanzar la vida de diseño son:

- La deformación unitaria en compresión en la superficie de la subrasante, ésta controla la deformación permanente a nivel de la subrasante.
- Agrietamiento por Fatiga en las capas asfálticas, el cual esta controlado por la deformación unitaria en tensión horizontal en la capa de asfalto, generalmente en el fondo de ésta.



Para condiciones normales de carga (cargas verticales en ruedas dobles), los valores máximos se encuentran en el eje vertical bajo el centro del área de carga o en el eje vertical de simetría entre las dos áreas de carga. En algunos casos, cuando se tienen altas razones de módulos entre la base granular y la capa asfáltica, las deformaciones unitarias horizontales máximas en el asfalto no se encuentran en el fondo, sino más arriba.

Los métodos empíricos mecanicistas utilizan las siguientes hipótesis de diseño:

- Sistema multicapa lineal elástico.
- Material caracterizado por el Módulo de Elasticidad y relación de Poisson.
- Materiales homogéneos isotrópicos.
- Capas horizontalmente infinitas.
- Subrasante verticalmente seminfinita.
- Se considera que hay adherencia total entre capas.

Un método empírico-mecanicista puede utilizar como datos de entrada las características de los materiales que permitan diferenciar cuando se introducen materiales nuevos además, de representar los efectos del clima de la región donde se usen.

### **16.3.2. CRITERIOS DE DISEÑO**

Los pavimentos se diseñan para entregar una superficie resistente, suave, segura y confortable a los usuarios de ella.

El objetivo del diseño mecanicista es dar una estructura al pavimento de manera que su desempeño sea el previsto (falle en el tiempo considerado), controlando los deterioros que afectan estructuralmente el desempeño de los pavimentos.

Los principales deterioros estructurales que tienen los pavimentos se relacionan con las dimensiones de la estructura de un pavimento flexible y son la deformación en subrasante y el agrietamiento por fatiga en capas asfálticas.

Si un pavimento se encuentra con su estructura dimensionada en forma adecuada, con materiales apropiados, construido con técnicas correctas, tiene obligadamente una serviciabilidad buena representada por su IRI (serviciabilidad). En consecuencia, el criterio de diseño es controlar los deterioros estructurales para dimensionar el pavimento, dando la posibilidad de modificar e incorporar nuevos materiales por medio de su caracterización, a través de sus propiedades mecánicas fundamentales (se incorporan módulos elásticos) y el IRI o serviciabilidad controlarlo en la construcción y durante la vida útil como una variable para la conservación del pavimento.

#### **16.3.2.1. Deformación en la Subrasante.**

El procedimiento de diseño se basa en un determinado criterio de deformación unitaria en compresión sobre la subrasante ( $\epsilon_3$ ) y su relación entre el número de repeticiones de carga (N), causada por una carga de diseño estándar.

Dependiendo del grado de seguridad requerido para la vía es su nivel de confiabilidad, las relaciones para los distintos casos (Shell) son:

$$\begin{aligned}\epsilon_3 &= 2,8 \times 10^{-2} \times N^{-0.25} && 50\% \text{ de confiabilidad.} \\ \epsilon_3 &= 2,1 \times 10^{-2} \times N^{-0.25} && 85\% \text{ de confiabilidad.} \\ \epsilon_3 &= 1,8 \times 10^{-2} \times N^{-0.25} && 95\% \text{ de confiabilidad.}\end{aligned}$$

Donde:  $\epsilon_3$  = deformación unitaria en compresión permisible en la subrasante.

N = número de repeticiones de carga.

### 16.3.2.2. Fatiga en Capas Asfálticas.

El criterio por fatiga de las capas de asfalto se basa en la determinación de la deformación unitaria permisible en función del número de repeticiones de carga y el módulo del asfalto. El método SHELL utiliza el concepto de energía disipada, se asume que la energía total disipada en el proceso de fatiga está en función del número de repeticiones de carga necesarias para alcanzar la vida de diseño. La expresión que determina el número de repeticiones permisibles bajo este criterio.

$$N_f = 0,0685 \epsilon_t^{-5,671} |E^*|^{-2,363}$$

Donde:

$\epsilon_t$  = Deformación unitaria en tensión horizontal permisible en la capa de asfalto.

$E^*$  = Módulo dinámico del asfalto.

N = Número de repeticiones de carga.

## 16.3.3. DATOS DE ENTRADA

### 16.3.3.1. Tráfico.

El espectro de ejes de carga estimado a ser usado en el pavimento durante la vida de diseño, se convierte en un número de ejes simples de carga estándar de 80 kN, con una presión de contacto de 600 KPa distribuída uniformemente en un área circular, que es función de la carga y la presión de inflado de los neumáticos, supuestamente igual a la presión de contacto.

### 16.3.3.2. Propiedades de los materiales.

#### 16.3.3.2.1. Subrasante.

La subrasante se caracteriza por el módulo resiliente obtenido a partir de correlaciones con el CBR. En este caso, se emplean las relaciones determinadas por el Transport and Road Research Laboratory (TRRL), ya que las ecuaciones originales de AASHTO corresponden a suelos muy malos y no representan los suelo nuestros.

- Para  $CBR < 12\%$ :  $M_R (MPa) = 17,6(CBR)^{0,64}$
- Para  $12 \leq CBR < 80\%$ :  $M_R (MPa) = 22,1(CBR)^{0,55}$

#### 16.3.3.2.2. Capas Granulares.

El módulo de la base granular varía de acuerdo con su espesor y con el módulo de la subrasante, los cuales se encuentran indicados en el Adendum de 1985 del método SHELL, para distintas confiabilidades. En el caso de una confiabilidad de 50% (Manual 1978), el módulo está dado por la siguiente relación:

$$E_2 = k_2 * E_3$$

Donde:

$$k_2 = 0.2 * h_2^{0.45}, \text{ con } h_2 \text{ en mm, con límites } 2 < k_2 < 4.$$

#### 16.3.3.2.3. Módulo dinámico de la mezcla asfáltica.

El módulo dinámico de una mezcla asfáltica es un parámetro de gran importancia que determina la capacidad de un material para resistir la deformación cuando éste se encuentra sujeto a cargas y descargas cíclicas en compresión. Éste depende de las condiciones que presenta el pavimento en terreno, clima, frecuencia de carga y de las características específicas de la mezcla, tales como la rigidez del ligante, graduación del agregado, contenido de ligante y vacíos de aire.

El modelo de predicción utilizado corresponde a la ecuación de Witczak, el cual permite predecir un valor para el módulo dinámico a partir de las propiedades volumétricas de la mezcla, granulometría de ésta, viscosidad del ligante y frecuencia de carga. Se emplea este modelo en vez del de SHELL ya que, para llegar a ella se emplearon más de 2700 muestras más, similares a las nuestras que las empleadas por SHELL.

La ecuación desarrollada por Witczak, Mirza y Andrei en 1999 es la siguiente:

$$\log E^* = 3,750063 + 0,02932 \cdot \rho_{200} - 0,001767 \cdot (\rho_{200})^2 - 0,002841 \cdot \rho_4 - 0,058097 \cdot V_a - 0,802208 \left( \frac{V_{eff}}{V_{eff} + V_a} \right) + \frac{3,871977 - 0,0021 \cdot \rho_4 + 0,003958 \cdot \rho_{38} - 0,000017 \cdot (\rho_{38})^2 + 0,005470 \cdot \rho_{34}}{1 + e^{(-0,603313 - 0,313351 \log(f) - 0,393532 \log(\eta))}}$$

Donde:

- $E^*$  = módulo dinámico de la mezcla [psi].
- $\eta$  = viscosidad del asfalto [ $10^6$  Poise].
- $f$  = frecuencia de carga [Hz].
- $\rho_{200}$  = % que pasa por la malla #200 (0.075 mm).
- $\rho_4$  = % acumulado retenido en la malla #4 (4.76 mm).
- $\rho_{38}$  = % acumulado retenido en la malla 3/8 in (9.5 mm).

$\rho_{34}$  = % acumulado retenido en la malla 3/4 in (19 mm).

$V_a$  = vacíos de aire, % por volumen.

$V_{\text{beff}}$  = contenido efectivo de bitumen, % por volumen.

#### ART. 16.4. ZONIFICACIÓN TERRITORIAL

Debido a la dependencia del diseño estructural de pavimentos asfálticos con la temperatura y a la gran gama de climas existentes en el territorio nacional, se incorpora la zonificación territorial según condiciones climáticas para el país, basado en el comportamiento de las mezclas asfálticas ante distintas temperaturas, considerando en el estudio sólo vías urbanas.

La zonificación territorial del país se basa en la Temperatura Media del Pavimento para distintos sectores del territorio, obtenidas a través de las Temperaturas Medias Anuales Ponderadas del pavimento de la metodología Shell.

A través de un estudio de las localidades del país se establece una subdivisión del territorio en tres zonas geográficas, siendo sus temperaturas representativas 12 [°C], 18 [°C] y 24 [°C], las cuales diferencian las Cartillas de Diseño de vías Expresas, Troncales y Colectoras.

La Tabla I6-6 muestra, para varias localidades a lo largo del país, la temperatura media del pavimento y su zona correspondiente.

TABLA 16-5 TEMPERATURA MEDIA DEL PAVIMENTO Y ZONIFICACIÓN PARA ESTACIONES METEOROLÓGICAS DEL PAÍS.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA	T° MEDIA PAVIMENTO [°C]	ZONA
ARICA.CHACALLUTA	27,1	1
IQUIQUE-DIEGO ARACENA	25,9	1
CALAMA-EL LOA	18,0	2
ANTOFAGASTA-CERRO MORENO	23,9	1
ISLA DE PASCUA	29,5	1
COPIAPO-CHAMONATE	22,8	1
VALLENAR-AERÓDROMO	21,9	1
LA SERENA- LA FLORIDA	20,0	2
QUINTERO	19,8	2
VALPARAISO-PUNTA ANGELES	20,6	2
SANTIAGO-PUDAHUEL	21,4	1
SANTIAGO-QUINTA NORMAL	22,4	1
SANTIAGO-LOS CERRILLOS	22,0	1
ISLA JUAN FERNANDEZ	22,3	1
SEWELL	16,5	2
PARRON	19,7	2
CURICO- GRAL FREIRE	20,8	2
CHILLAN-GRAL BDO OHIGGINS	19,9	2
CONCEPCION.CARRIEL SUR	17,5	2
TEMUCO-MANQUEHUE	17,0	2
VALDIVIA-PICHOI	16,9	2
OSORNO-CAÑAL BAJO	15,7	2
PUERTO MONTT- EL TEPUAL	15,2	2
PUERTO AYSEN.AERODROMO	13,9	3
COYHAIQUE-TTE VIDAL	12,8	3
BALMACEDA-AEROPUERTO	10,5	3
CHILE CHICO-AERÓDROMO	15,0	3
COCHRANE-AERÓDROMO	12,6	3
PUNTA ARENAS- CARLOS IBAÑEZ	8,8	3
ISLA DIEGO RAMIREZ	7,4	3

## ART. 16.5. CARTILLAS DE DISEÑO

### 16.5.1. DISEÑO DE PASAJES, CALLES LOCALES Y DE SERVICIO

El diseño en el caso de vías de tránsito menores a  $1 \times 10^6$  EE, se basa en la determinación racional de la deformación unitaria en compresión en la superficie de la subrasante y la deformación unitaria en tensión horizontal en la capa de asfalto, bajo una carga máxima admisible. Los criterios de falla son presentados en las Tablas 16-7 y 16-8, los cuales representan un número aceptable de repeticiones de un eje de 123 [KN], para deformación máxima admisible en subrasante y bajo capa asfáltica. Para fatiga se considera repeticiones de un eje de 80 KN por lo que las deformaciones son las correspondientes a este peso con presión de inflado de 600KPa.

TABLA 16-6 DEFORMACIONES MÁXIMAS A COMPRESIÓN ADMISIBLE

Vía	Def. vertical admisible [ustrain]
De Servicio	900
Local	1200
Pasaje	1500

TABLA 16-7. DEFORMACIÓN MÁXIMA A TRACCIÓN ADMISIBLE

Vía	Def. horizontal admisible [ustrain]
De Servicio	400
Local	400
Pasaje	400

Esta metodología es incorporada en Cartillas de Diseño para Pasajes, Calles Locales y de Servicio.

16.5.1.1. Cartillas de diseño propuestas para vías de Servicio, Locales y Pasajes, con base y sub base granulares.

TABLA 16-8. CARTILLAS DE DISEÑO PROPUESTAS PARA VÍAS DE SERVICIO, LOCALES Y PASAJES, CON BASE Y SUBBASE NO ESTABILIZADAS\*.

Tipo de Vía	Transito	Capa	Modulo Dinamico [Mpa]	Estabilidad Marshall [N]	CBR Capa [%]	CBR Subrasante [%]				
						=< 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
Pasajes	<50.000 EE	Carpeta Asfáltica	4400-1300	9000-6000		40	40	40	40	40
		Base Granular			CBR >=100	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			CBR >=20	150	150	150	150	-----
		Mejoramiento			CBR >= 20	350	200	-----	-----	-----
Calles Locales	<200.000 EE	Carpeta Asfáltica	4400-1300	9000-6000		40	40	40	40	40
		Base Granular			CBR >= 100	150	150	150	150	200
		Sub-base Granular			CBR >= 20	150	150	200	150	-----
		Mejoramiento			CBR >= 20	350	200	-----	-----	-----
Calles de Servicio	<1.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	8200-3300	14000-9000		50	50	50	50	50
		Binder	7700-3200	12000-8000		50	50	50	50	50
		Base Granular			CBR >= 80	150	150	150	150	200
		Sub-base Granular			CBR >= 20	150	150	200	150	-----
		Mejoramiento			CBR >=20	350	200	-----	-----	-----

Notas:

1. El mejoramiento de suelos considera el uso de geotextiles para evitar contaminación de capas granulares. Como alternativa al uso de geotextiles, se puede aumentar el espesor de mejoramiento en 150 mm.
2. En caso de existir napa de agua subterránea, el proyectista puede proponer los diseños constructivos adicionales que estime conveniente.
3. En casos de suelos expansivos, en el mejoramiento del terreno el proyectista puede proponer los diseños constructivos adicionales que estime conveniente.
4. En caso de disponer de soleras tipo Manquehue (sólo en pasajes) se puede aumentar el espesor de la capa asfáltica en 10 mm.

5. El rango de valores del módulo dinámico de las mezclas asfálticas corresponde al máximo para la zona 1 y mínimo en la zona 3.

6. Espesores expresados en mm.

\* Para base y sub-base estabilizadas ver Cartillas de Diseño presentadas en Anexo Sección 16, Art. A 16.1

Recomendación: Se sugiere el empleo de esta cartilla, sin embargo, el ingeniero proyectista es libre de modificarla si la condición específica del lugar de aplicación lo requiere.

### **16.5.2. DISEÑO DE VÍAS COLECTORAS, TRONCALES Y EXPRESAS**

Con el fin de simplificar y estandarizar los diseños se proponen Cartillas, las cuales indican los espesores de las capas según la capacidad de soporte del suelo, zona climática, clase de vía y volumen de tránsito. Ver Anexo Sección 16, Art. A 16.2

## SECCIÓN 17. DISEÑO DE MEZCLAS PARA HORMIGÓN ASFÁLTICO Y CAPAS DE PROTECCIÓN ASFÁLTICAS

### ART. 17.1. CAPAS ASFÁLTICAS ESTRUCTURALES

Las capas estructurales son aquellas que, por condiciones de mezcla y espesor, forman una estructura resistente computable en el diseño del espesor de un pavimento flexible.

Clasificaremos las mezclas asfálticas en dos grupos:

- Mezclas en caliente.
- Mezclas en frío.

### ART. 17.2. INTRODUCCIÓN

Las mezclas empleadas en la construcción de pavimentos deben cumplir determinadas condiciones con el fin de obtener un adecuado comportamiento en servicio.

El fin previsto requiere un estudiado diseño de la mezcla cuyos componentes son: 1) el agregado pétreo, que puede ser una combinación de dos o más materiales de diferente granulometría, 2) el filler y 3) el cemento asfáltico (C.A.) con o sin aditivo, y las emulsiones.

El agregado pétreo es el elemento propiamente resistente en las mezclas asfálticas, el filler cumple la función de rellenar los huecos del agregado pétreo y, además, permite que la mezcla posea la trabajabilidad necesaria para su manipulación y colocación en obra, el asfalto tiene por objeto servir de aglomerante de los restantes componentes y hacer que la mezcla sea impermeable, tanto al agua y al aire.

La finalidad del diseño es entonces, obtener una mezcla asfáltica en la que sus componentes se combinen en proporciones óptimas. La metodología del diseño comprende las siguientes etapas:

- a.) Estudio de las características físicas y químicas de los agregados pétreos, como constituyentes de la mezcla asfáltica.
- b.) Estudio de una combinación de agregados con una granulometría que cumpla los requisitos exigidos.
- c.) Cálculo de la dosificación más conveniente de agregados pétreos y filler.
- d.) Ensayes de laboratorio de muestras de mezclas elaboradas con la dosificación del proyecto y empleando diferentes proporciones de asfalto, a fin de obtener los valores de la densidad, contenido de huecos, resistencia a deformación y estabilidad de la mezcla asfáltica.
- e.) Determinación de la proporción óptima de asfalto o emulsión.



### **ART. 17.3. AGREGADOS PÉTREOS**

Si se considera que un pavimento de asfalto está, por lo general, sometido a un tránsito de bastante intensidad, los agregados pétreos empleados en su elaboración deberán ser tenaces y tener alta resistencia a la compresión, al desgaste y cumplan lo indicado en la Sección 5 del presente Código, según sea el tipo de mezcla.

### **ART. 17.4. FILLER**

Es recomendable que el filler cumpla con todos los requisitos indicados en Sección 5 del presente Código.

### **ART. 17.5. MATERIALES ASFÁLTICOS**

Estos materiales deberán cumplir con las especificaciones indicadas en la Sección 5 del presente Código, según sea el tipo de mezclas.

Condiciones del par árido-asfalto

Se deberán verificar estas propiedades de acuerdo a:

a.) Adherencia: Que exista buena adherencia entre los agregados pétreos y el material asfáltico, de no ser así, puede producirse desprendimiento de la película de asfalto que cubre el agregado, en presencia de humedad o polvo, produciendo deterioro en la mezcla.

Para este efecto puede efectuarse el siguiente ensaye de adherencia para la mezcla total mediante el ensaye de Estabilidad Remanente según la Norma AASHTO T-165.

b.) Afinidad: Cuando se emplean emulsiones es conveniente verificar la afinidad agregado-residuo asfáltico. Se recomienda emplear el procedimiento del hervido de Texas DOT.

### **ART. 17.6. DISEÑO PATRÓN**

El diseño tiene por objeto obtener los parámetros para que esta mezcla cumpla satisfactoriamente con las solicitudes, tanto de tránsito como de clima, en su vida útil.

Se recomienda que las mezclas asfálticas posean propiedades que las hagan aptas para su uso en pavimentos, además de las propiedades que poseen separadamente cada uno de los componentes, según se ha mencionado.

Estas propiedades que caracterizan a las mezclas asfálticas se reflejan en los valores de los parámetros representativos, los cuales se determinan de acuerdo a los métodos de ensaye, especialmente destinados a tal objeto. Para dicho determinación, se recomienda obtener los siguientes valores:

Estabilidad: Corresponde a la resistencia de la mezcla asfáltica a la acción de las cargas, a determinada temperatura.

Flexibilidad: Es la medida de la deformación que experimenta la mezcla asfáltica ante la acción de las cargas; esta deformación también se conoce como “flujo plástico”.

**Durabilidad:** En toda mezcla asfáltica existe un cierto volumen de aire incorporado. Este porcentaje es favorable siempre que se encuentre dentro de ciertos límites. Este porcentaje de huecos permite obtener una cierta impermeabilidad al agua y al aire y permite absorber la dilatación del asfalto por las altas temperaturas de servicio.

El valor que alcancen estos parámetros va a depender en gran medida de las propiedades de los materiales empleados, es decir, del tipo de agregado, de su granulometría y del tipo de asfalto; depende, además, del grado de compactación de la mezcla. Por tal motivo, se recomienda que todos estos factores estén debidamente controlados para que los valores en referencia estén comprendidos en los rangos admisibles.

**Densidad Patrón:** Es la medida para controlar que la mezcla quede con la compactación adecuada, para asegurar que los parámetros anteriores se cumplan correctamente una vez puesta en servicio.

#### **17.6.1. DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE.**

Este diseño se debe efectuar según lo indicado en la Sección 5 del presente Código, según sea el tipo de mezcla.

#### **17.6.2. DISEÑO DE MEZCLA EN FRÍO.**

Este diseño se debe efectuar según lo indicado en la Sección 5 del presente Código, según sea el tipo de mezcla.

### **ART. 17.7. CAPAS ASFÁLTICAS DE PROTECCIÓN**

#### **17.7.1. LECHADAS ASFÁLTICAS.**

Este diseño se debe efectuar según lo indicado en la Sección 5 del presente Código.

#### **17.7.2. SELLOS DE AGREGADO.**

Este diseño se debe efectuar según lo indicado en la Sección 5 del presente Código.



## SECCIÓN 18. DISEÑO DE OBRAS DE TIERRA, TALUDES EN CORTE Y TERRAPLENES

### ART. 18.1. DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Se define como talud de un corte o de un terraplén a su inclinación con respecto a la horizontal, o más exactamente la tangente del ángulo que el plano exterior del corte o terraplén forma con el plano horizontal que pasa por la base del mismo.

El diseño de un talud tiene importancia especialmente en donde existen cortes y terraplenes de considerable altura. En las vías urbanas es poco frecuente que se observe esta situación, sin embargo, existen ciertas comunas en que pasa a ser un caso habitual, lo cual hace necesario referirse a este problema.

El objetivo fundamental del diseño, es el de proyectar un talud lo más vertical que sea posible dentro de un razonable margen de seguridad, atendiendo a la necesidad de minimizar los costos del correspondiente movimiento de tierras y del terreno ocupado.

Para el estudio del problema se requiera un amplio conocimiento de las características del terreno, entre ellas; su composición mineralógica, su resistencia, la ubicación de la napa freática, condiciones de drenaje, etc. En base a este conocimiento se pueden analizar las posibles fallas que se desarrollen en el cuerpo del corte o terraplén y que afecten a la estabilidad del talud.

La naturaleza y la homogeneidad del material constitutivo son factores básicos para una adecuada solución, dado que contribuyen a reducir el riesgo de fallas.

Los métodos de cálculo conocidos se basan en la determinación de los parámetros de resistencia del suelo, los cuales son muchas veces difíciles de conocer por una simple apreciación visual o en base al estudio de casos anteriores; esto obliga a su determinación mediante pruebas de laboratorio.

### ART. 18.2. TIPOS DE FALLAS

Entre las posibles fallas de taludes, se pueden mencionar las siguientes:

#### **18.2.1. FALLA ROTACIONAL**

Consiste en la acción de un esfuerzo de corte que excede la resistencia del material, ello, da lugar a la formación de una superficie de deslizamiento, a lo largo de la cual se produce la falla. La superficie en cuestión tiene una forma aproximadamente cilíndrica o concoidal, cuya vertical también aproximada es un arco de circunferencia. Las fallas rotacionales pueden ser del cuerpo del talud o de la base.

#### **18.2.2. FALLA TRASLACIONAL**

Consiste en movimientos traslacionales del cuerpo del talud sobre una superficie de falla básicamente plana. Esta falla está asociada a estratos de suelo poco resistentes ubicados a no mucha profundidad, paralelamente a los cuales se desarrolla la superficie de falla.

### **18.2.3. FALLA CON SUPERFICIE COMPUESTA**

Es una combinación de una falla rotacional y otra traslacional, a consecuencia de heterogeneidades existentes en el cuerpo de talud.

### **18.2.4. FALLA POR EROSIÓN**

Se origina por el ataque de agentes erosivos, como son el viento y el agua superficial. En general, los suelos más erosionables son las arenas limosas (SM), limos arenosos (ML) y arenas finas; aumentando el riesgo con el aumento de la pendiente del talud, siendo éste graves en cortes con inclinaciones superiores a los 45° respecto de la horizontal, sumado al escaso éxito de la revegetación de la superficie.

### **18.2.5. FALLA POR LICUACIÓN**

Consiste en una rápida reducción de la resistencia al corte del material que puede ocurrir por dos causas: a) incremento en los esfuerzos de corte actuantes y b) desarrollo rápido de altas presiones en el agua intersticial a consecuencia de un sismo, explotación o determinadas vibraciones. Los suelos más susceptibles a licuación son los finos de estructura suelta y saturada (arenas finas uniformes y suelos finos no plásticos).

Los riegos por licuación son considerables principalmente en arenas limosas (SM), limos arenosos (ML) y algunos depósitos granulares, todos ellos con un contenido de finos, bajo 0.08 mm, menor al 15%, límite líquido menor que 35, contenido de agua mayor a 0.9 veces el límite líquido, sumergido o bajo nivel freático, profundidad del estrato potencialmente licuable menor a 15,2 m y profundidad del agua menor a 15,2 m respecto de la superficie, número de golpes SPT ( $N_{60}$ ) < 30 y  $q_c < 160$  (CPT corregido).

En primer término, conviene mencionar los casos en que, por la buena calidad del material del talud, se puede desechar la posibilidad de cualquier tipo de falla. En tales circunstancias, la única condición que se sugiere cumplir en relación al talud, es la de no sobrepasar el valor del ángulo de fricción interna del material, lo cual puede expresarse mediante el correspondiente factor de seguridad.

$$FS = \frac{tg\phi}{tg\beta}$$

En donde  $\phi$  es el ángulo de fricción interna y  $\beta$  es el ángulo de talud. Se recomienda que el valor de  $FS$  sea siempre mayor que la unidad, pero no conviene que llegue más allá de un 10% a un 20%  $\phi$  por sobre dicho valor.

## **ART. 18.3. FALLA ROTACIONAL**

El método más comúnmente empleado en el análisis de fallas rotacionales, es el método sueco de Fellenius, el cual se basa en las siguientes hipótesis:

- a.) La superficie de falla es concoidal.
- b.) Se considera un estado de deformación plana.
- c.) Se considera válida la ley resistencias de Mohr-Coulomb.
- d.) Se acepta que la resistencia al esfuerzo de corte trabaja en su totalidad a lo largo de toda la superficie potencial de falla que se está analizando.
- e.) Si hay flujo de agua en el terreno, se acepta que esté consolidado bajo la condición de régimen establecido.

La aplicación de este método sugiere comprender a su vez los tres pasos siguientes:

- a.) Formulación de una hipótesis sobre el mecanismo de falla que comprende: forma de la superficie, descripción de los movimientos a producirse y análisis de las fuerzas motoras.
- b.) Se aplica la ley de resistencia supuesta, determinando el valor de las fuerzas resistentes.
- c.) Se compara algebraicamente los valores obtenidos de las fuerzas motores y resistentes, para definir si el mecanismo de falla entra en acción.

Se recomienda distinguir tres casos, según sean las características del suelo, expresadas de acuerdo a las fórmulas contenidas en la Sección 12 del presente Código: Mecánica de suelos.

### **18.3.1. CASO 1: SUELOS PURAMENTE COHESIVOS: $\tau = c_u$**

Como se dio a conocer en la Sección 12,  $\tau$  es el esfuerzo de corte actuante. Se considera una superficie hipotética de falla de forma concoidal, determinándose el centro correspondiente. Se determinan las fuerzas motoras y resistentes y sus respectivos momentos estáticos  $M_m$  y  $M_r$ , con respecto a dicho centro (ver Lámina Tipo N° 18.1 del Apéndice III). Se determina la relación entre ambos momentos  $M_r/M_m$  cuyo valor es el correspondiente factor de seguridad FS. Se recomienda que este último no sea inferior a 1.2, pero en todo caso se fija de acuerdo a las condiciones del problema.

Posiblemente sea necesario efectuar dos o más tanteos, con distintas posiciones de la superficie de falla, hasta obtener el valor mínimo de FS.

### **18.3.2. CASO 2: SUELOS CON COHESIÓN Y FRICCIÓN, CONDICIÓN NO DRENADA**

Se han determinado los esfuerzos totales en un ensaye triaxial rápida CIU ( $\tau = c + \sigma \tan \phi$ ), con  $\phi$  ángulo de fricción interna;  $c$  cohesión y  $\sigma$  presión efectiva.

En este caso se usa el método de las dovelas de Fellenius (ver Lámina Tipo N° 18.2 del apéndice III). Como en el caso anterior, se procede por tanteos, hasta encontrar el círculo de falla crítico que da el factor de seguridad FS mínimo. Se analiza tanto los círculos de falla del pie del talud, como los de media ladera y de fallas profundas.

### 18.3.3. CASO 3: SUELOS CON COHESIÓN Y FRICCIÓN, CONDICIÓN DRENADA

Se determinan los esfuerzos efectivos en un ensaye triaxial lento o en un ensaye triaxial rápido consolidado ( $\tau = c + \tau \operatorname{tg} \phi$ ).

En este caso se aplica a los taludes situados total o parcialmente bajo el nivel freático o que están sometidos a una condición de flujo.

El método a emplear en el análisis es también el de las dovelas, procediéndose en todo los demás como en el caso anterior.

El método descrito tiene, sin embargo el inconveniente de los tanteos necesarios para llegar a la superficie potencial de falla que presente el menor FS. Puede usarse el método de Taylor, más simplificado, cuando no se requiere una gran precisión. Este método ha desarrollado gráficos que son expresión de las fórmulas de cálculo, los cuales se incluyen en el Apéndice III. Se consideran los tres casos siguientes:

- a.) Materiales cohesivos: homogéneos con el terreno de cimentación.
- b.) Materiales cohesivos: círculo de falla tangente a un estrato resistente.
- c.) Materiales con cohesión y fricción.

En este caso se determina, conocido el ángulo de talud  $\beta$ , el valor del número de estabilidad  $N_e$  (ver gráficos); y, mediante este valor se puede determinar el de  $C_u$ , necesario para el equilibrio en condición crítica, el cual se puede comparar con el valor de la cohesión disponible. El factor de seguridad se define ahora como:

$$FS = \frac{Cu(\text{disponible})}{Cu(\text{necesario})}$$

### ART. 18.4. FALLA TRASLACIONAL

Como ya se explicó, esta falla se origina por la existencia de un estrato profundo con una baja resistencia al corte o débil, el que puede estar formado por arcillas blandas o bien por arenas relativamente finas sometidas a una alta presión de poros.

Si el estrato débil es arcilla, los parámetros de resistencia pueden obtenerse en un ensaye triaxial sin consolidación y sin drenaje. El análisis puede efectuarse en base a los esfuerzos totales. Si el estrato débil es arena, dichos parámetros pueden obtenerse en una prueba triaxial con esfuerzos efectivos, haciendo intervenir la fuerza de supresión actuante. El esquema del cálculo se indica en el Apéndice III, lámina 18.4

Se recomienda que el valor del factor de seguridad no sea menor que 1.5.

**ART. 18.5. FACTORES DE SEGURIDAD**

El Factor de seguridad (FS) mínimo es de 1.5 en el caso estático y una aceleración sísmica de 0.25 g para la cual el talud presenta un factor de seguridad de 1.0 (aceleración de fluencia). Este valor, para el coeficiente sísmico horizontal, garantiza que las deformaciones permanentes en los cortes (en caso sísmico) sean mínimas.

Para el análisis estático el factor de seguridad mínimo, se determina para 900 superficies de falla circulares, en caso de suelos homogéneos e isotrópicos con presencia de finos bajo 0.08 mm (mayor al 20%) y fallas planas para suelos granulares. Para el análisis sísmico el factor de seguridad se determina para distintas aceleraciones sísmicas horizontales, hasta alcanzar la fluencia del suelo.

**ART. 18.6. GRÁFICOS PARA LA DESCRIPCIÓN Y CÁLCULO DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO**

En el apéndice III (ver láminas N° 18.1 a 18.4), se presentan los gráficos necesarios para la descripción, el desarrollo y el cálculo de los métodos de diseño anteriormente enunciados.





## SECCIÓN 19, DISEÑO ESTRUCTURAL, ALCANTARILLAS, PUENTES Y LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO

### ART. 19.1 DISEÑO ESTRUCTURAL DE ALCANTARILLAS

En general, las alcantarillas se construyen de hormigón o de hormigón armado, a excepción de las alcantarillas de tubos, que también pueden ser metálicas (acero corrugado). Por tal razón se diferencian las alcantarillas de tubos rígidos de las de tubos flexibles.

Para el análisis estructural se requiere considerar las diferentes cargas que solicitan a la estructura, como son; por una parte, el peso de la masa o relleno existente sobre la misma y las presiones laterales ejercidas por dicho relleno, las cuales reciben el nombre de cargas muertas. Por otra parte, las cargas debido al tránsito, incrementados por los impactos y vibraciones transmitidas por ellas, además de las sollicitaciones ejercidas por el agua en las curvas cerradas, las cuales se conocen como cargas vivas.

Los esfuerzos inducidos dentro de las estructuras son bastante menores en las de tubos flexibles, debido a la mayor deformación que pueden soportar. Se advierte que la máxima deformación admisible en tales estructuras es del 5% de su dimensión vertical.

A fin de resistir adecuadamente las cargas, la alcantarilla se apoya en toda su longitud; si el terreno existente no tiene un poder de soporte suficiente, es necesario especificar su reemplazo, en un espesor que se determina, por material de buena calidad, compactado, o bien se especifica la construcción de una fundación de hormigón o la colocación de tubos especiales que tienen incorporada su propia fundación.

Es recomendable que el material de relleno de la zanja practicada para la construcción de la alcantarilla, sea inerte al agua y no susceptible a expansiones ni agrietamientos y que se coloque por capas bien compactadas.

#### 19.1.1. CÁLCULO DE LAS CARGAS MUERTAS

Existen fórmulas que permiten calcular el valor de las cargas muertas actuantes. Tales fórmulas expresan su valor como una fuerza aplicada sobre la estructura. Esta fuerza da origen a esfuerzos internos de flexión y de corte en las estructuras de sección cuadrada o rectangular, y a esfuerzos de compresión en las de sección circular (en estas últimas se puede despreciar los esfuerzos de flexión si sus dimensiones son de uso común).

Se propone la siguiente fórmula:

$$W_m = C_d \cdot P_e \cdot B_t^2$$

Siendo:

$W_m$  = valor de las cargas muertas. [Kg/ml]

$P_e$  = peso específico del suelo. [Kg/m<sup>3</sup>]

$B_t$  = ancho de la zanja. [m]

$C_d$  = coeficiente de carga.

El valor de  $C_d$  se obtiene del gráfico incluido en Apéndice III (Lámina N° 19.1). En tubos flexibles, el valor de  $W_m$  se multiplica por  $D/B_t$ , siendo  $D$  el diámetro exterior del tubo.

Cuando sobre la alcantarilla existe una cierta altura de terraplén, aparte del relleno de la zanja, la fórmula a aplicar es la siguiente:

$$W_m = C_c \cdot P_e \cdot D^2$$

Los valores de  $C_c$ , se encuentran en el gráfico (Lámina N° 19.1) del Apéndice III.

### 19.1.2. CÁLCULO DE LAS CARGAS VIVAS

Para el cálculo de las cargas vivas puede emplearse la teoría de Boussinesq, que se refiere, como es sabido, a un medio linealmente elástico, semi-infinito, homogéneo e isótropo. Al considerar que las cargas debidas a los vehículos están en movimiento, es necesario considerar los efectos de impacto y vibraciones, lo que conduce a la siguiente fórmula de uso práctico:

$$W_v = \frac{1}{L} \cdot W_o \cdot F_i \cdot P$$

Donde:

- $W_v$  = carga viva por metro lineal. [Kg/ml]
- $L$  = largo de cada tubo. Si este es continuo se toma  $L= 1$  metro
- $W_o$  = factor de influencia de la carga superficial
- $F_i$  = factor de impacto. Su valor puede tomarse entre 1,5 y 2.
- $P$  = carga de rueda. [Kg]

Esta carga se considera aplicada en el eje del tubo, cuando la carga de rueda está verticalmente sobre el mismo.

### 19.1.3. CÁLCULO ESTRUCTURAL

De acuerdo a la forma de la sección transversal de la alcantarilla, se determinan los esfuerzos actuantes de flexión, corte, compresión o tracción, calculándose los espesores y armaduras necesarias en hormigón armado simple o en hormigón simple.

Es recomendable tener en consideración los esfuerzos máximos admisibles, de acuerdo a las normas del INN.

En el caso de los tubos flexibles, es necesario calcular el valor de la presión crítica, por efecto de pandeo:

$$q_{cr} = \frac{3 \cdot EI}{R_o^3}$$

Siendo:

$q_{cr}$ : presión crítica. [Kg/ml]

$EI$ : rigidez a la flexión de la sección de la pared del tubo. [Kg-m<sup>2</sup>]

$R_o$ : radio de la fibra media de dicha sección. [m]

$E$  = módulo de elasticidad. [Kg/m<sup>2</sup>]

$I$  = momento de inercia de la sección. [m<sup>4</sup>]

Nótese que se recomienda adoptar un coeficiente de seguridad que, en ningún caso, sea inferior a 1,5.

## ART. 19.2 DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTES Y LOSAS

El diseño estructural de estas obras comprende el diseño de la losa o de la superestructura y el diseño de la infraestructura, las que, en ciertos casos, pueden constituir una sola estructura.

### 19.2.1. DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA

De acuerdo al tipo de material con que se construye la superestructura, hormigón armado, acero o madera, se desarrolla un método de cálculo adecuado para determinar las secciones transversales o espesores de los elementos que se conforman la estructura, las secciones de acero, etc.

En general, en cualquier tipo de puente, se considera diseñar sobre la propia superestructura para efectos de tránsito, un recubrimiento, que puede ser de hormigón o de asfalto, con un espesor mínimo de 5 cm.

Para el cálculo estructural se considera como carga aplicada, además del peso propio, una sobrecarga equivalente al peso de un camión de 30 toneladas, que se distribuye de la siguiente forma:

a.) Eje delantero simple : 5 ton.

b.) Eje central doble : 11 ton.

c.) Eje trasero doble : 14 ton.

La distancia entre los ejes delanteros y central es de 4 metros, y entre el eje central y el trasero de 8 metros. En un eje doble, la distancia entre ejes componentes es de 2 metros.

Estas cargas se incrementan en un 40% para tener en cuenta el efecto dinámico.

Se estudian las líneas de influencia de estas cargas, considerando su posición más desfavorable. Tales cargas se suponen actuando sobre cada tramo de puente o bien sobre una longitud máxima de 25

metros. Si el puente tiene calzadas, se consideran estas cargas aplicadas simultáneamente sobre cada una de ellas.

Puede aceptarse que las cargas de rueda se apliquen sobre una superficie de contacto que se determina de acuerdo a las formulas de Westergard u otra análogas, teniendo en cuenta el espesor total de losa más recubrimiento.

La luz de cálculo de cada tramo de losa, se toma igual a la distancia entre ejes de apoyos, sean estos muros o pilares.

Los momentos de flexión en los apoyos intermedios se calculan como los de vigas continuas con apoyos articulados.

Los momentos de flexión en los apoyos extremos, cuando exista una unión rígida entre la losa y el muro, pueden calcularse considerando un semi-empotramiento, debiendo en todo caso verificarse que exista una disposición constructiva adecuada.

Para el cálculo del esfuerzo de corte se considera como ancho estático, el que fijan las normas del INN sobre hormigón armado, las normas sobre construcciones de aceros o de madera, según el caso.

Las losas de hormigón armado se especifican una resistencia a compresión del hormigón de 300 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

Con respecto a las tensiones admisibles en los materiales que conforman los diferentes elementos de la estructura, se deberá tener presente lo establecido en las siguientes normas oficiales del INN:

- a.) Hormigón armado: NCh. 430 Of. 2008.
- b.) Acero para uso estructural, requisitos: NCh. 203 Of. 2006.
- c.) Maderas. Tensiones admisibles para madera estructural: NCh. 1990 Of. 1986.

Se recomienda que el proyectista indique en la memoria del proyecto, el procedimiento de cálculo empleado.

### **19.2.2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA**

La infraestructura está compuesta por los muros de cabecera, los machones o pilares intermedios y por sus respectivas fundaciones, todos los cuales se diseñan en hormigón armado.

Los muros de cabecera se calculan como muros de contención, sometidos al empuje del terraplén adyacente y además, a las cargas transmitidas por la superestructura. Si en la unión entre ésta última y el muro se considera semi-empotramiento, se recomienda tener en cuenta la presencia de esfuerzos de flexión, torsión y corte actuando sobre el muro.

Los machones o pilares soportan las cargas transmitidas por la superestructura, que inducen en general, esfuerzos de compresión, pero también se recomienda estudiar el efecto de una posible excentricidad de las cargas y de eventuales fuerzas horizontales, como son el viento y los sismos.

Para el dimensionamiento de las zapatas de fundación se considera que las cargas transmitidas por los muros o pilares se soporten con un cierto factor de seguridad por el terreno subyacente. La capacidad de soporte de éste, puede evaluarse en base a alguna de las teorías de capacidad de carga (Terzaghi, Meyerhof, etc.). Por otra parte, se recomienda aplicar algún método de análisis de asentamiento, a fin de verificar que los posibles asentamientos del terreno no excedan los valores límites admisibles.

Se reitera lo expresado anteriormente en relación a las tensiones máximas admisibles por los materiales que componen la infraestructura. Igual cosa respecto a la exposición del procedimiento de cálculo empleado en la memoria de proyecto.



## SECCIÓN 20. DISEÑO ESTRUCTURAL MUROS DE CONTENCIÓN

### ART. 20.1 GENERALIDADES

Un muro de contención es una estructura diseñada con el fin de soportar una determinada altura de corte o de relleno en una vía en los casos en que, por no disponerse de espacio suficiente, no es posible construir los cortes o terraplenes en referencia con el talud que les permite una estabilidad suficiente, este caso se presenta también en los cruces de vías a diferente nivel.

El diseño de un muro de contención comprende, en primer término, la determinación de las fuerzas solicitantes y resistentes que actúan sobre la estructura y, en segundo término, la comprobación del dimensionamiento del muro para resistir adecuadamente los esfuerzos o fatigas resultantes y de su necesaria estabilidad frente a posibles inclinaciones o desplazamientos que pueden afectarle.

Se construyen dos tipos de muros de contención, los muros gravitacionales y los estructurales, cuyo diseño se basa en consideraciones un tanto diferentes, según se explicará más adelante.

### ART. 20.2 EMPUJE DE TIERRAS

El suelo o material de relleno adyacente al muro de contención, ejerce sobre éste una fuerza que tiende a volcarlo o deslizarlo hacia el exterior, esta fuerza se denomina “empuje de tierras” y su valor es determinado. Los métodos usados para este fin se basan en las teorías clásicas sobre empuje de tierras de Ranking y de Coulomb, existiendo además un método propuesto por Terzaghi.

#### 20.2.1. MÉTODO DE RANKING EN SUELOS CON FRICCIÓN

La teoría de Ranking considera en primer término el caso de suelos con fricción, para lo cual formula las siguientes hipótesis:

- a.) Los estados plásticos, pasivo y activo, se desarrollan por completo en toda la masa del suelo.
- b.) Si la superficie del relleno es horizontal y el respaldo del muro vertical, se considera nulo el coeficiente de fricción entre muro y suelo.
- c.) Si la superficie del relleno está inclinada en un ángulo  $\beta$  se admite que el coeficiente de fricción muro-suelo tiene un valor tal que las presiones actuantes forman el mismo ángulo  $\beta$  con la horizontal.

Sea  $\gamma$  el peso específico del material del suelo y  $z$  la altura del relleno; las presiones ejercidas por dicho relleno, en sentido horizontal y vertical son:

Presión horizontal: 
$$P_h = K_o \cdot \gamma \cdot z$$

Presión vertical: 
$$P_v = \gamma \cdot z$$

En estas fórmulas,  $K_o$  es un coeficiente llamado “coeficiente de tierra en reposo” y su valor varía entre 0,4 y 0,8 en los suelos friccionantes, ya que se ha considerado que el suelo está en reposo, es decir, no se producen desplazamientos de su masa.



Si por algún medio se disminuye la presión horizontal en el interior del suelo, manteniendo constante la presión vertical, se llega a producir la falla de la masa de suelo cuando se alcance el valor:

$$P_h = K_a \cdot \gamma \cdot z$$

A este valor de  $K_a$  se le llama “coeficiente de presión activa de tierras”.

Por su parte, también se puede llegar a un estado de falla aumentando la presión horizontal y manteniendo constante la presión vertical, cuando la presión  $P_h$  alcance el valor:

$$P_h = K_p \cdot \gamma \cdot z$$

El valor  $K_p$  se designa como “coeficiente de presión pasivo de tierras”.

Un estado de falla determina que el suelo ha alcanzado el estado plástico el cual puede ser activo o pasivo, según si dicho estado se alcanza a través de el primero o del segundo de los procesos anteriormente descritos. Para cada uno de estos estados, se obtiene:

$$K_a = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) = \frac{1}{N\phi}$$

$$K_p = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) = N\phi$$

Siendo  $\phi$  el ángulo de fricción interna y  $N\phi$  la relación correspondiente  $P_v/P_h$  entre las presiones vertical y horizontal.

Un muro de contención puede ser afectado por cualquiera de los dos estados de falla, activo y pasivo. En el primer caso, el relleno es el que ejerce empuje sobre el muro y éste se desplaza o se inclina hacia el lado exterior; en el segundo existe un empuje exterior que hace ceder el muro hacia el lado interior.

De acuerdo a la primera de las hipótesis formuladas, se llega a determinar el valor de los empujes activo y pasivo:

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma \cdot H^2$$

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot \gamma \cdot H^2$$

Siendo  $H$  la altura total del muro.

El punto de aplicación del empuje se encuentra a un tercio de la altura del muro, medida desde su base. Su línea de acción es horizontal.

Si la superficie del relleno forma un ángulo  $\beta$  con la horizontal, las fuerzas de empuje son paralelas a la superficie, de acuerdo a la tercera hipótesis, y los valores correspondientes son:

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot K'_a \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \cos \beta$$

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot K'_p \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \cos \beta$$

Siendo:

$$K'_a = \frac{1}{K'_p} = \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

### 20.2.2. MÉTODO DE RANKING EN SUELOS COHESIVOS.

Al igual que en los suelos con fricción, si la masa de suelo está en reposo, y suponiendo una superficie de relleno horizontal, se tiene:

$$P_h = K_o \cdot \gamma \cdot z \qquad P_v = \gamma \cdot z$$

Al producirse una deformación lateral, la masa de suelo puede llegar a la falla de dos maneras, en forma análoga a los suelos con fricción, es decir, disminuyendo la presión horizontal hasta el inicio de la falla, se llega al estado plástico activo; aumentando la presión horizontal hasta llegar al mismo punto, se alcanza el estado plástico pasivo. En este caso, los valores a que alcanzan las correspondientes presiones son:

a.) Estado plástico activo:

$$P_h = \gamma \cdot z - 2 \cdot c \qquad P_v = \gamma \cdot z$$

Y el valor de  $P_v$  es mayor que el de  $P_h$

$c$  = cohesión o resistencia del suelo bajo normal exterior nula; se supone constante.

b.) Estado plástico pasivo:

$$P_h = \gamma \cdot z + 2 \cdot c \qquad P_v = \gamma \cdot z$$

Siendo ahora  $P_h$  mayor que  $P_v$ .

Si se calcula el valor del empuje, se obtiene en cada caso:

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 - 2 \cdot c \cdot H$$

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 + 2 \cdot c \cdot H$$

Estas fuerzas son horizontales y pasan por el centroide del área de presiones.

Si en la primera de estas fórmulas se hace  $E_a = 0$ , se obtiene:

$$H_c = 4 \cdot \frac{c}{\gamma}$$

$H_c$  es la altura “crítica”, que es la altura máxima que puede darse a un corte vertical de material cohesivo sin peligro de derrumbamiento.

### 20.2.3. MÉTODO DE RANKINE EN SUELOS CON COHESIÓN Y FRICCIÓN.

Las fórmulas aplicables a suelos que son, al mismo tiempo, cohesivos y friccionantes, son las siguientes:

a.) Estado plástico activo:

$$P_h = K \cdot \gamma \cdot z - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma \cdot H^2 - 2 \cdot c \cdot H \cdot \sqrt{K_a}$$

b.) Estado plástico pasivo:

$$P_h = K_p \cdot \gamma \cdot z + 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p}$$

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot \gamma \cdot H^2 + 2 \cdot c \cdot H \cdot \sqrt{K_p}$$

Altura crítica:

$$H_c = \frac{4 \cdot c}{\gamma \cdot \sqrt{K_a}}$$

### 20.2.4. MÉTODO DE COULOMB EN SUELOS CON FRICCIÓN

El método de Coulomb es un método gráfico, se considera en él que siempre existe fricción entre el respaldo del muro y el suelo, si éste es friccionante. El empuje de tierras se determina considerando una cuña de suelo limitada por el respaldo, la superficie del relleno y una superficie teórica de falla supuestamente plana, desarrollada dentro del relleno.

El método consiste en una serie de tanteos, dibujando varias posibles cuñas, para las cuales se obtienen los respectivos valores del empuje, hasta obtener el valor máximo “crítico”. Se procede a dibujar el polígono de fuerzas en equilibrio en el interior de la cuña, que son las siguientes:  $W$  (peso del relleno),  $F$  (reacción lateral del suelo adyacente sobre el plano de falla) y  $E$  (empuje). De estas fuerzas, se conocen el valor y dirección de  $W$  y la dirección de  $F$ , lo que permite determinar  $E$ . El punto de aplicación de este último está a un tercio de la altura, medida desde la base.

### 20.2.5. MÉTODO DE TERZAGHI

Este método aplicable a muros de una altura no superior a 7 metros. Se basa en una clasificación particular de los suelos en 5 grupos.

La superficie del relleno se considera plana, pudiendo ser horizontal o inclinada y sin sobrecarga.

Determinando los valores de  $K_h$  y  $K_v$ , dos parámetros introducidos por este método, se obtienen los valores de las componentes horizontal y vertical del empuje:

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot K_h \cdot H^2$$

$$E_v = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot K_v \cdot H^2$$

Siendo  $H$  la altura. El punto de aplicación, como en los casos anteriores, se encuentra a un tercio de dicha altura.

## ART. 20.3 GRÁFICOS Y TABLAS DE DISEÑO DE MUROS DE HORMIGÓN ARMADO

En el Apéndice III, Láminas N° 20.1 a 20.4 se incluyen gráficos que permiten apreciar el desarrollo de los métodos de diseño anteriormente descritos.

## ART. 20.4 CÁLCULOS DE ESTABILIDAD DE LOS MUROS DE CONTENCIÓN

Según lo expresado en 20.1, los muros de contención pueden ser gravitacionales o estructurales, el objeto del diseño, en ambos casos, es asegurar la estabilidad del muro mediante un coeficiente de seguridad, propio de cada una de las posibles fallas que pudieren producirse.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, todo muro de contención es solicitado por el empuje de tierras  $E$ , determinado por alguno de los métodos enumerados, a su vez, el empuje da origen a dos sollicitaciones fundamentales, que son a) un momento de volcamiento, que tiende a hacer girar al muro hacia el exterior, en torno a su base, y b) una fuerza horizontal de deslizamiento, que tiende a desplazarlo sobre el plano de base, también hacia el exterior. Lo anterior es válido en el caso más común, vale decir del empuje activo, debiendo, en el caso del empuje pasivo, invertirse la dirección de estas sollicitaciones.

Como se ve, pueden originarse dos tipos de fallas en los muros, a los cuales se agregan otros posibles, según se indica a continuación:

### 20.4.1. FALLA POR VOLCAMIENTO

a.) Se produce cuando el momento de volcamiento es mayor que el momento resistente. Este último, es debido al peso del muro y del terreno colaborante.

#### **20.4.2. FALLA POR DESLIZAMIENTO**

b.) Se produce cuando la fuerza de deslizamiento y/o corte es mayor que la fuerza de fricción entre el muro y el suelo de fundación.

#### **20.4.3. FALLA ESTRUCTURAL**

c.) Puede producirse debido a esfuerzos excesivos del material componente del muro, dando lugar a grietas y a desintegración.

#### **20.4.4. FALLA POR PRESIÓN EXCESIVA SOBRE EL TERRENO**

d.) Se debe a posibles asentamientos diferenciales, por ser la presión actuante sobre el suelo de fundación, superior a su capacidad resistente, lo que trae como consecuencia una reducción del momento resistente.

En relación a este último punto, se recomienda tener muy en cuenta la presión máxima aplicada, de acuerdo a la calidad del terreno de fundación. En lo posible, un muro no se construye sobre un suelo perturbado o sobre rellenos en que puedan producirse asentamientos. En cuanto a la profundidad de fundación, es recomendable situarse por debajo del nivel de congelamiento del terreno, lo cual en climas relativamente fríos significa una profundidad comprendida entre 1,20 y 1,50 metros.

### **ART. 20.5 FACTORES DE SEGURIDAD**

Los factores de seguridad frente a cada tipo de falla tienen valores que se fijan, por lo general, en base a la experiencia; pueden fluctuar entre ciertos límites, pero en todo proyecto se recomienda fijar específicamente el valor que sea más adecuado.

Los factores de seguridad al volcamiento, al deslizamiento y a la falla de fundación se aplican en igual forma a los muros gravitacionales y estructurales. La diferencia entre ambos se refiere a la necesidad de un diseño estructural para estos últimos, dado que por sus menores dimensiones, los esfuerzos actuantes en ellos son muy superiores a los correspondientes en los muros gravitacionales, que poseen siempre un espesor considerable y un peso importante.

#### **20.5.1. FACTOR DE SEGURIDAD AL VOLCAMIENTO**

Se obtiene estableciendo la relación entre el momento resistente y el máximo valor del momento volcante y se expresa de acuerdo a las fórmulas siguientes:

a.) Si se considera la carga estática:

$$F.S. = \frac{W \cdot x}{E_h \cdot \frac{H}{3} - E_v \cdot B}$$

Siendo:

$W$  = peso del muro más peso del suelo que descansa sobre la zapata de fundación, por metro lineal.

$E_h$  y  $E_v$  = componentes horizontal y vertical del empuje, por metro lineal.

$H$  = altura total del muro.

$B$  = ancho de la zapata.

$x$  = brazo de palanca de  $W$  respecto de la arista exterior de la zapata.

b.) Si se considera además, una acción sísmica, se agrega un término negativo en el numerador de la expresión anterior.

$$F.S. = \frac{W \cdot x - \alpha \cdot W \cdot y}{E_h \cdot \frac{H}{3} - E_v \cdot B}$$

$\alpha$  es un coeficiente sísmico, que puede ser tomado como igual a 0,2;  $y$  es el brazo de palanca de la fuerza sísmica, el cual puede tomarse aproximadamente como igual a  $H/2$ . De acuerdo a esto, la expresión anterior queda:

$$F.S. = \frac{W \cdot x - 0,1 \cdot W \cdot H}{E_h \cdot \frac{H}{3} - E_v \cdot B}$$

Los valores mínimos aceptables de  $F.S.$  son:

TABLA 20-1: FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS AL VOLCAMIENTO

FS PARA TODO TIPO DE SUELOS	ESTÁTICO	SÍSMICO
	2,0	1,3

### 20.5.2. FACTOR DE SEGURIDAD AL DESLIZAMIENTO

Se obtiene calculando la relación entre la fuerza de adherencia y deslizamiento. Se consideran igualmente los dos casos siguientes:

#### 20.5.2.1. Carga estática.

$$F.S. = \frac{W \cdot \operatorname{tg}\mu + c \cdot B \cdot L}{E_h - E_v \cdot \operatorname{tg}\mu}$$

En esta fórmula  $\mu$  es el ángulo de fricción entre el muro y el relleno y se puede tomar igual a  $\frac{2}{3}\phi$ .  $C$  es la cohesión. Las demás letras tienen el mismo significado que en el caso anterior.

20.5.2.2. Carga estática más acción sísmica.

$$F.S. = \frac{W \cdot tg\mu + c \cdot B \cdot L - \alpha \cdot W}{E_h - E_v \cdot tg\mu}$$

El valor de  $\alpha$  puede, como anteriormente, tomarse igual a 0,2.

Los valores mínimos aceptables son:

TABLA 20-2: FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS AL DESLIZAMIENTO

FS PARA TODO TIPO DE SUELOS	ESTÁTICO	SÍSMICO
	2,0	1,3

**ART. 20.6 MUROS GRAVITACIONALES**

Los muros de contención gravitacionales son de forma trapezoidal y cuentan, en gran medida, con su dimensión transversal y con su peso propio para resistir al empuje de tierras. Es por tal razón que, en general, no son de gran altura. Su espesor medio se encuentra comprendido aproximadamente entre un tercio y un cuarto de su altura. Se construyen de hormigón o de mampostería unida con mortero de cemento.

El diseño consiste en fijar las dimensiones del muro, calcular los valores de las fuerzas y momentos solicitantes y de los factores de seguridad, a fin de comprobar que éstos cumplen con los valores permitidos.

**ART. 20.7 MUROS ESTRUCTURALES**

Los muros estructurales se construyen de hormigón armado. En su estructura se distinguen dos elementos fundamentales: la pantalla o superestructura y la zapata de fundación. Además, pueden también disponer de contrafuertes de forma triangular, uniformemente espaciados, que unen en un solo bloque la pantalla y la zapata, transformando, así el muro en una estructura continua, con un cierto número de apoyos.

La zapata puede ofrecer distintas disposiciones, de acuerdo principalmente al espacio disponible en el terreno de fundación. Así, se tienen los muros en forma de T, de L o de L invertida, según lo cual la zapata dispone de una parte exterior, de una interior o de ambas.

**20.7.1. DISPOSICIÓN DE ZAPATAS POR TIPO DE MURO**

20.7.1.1. Muros en forma de T.

La zapata comprende zapata exterior e interior. La longitud total de la misma es generalmente igual a 0,4 a 0,6 veces la altura total del muro y la zapata exterior es de 1/4 a 1/2 de esta longitud completa.

### 20.7.1.2. Muros en forma de L.

Solamente existe la zapata interior. Su longitud puede variar entre 0,50 y 0,55 veces la altura total.

### 20.7.1.3. Muros en forma de L invertida.

Solamente existe la zapata exterior. Su longitud es igual a 0,50 a 0,60 veces la altura total.

## 20.7.2. CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LOS MUROS DE HORMIGÓN ARMADO

Cada uno de los tres elementos: pantalla, zapata exterior y zapata interior se calculan como vigas cantilever, con empotramiento en un extremo opuesto.

Se calculan, de acuerdo a la estática, las fuerzas y movimientos actuantes en cada sección de la estructura. Mediante estos valores, se procede al dimensionamiento de dichas secciones en hormigón armado, ajustándose a lo dispuesto en las Normas Oficiales del INN; se calcula el espesor del muro y las armaduras de tracción y de comprensión, para cada uno de los elementos estructurales mencionados.

Cuando el muro es de una longitud apreciable, es necesario disponer juntas de expansión o contracción a una distancia de no más de 25 metros entre sí. Se impide en esta forma, la aparición de grietas ocasionadas por esfuerzos de comprensión o de tracción o variaciones de temperatura.

Se recomienda que:

La armadura de reparaciones horizontales sea continua, de modo que en las juntas, las dos partes adyacentes constituyan estructuralmente una sola unidad.

La sección de acero de dicha armadura sea en promedio igual a 0,2 % de la sección transversal de la pantalla, calculada por metro lineal.

En la zapata también se disponga una armadura de repartición y que la sección de acero sea como mínimo de 0,1 % a 0,2 % de la sección transversal de la zapata, por metro lineal.

## ART. 20.8 DRENAJE DE LOS MUROS DE RETENCIÓN

Debido a la existencia de napas freáticas o por infiltración de aguas superficiales dentro del relleno soportado por el muro de retención, se acumulan importantes cantidades de agua, las cuales se recomienda sean rápidamente evacuadas a fin de evitar aumentos indeseables de las presiones ejercidas por la masa de suelo.

En tal sentido, se disponen elementos de drenaje, tales como los que se mencionan a continuación:

a.) Tubos de drenaje a través del muro de diámetro aproximado a 5 cm., colocados en hileras paralelas a lo largo del muro, con un espaciamiento vertical no mayor de 2 metros. Puede consultarse en conjunto con los tubos la instalación de material filtrante en el relleno.

b.) Drenes corridos de material permeable en toda la longitud del muro y ubicados en su respaldo. La descargas de los drenes se hace hacia costados del muro.



c.) Capa de material permeable que cubre todo el respaldo del muro, con un espeso mínimo de 30 cm. La descarga puede hacerse con tubos de salida a través del muro o mediante un tubo colector perforado, colocado en la base del muro y con descarga en ambos extremos.

#### **ART. 20.9 CARACTERÍSTICAS DEL RELLENO**

En el relleno que se coloque detrás del muro se recomienda usar, dentro de lo posible, un material de buena calidad, constituido por arena, grava y porcentajes de arcilla no expansiva.

Si fuese inevitable emplear como relleno materiales arcillosos exclusivamente, se toma en cuenta la pérdida de cohesión del material, que puede llevar a éste a comportarse como un fluido con un peso específico igual al del suelo.

En lo que se refiera a la compactación del relleno, se tiene en cuenta los efectos favorables que proporciona, tales como aumento de la resistencia al esfuerzo cortante, disminución de la presión y de la posibilidad de asentamiento. Sin embargo, no es recomendable llevar la compactación a valores excesivos, ya que en tal caso, se originan presiones residuales que hacen crecer el valor del empuje.

## SECCIÓN 21. DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS EN SECTORES URBANOS

### ART. 21.1 DEFINICIÓN Y OBJETIVO

El agua es la variable fundamental en la mayoría de los problemas asociados con el desempeño de los pavimentos y es directa o indirectamente la responsable de muchos de los deterioros encontrados en ellos: pérdida de capacidad de soporte de la subrasante, reducción de la rigidez de la capa granular, erosión de las capas de la base, reducción de la vida útil del pavimento, entre otros.

En general, todas las vías urbanas se ven afectadas por la acción de aguas de distinto origen, lo cual exige disponer de los medios necesarios para proceder a su evacuación.

Las obras que cumplen con el objeto señalado de captar, encauzar o transportar las aguas, se definen comúnmente como obras de drenaje y es función del proyectista estudiar, proyectar y especificar las soluciones de drenaje más adecuadas, que aseguren su buen funcionamiento y la debida integridad de los pavimentos.

### ART. 21.2 CLIMA

Dado que la aplicación de cualquier obra de captación y conducción de aguas depende directamente del entorno en el que se sitúa, se hace necesario establecer una clasificación basada principalmente en aspectos climáticos, geológicos, hidrológicos y de suelos, así como de ordenación territorial y urbana.

Dentro de las características particulares que distinguen las zonas climáticas predominantes en el país, se encuentran: humedad, precipitaciones, temperaturas, vientos, entre otros. De esta manera, para el desarrollo de una obra en particular, se dan a conocer una serie de sugerencias y técnicas de diseño que se adapten a cada zona, donde se emplace la obra.

El factor de mayor relevancia para el diseño y dimensionamiento de las obras de captación y conducción de aguas es el comportamiento de las precipitaciones, tanto en magnitud como en ocurrencia dentro del país, ya que son ellas las que definen las lluvias o tormentas de diseño, que a su vez establecen las características y condicionan la operación de dichas obras.

#### 21.2.1. ZONAS CLIMÁTICAS DE CHILE CONTINENTAL

El clima de nuestro país se encuentra condicionado por la proximidad al Océano Pacífico y al Polo Sur, el efecto orográfico de la Cordillera de Los Andes, la Cordillera de la Costa y otros cordones montañosos, así como la circulación general de la atmósfera, con la marcada influencia del anticiclón de Pacífico y su posición. De esta manera, se acostumbra considerar en Chile continental 5 zonas:

- I.a) Desierto árido.
- I.b) Árido altiplánico.
- 2) Semiárido.
- 3) Mediterráneo.

- 4.a) Templado húmedo.
- 4.b) Templado húmedo oceánico.
- 5.a) Frío oceánico.
- 5.b) Frío patagónico.

Dichas zonas se presentan a continuación en la Figura 21-I:

FIGURA 21-I: ZONAS CLIMÁTICAS EN CHILE CONTINENTAL



Comenzando por el Norte se encuentra la región 1.a) también llamada Norte Grande, la cual prácticamente no recibe efectos de frentes polares, se registran muy pocas precipitaciones y la humedad es muy baja. En su parte oriental (región 1.b), formada por una meseta alta, recibe lluvias paramazónicas de verano y acumulación de nieve en las altas cumbres.

La zona 2 abarca desde Copiapó hasta el río Aconcagua. Esta es una zona de transición climática, en la cual se comienza a recibir lluvias de invierno, aunque presentan una gran irregularidad; mientras en los sectores altiplánicos persisten algunos efectos del invierno boliviano.

Entre el Río Aconcagua y el Imperial se desarrolla la zona 3, de carácter templado y clima mediterráneo. Las lluvias se concentran en la estación fría de invierno, mientras la estación cálida es de carácter seco.

Entre las ciudades de Temuco por el norte y Puerto Montt por el sur, el clima es del tipo templado húmedo que caracteriza a la zona 4.a). En esta zona hay una reducción del periodo seco con un aumento de las precipitaciones.

Entre el canal de Chacao y el Río Cisnes se considera un clima templado húmedo frío. Aquí las precipitaciones son constantes e importantes. Más al sur, la región se divide climáticamente de norte a sur en la vertiente del Pacífico, con un clima muy frío y alta pluviosidad y una zona en la vertiente occidental, al oriente de las altas cumbres, con una marcada menor pluviosidad. A continuación, en la Tabla 21-I, se presentan los valores de la precipitación promedio en algunas ciudades del país:

TABLA 21-I: PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN ALGUNAS CIUDADES.

Zona Climática Región	Ciudad	P.P. anual [mm/año]	Días con lluvia	Agua caída por día de lluvia [mm]	
Desierto Árido	I Tarapacá	Arica	1	0	4
		Iquique	1	0	4
	II Antofagasta	Antofagasta	5	1	6
		Calama	4	1	4
		S. Pedro de Atacama	28	6	3
Semiárida	III Copiapó	Copiapó	10	2	9
		Vallenar	31	4	11
	IV Coquimbo	La Serena	84	9	10
		Ovalle	114	10	13
		Illapel	177	17	14
	V Valparaíso	Valparaíso	389	28	13
		Los Andes	261	23	12
		San Antonio	494	29	13
Mediterránea	R. Metropolitana	Santiago	300	28	12
	VI O'Higgins	Rancagua (Rengo)	406	37	14
	VII Maule	Talca (San Luis)	647	49	14
		Curicó	717	47	15
		Linares	895	57	16
	VIII Bío Bío	Constitución	755	59	15
		Concepción	1162	74	15
		Chillán	1080	69	15
	IX Araucanía	Temuco	1217	127	10
	Templada Húmeda	X de los Lagos	Pto. Montt	1911	181
Valdivia			2307	154	13
Ancud			2965	250	10
Templada H. Oceánica	XI Gral. Carlos Ibañez	Castro	1886	203	11
		Pto. Cisnes	3939	245	19
		Coyhaique	1190	121	9
		Pto. Aisén	2803	212	14
Fría H. Oceánica	XII Magallanes	Chile Chico	355	43	8
		Pta. Arena	423	81	6
		Pto. Williams	575	104	5

## **ART. 21.3 OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL**

Estas obras tienen por objeto recoger las aguas provenientes de precipitaciones o derrames de cualquier naturaleza, que lleguen a la superficie del pavimento.

El proyectista, para estudiar la solución adecuada y obtener una rápida evacuación de las aguas, puede adoptar las siguientes medidas:

- a.) Disponer pendientes transversales adecuadas en calzadas y aceras.
- b.) Disponer una pendiente longitudinal que permita un escurrimiento fácil e impida posibles empozamientos.
- c.) Proveer sistemas adecuados de captación, almacenamiento, infiltración, canalización y de conducción de las aguas, tales como: sumideros, cámaras, lagunas y estanques de almacenamiento, zanjas de infiltración, canales con revestimiento, colectores, entre otros.

### **21.3.1. SUMIDEROS**

Se recomienda que estos elementos se consideren dentro del proyecto de aguas lluvias, dado que son los encargados de captar y conducir el escurrimiento superficial, preferentemente de las calles, hacia los elementos de la red secundaria.

En la determinación de la capacidad hidráulica de captación de los sumideros inciden una serie de factores, como son los siguientes:

- Tipo de sumidero.
- Ubicación.
- Pendiente de la calle.
- Características del flujo a captar y conducir.
- Sedimentos que lleve el agua.

Es por esto, que es necesario utilizar una serie de factores de corrección para tomar en cuenta estos efectos. Nótese que en caso de que no se disponga de mayores antecedentes, la experiencia indica que un valor global de 0,5 para estos factores es aceptable.

#### **21.3.1.1. Tipos de sumideros.**

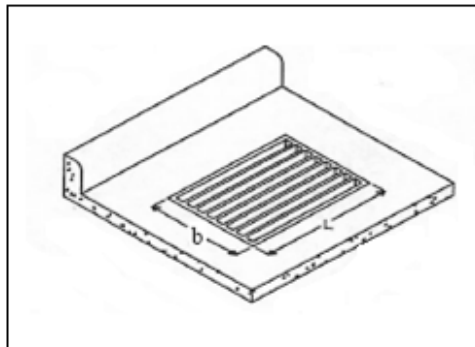
Los sumideros a emplear son los que se presentan en las Láminas Tipo N° 7.3 a 7.8 del Apéndice III. Se recomienda considerar para su selección los aspectos del tránsito, seguridad de peatones y vehículos, operación en condiciones extremas, conservación y costos. Los sumideros son en general de tres tipos:

##### **21.3.1.1.1. Sumideros horizontales.**

Con rejilla y ubicados en la cuneta, funcionan en forma efectiva dentro de un rango amplio de

pendientes de la calle. Su inconveniente es que las rejillas se obstruyen con facilidad y pueden generar inconvenientes para ciclistas y peatones. Corresponden a los Tipos S3 y S4, los cuales se presentan en las Láminas tipo N° 7.5 y 7.6 del Apéndice III. En la figura 21-2 se muestra la configuración que posee este tipo de sumidero:

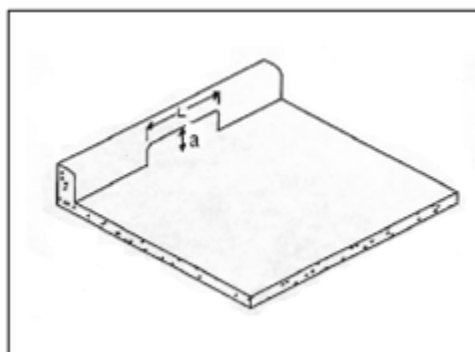
FIGURA 21-2: SUMIDERO HORIZONTAL



#### 21.3.1.1.2. Sumideros laterales de abertura en la solera.

Funcionan admitiendo objetos arrastrados por la corriente, pero su capacidad decrece con la pendiente, de manera que no se recomiendan para calles con pendientes longitudinales superiores al 3%. Pueden confeccionarse a partir del tipo S2, si se elimina la abertura horizontal en la cuneta. Cuando se utilice este tipo de sumidero se recomienda aumentar la pendiente transversal de la calzada en la zona de la cuneta. En la figura 21-3 se muestra la configuración para este tipo de sumidero:

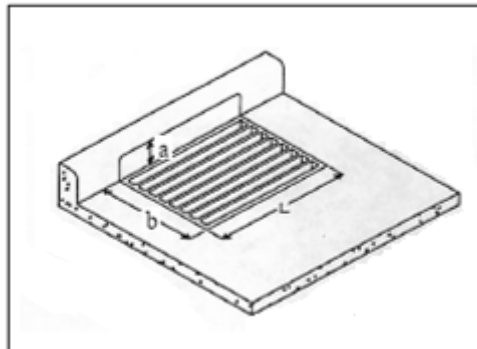
FIGURA 21-3: SUMIDERO LATERAL



#### 21.3.1.1.3. Sumideros mixtos.

Combinan aberturas horizontales en la cuneta y laterales en la solera. Se recomiendan para un amplio rango de condiciones. Corresponden a los Tipos S1 y S2, los cuales se presentan en las Láminas tipo N° 7.3 y 7.4 del Apéndice III. Su configuración se presenta en la figura 21-4:

FIGURA 21-4: SUMIDERO MIXTO



#### 21.3.1.2. Ubicación de los sumideros.

Los sumideros se ubican ya sea solos o formando baterías de sumideros en serie, preferentemente en la cuneta de las calles y en los lugares que resulten más efectivos, para lo cual se puede considerar las siguientes recomendaciones:

- a.) Inmediatamente aguas abajo de secciones en las que se espera recibir una cantidad importante de aguas lluvias, como salidas de estacionamientos, descargas de techos y conexiones de pasajes.
- b.) Siempre que la cantidad acumulada de agua en la cuneta sobrepase la cantidad máxima permitida para condiciones de diseño.
- c.) Se prohíbe la colocación de sumideros atravesados transversalmente en las calzadas.
- d.) Para conectar los sumideros a la red se prefiere hacerlo en las cámaras. En estos casos el tubo de conexión llega a la cámara con su fondo sobre la clave del colector que sale de la cámara.
- e.) Cuando sea necesario conectar un sumidero directamente al colector, la conexión se hace por la parte superior de este último. Se recomienda que el tubo de conexión sea recto, sin cambio de diámetro, pendiente ni orientación y que el ángulo de conexión entre el tubo y el colector sea tal que entregue con una componente hacia aguas abajo del flujo en el colector. Para este empalme pueden emplearse piezas especiales.
- f.) Los sumideros también se pueden conectar directamente a otros elementos de la red secundaria, como pozos, zanjas, estanques o lagunas.

En cuanto a las intersecciones de calles, se puede considerar los siguientes criterios:

- a.) En las intersecciones entre calles, para captar el 100% del flujo que llega de éstas, se ubican aguas arriba del cruce de peatones de manera de evitar que el flujo cruce las calles en las intersecciones.
- b.) En las partes bajas de las intersecciones de calles, formadas por las cunetas que llegan desde aguas arriba, se trata de evitar que existan zonas bajas en las que se pueda acumular el agua, favoreciendo el flujo hacia aguas abajo.

- c.) En las intersecciones se evita que el flujo de cualquiera de las cunetas cruce transversalmente la otra calle.
- d.) En ningún caso el flujo de la calle de menor importancia puede cruzar la calle principal.
- e.) Si es necesario que el flujo de la calle principal cruce la calle secundaria, se provee de un badén.
- f.) Evitar que se formen zonas bajas, facilitando el drenaje hacia aguas abajo.

Representaciones para distintas configuraciones de intersecciones se presentan a continuación en las Figuras 21-5, 21-6, 21-7 y 21-8:

#### FIGURA 21-5: SUMIDEROS EN CRUCE DE CALLES DE IGUAL IMPORTANCIA SIN SUPRESIÓN DE LOS CORONAMIENTOS

(LAS FLECHAS INDICAN EL SENTIDO DE FLUJO Y LA PENDIENTE PRINCIPAL DE LA CALZADA)

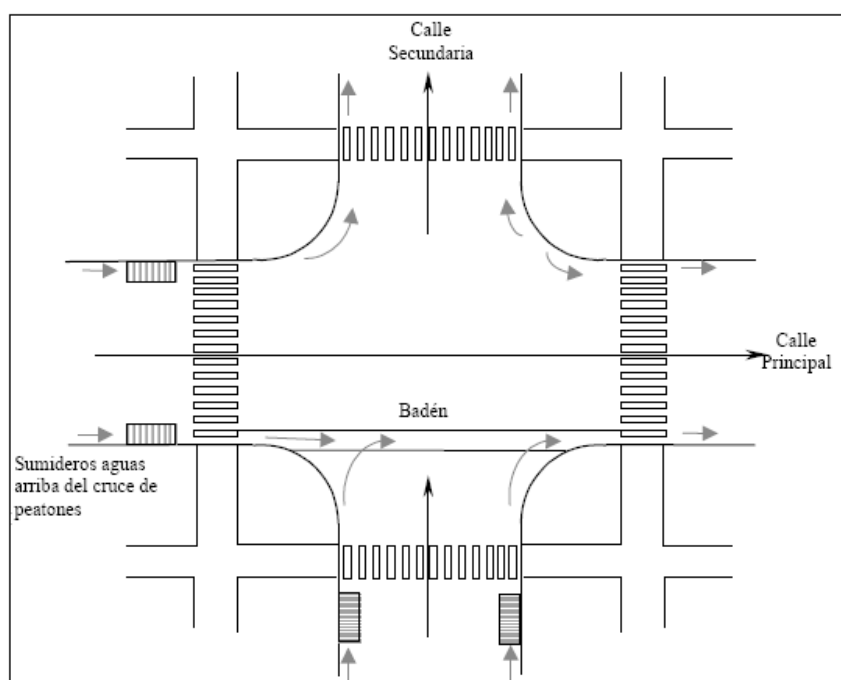




FIGURA 21-6: SUMIDEROS EN CRUCE DE CALLE DE DISTINTA IMPORTANCIA, EN EL CUAL SE SUPRIME EL CORONAMIENTO DE LA CALLE SECUNDARIA.

(LAS FLECHAS INDICAN EL SENTIDO DE FLUJO Y LA PENDIENTE PRINCIPAL DE LA CALZADA)

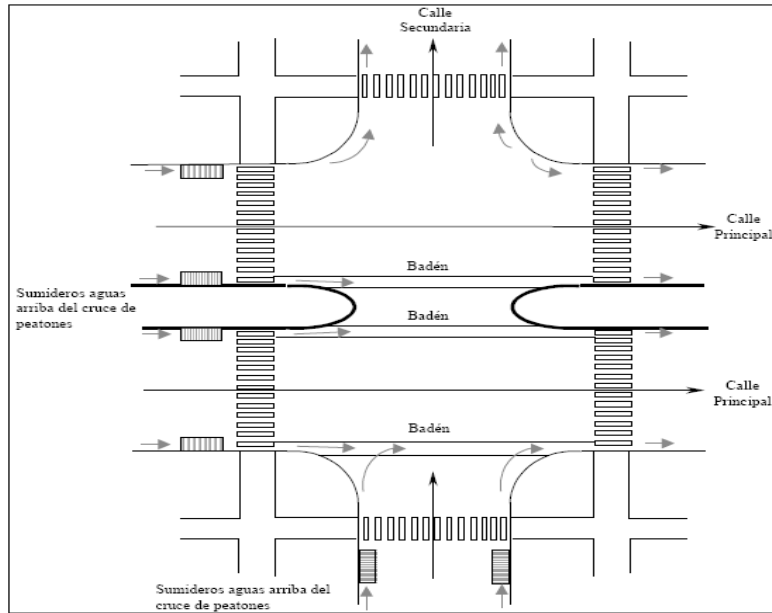


FIGURA 21-7: SUMIDEROS EN CRUCE DE CALLE CON BANDEJÓN CENTRAL PARA CALZADA CON CUNETAS A AMBOS LADOS.

(LAS FLECHAS INDICAN EL SENTIDO DE FLUJO Y LA PENDIENTE PRINCIPAL DE LA CALZADA)

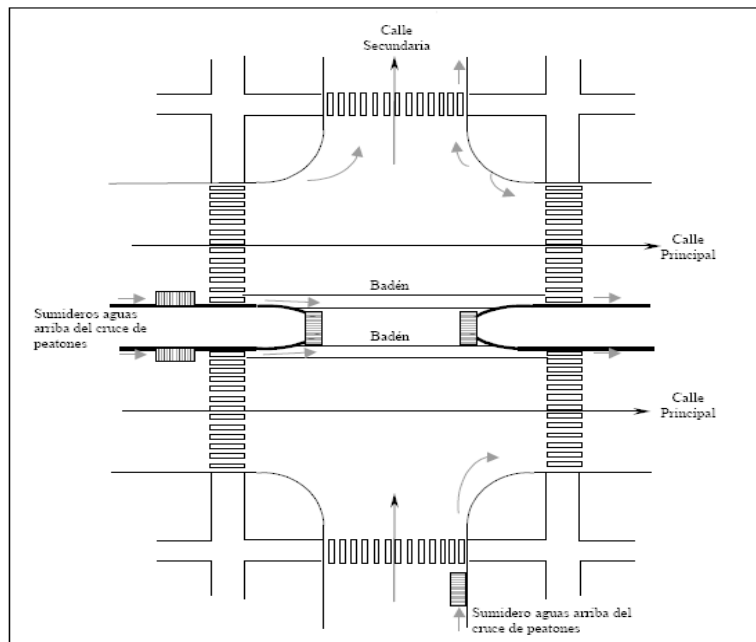
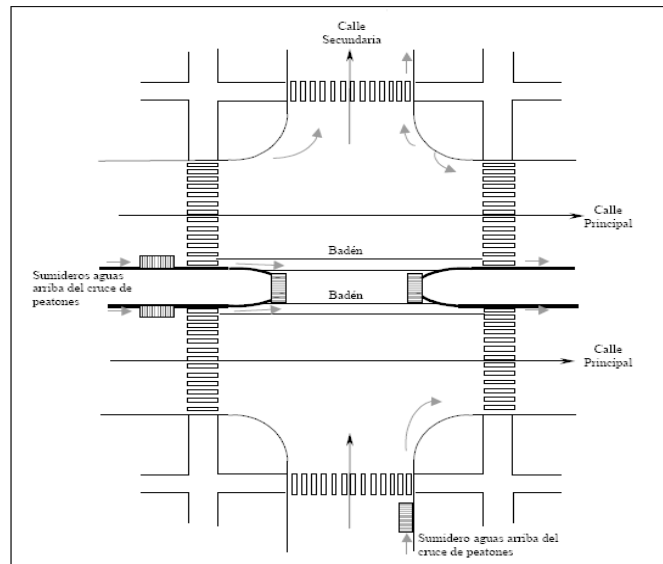


FIGURA 21-8: SUMIDEROS EN CRUCE DE CALLE CON BANDEJÓN CENTRAL PARA CALZADA CON CUNETAS A UN SÓLO LADO DE LA CALZADA EN EL BANDEJÓN CENTRAL

(LAS FLECHAS INDICAN EL SENTIDO DE FLUJO Y LA PENDIENTE PRINCIPAL DE LA CALZADA)



Las capacidades máximas y de diseño de los sumideros tipo, se presentan en los apartados 22.2.2.1 y 22.2.2.2 respectivamente.

### 21.3.2. CÁMARAS DE INSPECCIÓN

Consisten en un receptáculo de forma rectangular enterrado bajo el nivel del suelo, que permite tener acceso a los ductos y canalizaciones para su revisión y limpieza. El tramo de la canalización entre cámaras es ser recto. En las obras de drenaje estas cámaras están asociadas fundamentalmente a las obras de infiltración como zanjas y pozos, alimentadas por medio de tuberías.

Dependiendo de la ubicación de la obra, se presentan dos tipos de cámaras:

#### 21.3.2.1. Cámaras tipo A.

Para ser usadas en lugares públicos en los cuales existe la posibilidad de tránsito de vehículos sobre la cámara, como es el caso de las ubicadas en calzadas, estacionamientos, pasajes para vehículos, patios de carga y descarga e incluso veredas. Estas se construyen en hormigón armado y disponen para el acceso de una tapa circular tipo calzada.

#### 21.3.2.2. Cámaras tipo B.

Para ser empleadas en lugares sin tránsito de vehículos, como es el caso de áreas verdes, recintos privados, patios, jardines e interiores de instituciones de acceso controlado. Se pueden construir en albañilería de ladrillo y disponen para su acceso de una tapa tipo calzada.

Adicionalmente pueden usarse cámaras de inspección prefabricadas, del tipo empleadas en redes públicas de alcantarillado, dimensionadas de acuerdo a la Norma Chilena NCh. 1623 Of.2003, la que define dimensiones para cámaras Tipo A y Cámaras Tipo B, según la profundidad total.

#### 21.3.2.3. Ubicación.

En cuanto a su disposición, las cámaras se colocan de manera de asegurar que los tubos entre ellas sean rectos y uniformes. Para ello, es recomendable considerar una cámara, al menos en las siguientes situaciones:

- Al inicio de la red.
- Cuando corresponda cambio de diámetro en el colector.
- Cuando corresponda un cambio de pendiente del colector.
- Cuando se requiera un cambio de orientación o dirección del colector.
- Cuando corresponda cambio del material del tubo.
- Cuando se necesite intercalar una caída o cambio de nivel brusco del tubo.
- Cuando confluyan dos o más colectores.
- En tramos rectos, cada 120 metros como máximo.

Además, una misma cámara puede utilizarse para una o más de las funciones indicadas. Para el dimensionamiento de las cámaras ver el apartado 22.2.3.

#### **21.3.3. POZOS ABSORBENTES**

Un pozo absorbente consiste en la excavación de forma tronco-cónica situada a cierta profundidad bajo la rasante del pavimento. En su interior el pozo se rellena hasta cierta altura con piedras bolones de un diámetro no inferior a 0,20 m. La altura del pozo es tal, que permite alcanzar hasta una capa permeable del terreno. Por otra parte, se encuentra conectado con uno o más sumideros a través de un tubo, cuya pendiente mínima recomendable es del 2%.

El pozo absorbente permite, en esta forma, captar las aguas de la calle, que se filtran a través de la capa de piedras, bolones y luego, a través del estrato permeable del suelo.

En la Lámina Tipo N° 21.1 del Apéndice III se indican las características constructivas de estas obras.

#### **21.3.4. OBRAS DE INFILTRACIÓN**

Las obras de infiltración captan el flujo superficial y facilitan su infiltración en el suelo. Entre las obras de infiltración se encuentran los Estanques, Zanjas y Pozos de Infiltración.

##### 21.3.4.1. Estanques de Infiltración.

Estanques de poca profundidad, ubicados en suelos permeables, que aprovechan la existencia de depresiones naturales en áreas abiertas. Almacenan temporalmente el agua y la filtran en un tiempo

relativamente corto, ya que operan con alturas de agua pequeñas, del orden de pocos centímetros. Entre lluvias, estos son áreas verdes que permiten otros usos públicos. Las especificaciones de diseño se encuentran en la Sección 4.2.1 de la Guía de Diseño: “Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos”, del MINVU.

#### 21.3.4.2. Zanjas de Infiltración.

Obras de infiltración longitudinales con profundidades recomendables entre 1 y 3 metros. Reciben el escurrimiento, ya sea, desde la superficie o mediante tuberías perforadas que pueden entrar desde sus extremos. De esta última forma, pueden ser tapadas, permitiendo otro uso de la superficie como veredas o calzadas. Las especificaciones de diseño respectivas se encuentran en la Sección 4.2.2 de la Guía de Diseño: “Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos”, del MINVU.

#### 21.3.4.3. Pozos de Infiltración.

Excavación puntual de profundidad variable donde se infiltra el agua proveniente de la superficie. Pueden usarse en serie con obras de almacenamiento aguas arriba, como estanques. Además, se pueden utilizar en suelos en que los estratos superficiales no son permeables, pero el estrato infiltrante es de textura gruesa. También pueden proyectarse pozos de infiltración semiprofundos, hasta 20 m, o pozos profundos hasta 40 o 60 m. En todo caso, no es recomendable que este tipo de pozos descarguen directamente a la napa, para lo cual se deja entre el fondo del pozo y el nivel máximo del agua subterránea, una diferencia libre significativa. Las especificaciones de diseño se encuentran en la Sección 4.2.3 de la Guía de Diseño: “Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos”, del MINVU.

### 21.3.5. OBRAS DE ALMACENAMIENTO

Las obras de almacenamiento se usan para disminuir el caudal máximo hacia aguas abajo por medio de la retención temporal y el almacenamiento controlado en zonas especialmente dispuestas y diseñadas para esto. Éstas drenan hacia el sistema de drenaje de aguas abajo o hacia algún elemento de infiltración, como pozos o zanjas. Algunas obras de almacenamiento son Estanques y Lagunas de Retención.

#### 21.3.5.1. Lagunas de Retención.

Se usan en lugares en que la napa de agua subterránea está alta o en zonas donde es posible contar con agua para satisfacer un volumen mínimo permanente que posee la laguna durante todo el año. Las especificaciones de diseño se encuentran en la Sección 4.3.2 de la Guía de Diseño: “Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos”, del MINVU.

#### 21.3.5.2. Estanques de Retención.

Volumen de almacenamiento disponible que normalmente se encuentra vacío, permitiendo su uso para otras actividades y que durante las tormentas se llena y vacía en pocas horas. Las especificaciones de

diseño se encuentran en la Sección 4.3.1 de la Guía de Diseño: “Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos”, del MINVU.

También pueden utilizarse bloques prefabricados con espacio en la superficie que permita la infiltración y pavimentos permeables con detención subterránea, es decir, pavimentos con una alta porosidad y con capacidad de almacenar agua en la sub base bajo el pavimento.

### **21.3.6. OBRAS DE CANALIZACIÓN**

Las obras de canalización se clasifican en dos grupos, de acuerdo al régimen hidráulico imperante, que puede ser de “corriente abierta” o de “corriente cerrada”.

En el primer grupo se incluyen las siguientes obras: canales revestidos, canaletas, canoas, alcantarillas y acueductos. En el segundo grupo: sifones y tuberías a presión.

Además, puede hacerse una distinción entre las obras de canalización longitudinales (su trazado es paralelo al eje de la vía) y las obras de canalización transversales (el trazado es normal o aproximadamente normal al eje de la vía).

#### **21.3.6.1. Canales.**

El uso de canales abiertos naturales o artificiales, con un diseño similar a la situación natural en sistemas de drenaje urbano de aguas lluvias, presenta las siguientes características:

- **Ventajas:**

- Excelente relación costo-capacidad.

- Uso para recreación y esparcimiento.

- Aporte estético y al paisaje.

- Conservación de condiciones naturales.

- Proveen un cierto volumen de regulación para crecidas importantes.

- El almacenamiento en el canal tiende a disminuir los caudales máximos.

- **Desventajas:**

- Necesidad de espacio.

- Costos de conservación.

- Sólo se consideran para conducir aguas limpias.

En relación al uso de canales naturales, uno de los problemas reconocidos en hidrología urbana, está relacionado con la estabilidad debido al incremento de los flujos base, el aumento de los caudales máximos y la frecuencia de crecidas una vez que el lugar se urbaniza.

Existen casi infinitas posibilidades de elección para el tipo de canalización, considerando las alternativas de condiciones hidráulicas, diseño ambiental, impacto social y requerimientos del proyecto. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, se recomienda que las elecciones básicas que se adopten

inicialmente, consideren si es un canal revestido para altas velocidades, un canal con pasto, canal con vegetación natural o un cauce natural, existente previamente.

Los canales artificiales sin ningún tipo de revestimiento no se consideran como alternativa para situaciones urbanas.

De este modo, desde el punto de vista urbano, se consideran las alternativas que se describen a continuación:

#### 21.3.6.1.1. Canal natural.

Consiste en un cauce excavado por la naturaleza antes que ocurra el proceso de urbanización. Son razonablemente estables, pero a medida que se urbaniza la cuenca tributaria, se pueden presentar problemas de erosión y puede ser necesario algún grado de control de fondo y protección localizada de taludes. A continuación, en la figura 21-9 se presenta este tipo de canal:

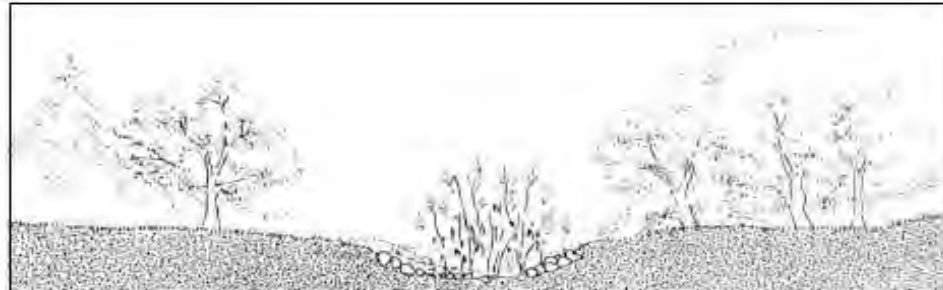
FIGURA 21-9: CANAL NATURAL



#### 21.3.6.1.2. Canales revestidos de pasto.

Son muy utilizados en zonas urbanas. Proporcionan capacidad de almacenamiento, menores velocidades del flujo que transportan y beneficios de usos múltiples. Se puede requerir revestimientos para minimizar la erosión y los inconvenientes de conservación. Dentro de este grupo de canales se encuentran los con vegetación en el fondo, los cuales son diseñados para mantener una vegetación húmeda más permanente o ciertos tipos de vegetación local de zonas húmedas en el fondo del canal. A continuación, en la figura 21-10 se presenta un canal con vegetación en el fondo:

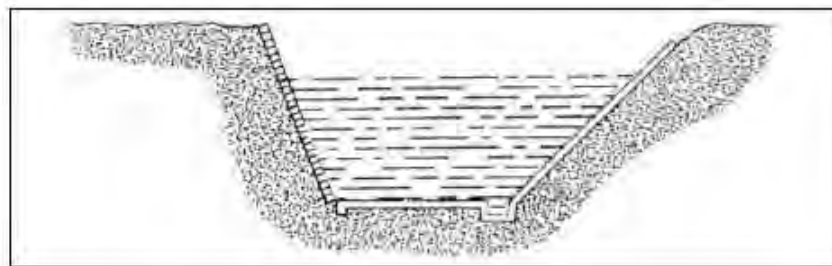
FIGURA 21-10: CANAL CON VEGETACIÓN EN EL FONDO



#### 21.3.6.1.3. Canales revestidos de hormigón o albañilería.

Si bien este tipo de canales son diseñados para soportar altas velocidades de flujo, no se recomiendan como parte de sistemas de drenaje urbano. Sólo en condiciones especiales o en tramos cortos en los cuales las velocidades pueden ser importantes y no se dispone de espacio para desarrollar otras soluciones alternativas, este tipo de canal puede ofrecer ventajas. A continuación, en la figura 21-11 se presenta este tipo de estructura:

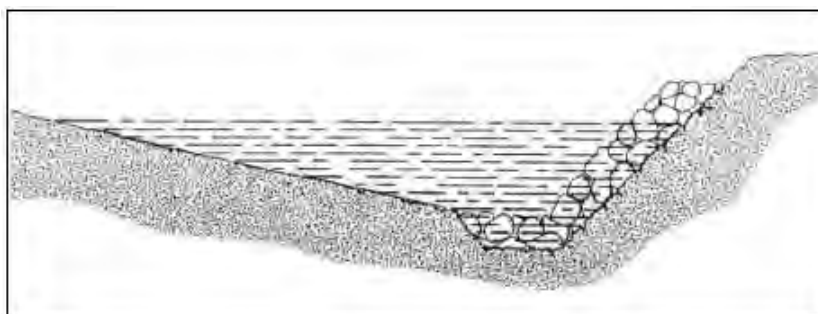
FIGURA 21-11: CANAL REVESTIDO



#### 21.3.6.1.4. Canales revestidos de enrocados.

Se recomiendan en situaciones donde las condiciones de crecida pueden generar velocidades importantes que requieren una protección de este tipo. Son una buena alternativa para soluciones localizadas en tramos pequeños de canales naturales o con vegetación o de pasto. A continuación, en la figura 21-12 se muestra un canal revestido de enrocado:

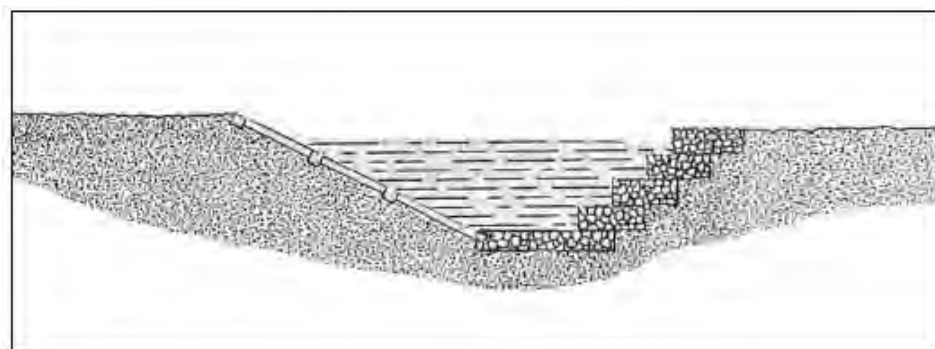
FIGURA 21-12: REVESTIMIENTO DE ENROCADO



#### 21.3.6.1.5. Otros canales revestidos.

Aquí se incluyen los gaviones, bloques de concreto anclados o amarrados, mantas de diferentes materiales, así como distintos tipos de revestimientos y tejidos sintéticos. Estos tipos de materiales se consideran razonables para resolver problemas locales de erosión y altas velocidades en situaciones con condiciones ya desarrolladas, pero no para nuevas urbanizaciones, ni para tramos largos de cauces de drenaje de aguas lluvias urbanas. A continuación, en la figura 21-13 se presenta un canal revestido con gaviones:

FIGURA 21-13: REVESTIMIENTO DE GAVIONES



El dimensionamiento de los canales se presenta en el apartado 22.1.1.2. Un caso particular de los canales, son las canaletas, las cuales presentan dimensiones mucho menores y a su vez transportan caudales más pequeños.

Estos elementos pueden ser de hormigón, construidos en sitio o prefabricados. Se usan secciones transversales rectangulares o trapeciales y las dimensiones de dichas secciones se fijan de acuerdo al volumen de las aguas transportadas.

Se recomienda que el espesor de las paredes de las canaletas sea el mínimo necesario, de acuerdo al tamaño del agregado grueso empleado, por lo general, basta un espesor de dos a tres centímetros si son prefabricadas y de siete centímetros si son construídas en sitio.

Se recomienda que en las juntas entre elementos prefabricados o bien en las que se dejen para controlar los esfuerzos de compresión y de expansión, si la canaleta se construye en sitio, se impida cualquier posible filtración, colocando en dichas juntas un relleno de material impermeable, similar al usado en las juntas de pavimentos. Dichas juntas tienen un ancho no mayor de 5 mm.

#### 21.3.6.2. Canoas.

Las canoas son estructuras para la conducción de aguas y se encuentran situadas a una determinada altura sobre el nivel del pavimento, por consiguiente, están apoyadas sobre pilares o machones ubicados a una determinada distancia entre sí. Se presenta, por ejemplo, la necesidad de construir una canoa, cuando un curso de agua cruza una vía urbana sobre un paso inferior construído en el cruce con otra vía urbana o con una vía férrea.



Una canoa puede ser de hormigón armado, de acero o de madera. Su sección transversal es la misma que la del curso de agua respectivo. Además, es de absoluta necesidad en estas obras, asegurar que las juntas entre los elementos que la forman sean impermeables, para lo cual se recomienda usar los materiales o dispositivos apropiados en cada caso.

#### 21.3.6.3. Acueductos y Alcantarillas.

Se considera como acueductos a aquellas canalizaciones construídas mediante elementos de sección transversal cerrada, prefabricadas o construídas en sitio, las que pueden tener variadas formas: circular, cuadrada, rectangular, ovoidal, en arco de medio punto, en arco rebajado, etc. Tratándose de una canalización en que circula una corriente abierta, el agua no cubre por completo la sección transversal y, en consecuencia, sobre su superficie se acepta que actúe la presión atmosférica.

Una alcantarilla es simplemente un acueducto de longitud reducida que, por lo común, se usa en el diseño de franjas de pasto, para cruzar una vía o bajo entradas de vehículos. Generalmente, estas obras soportan la acción de cargas exteriores, tales como las debidas a una determinada altura de tierras o las transmitidas por los vehículos.

#### 21.3.6.4. Sifones.

Un sifón es un conducto cerrado, una de cuyas partes está por encima del nivel del agua. Como resultado dicha parte está sometida a una presión inferior que la atmosférica y, por lo tanto, requiere que se haga el vacío para que funcione. El sifón utiliza la presión atmosférica para iniciar o incrementar el flujo del agua a través de él.

Otro caso en el que se utilizan sifones, es cuando se requiere pasar con un canal bajo otro elemento, como una calle. Es en este caso cuando se utilizan los llamados “sifones invertidos”, los cuales son conductos cerrados en los que, todas las partes están bajo el nivel del agua y por lo tanto están sometidas a presiones superiores a la atmosférica.

La construcción de un sifón en una vía urbana se presenta, como en el caso de una canoa, cuando es necesario salvar cierto desnivel, tal como sucede en un paso inferior; sólo que en lugar de mantener el nivel de la corriente a través del paso, se la hace descender hasta pasar por debajo del nivel de la calzada, para luego subir nuevamente hasta alcanzar el nivel primitivo. Es también el caso de una tubería que pase a cierta profundidad por debajo de la calzada.

#### 21.3.6.5. Tuberías a presión.

Están constituídas en igual forma que los sifones y trabajan también en la misma forma, diferenciándose en cuanto a que su longitud es muy superior, pudiendo recorrer cientos de metros.

### **21.3.7. RED DE AGUAS LLUVIAS**

La red secundaria de un sistema de aguas lluvias está formada por diversos elementos para la captación, retención, almacenamiento, conducción y entrega de las aguas generadas en la urbanización. Los elementos de conducción normalmente reciben el nombre de colectores y pueden ser superficiales o subterráneos.

Tradicionalmente se han empleado colectores subterráneos ya que permiten utilizar el suelo para otros fines, lo que facilita la urbanización de sectores de alta densidad o con pocas áreas verdes. Sin embargo, dado que los sistemas de aguas lluvias se utilizan sólo esporádicamente en días de lluvia, y las urbanizaciones tienen que disponer de sectores de áreas verdes, es posible utilizar colectores superficiales, con diseños especiales para sectores urbanos que pueden resultar significativamente más económicos y adecuados para la urbanización, si se diseñan correctamente.

#### 21.3.7.1. Colectores subterráneos.

En este caso el sistema de conducción de la red secundaria de un sistema de aguas lluvias está formado por tuberías y cámaras, que reciben el agua desde los sumideros y la conducen hacia un punto de entrega.

Los tubos de los colectores son generalmente circulares, prefabricados de materiales como mortero de cemento comprimido, fibrocemento, PVC y otros materiales autorizados.

Pueden considerarse otros tipos de sección y construídos en terreno de acuerdo a las condiciones de proyecto y los costos involucrados. El dimensionamiento de los colectores se presenta en el apartado 22.2.1.

#### 21.3.7.2. Colectores superficiales.

Se recomienda que el proyectista considere la conservación y/o mejoramiento de los cauces naturales que se encuentren al interior del área de desarrollo. En las nuevas urbanizaciones puede incorporar estos cauces a la urbanización con un diseño adecuado, considerando que en general, los cauces abiertos presentan mayores capacidades de conducción que los cerrados cuando son superadas las capacidades de diseño. Sin embargo, se aconseja tener cuidado con la utilización de canales de riego para el drenaje de aguas lluvias ya que ellos han sido diseñados con otros criterios y es muy difícil que se adapten para estos fines.

### ART. 21.4 OBRAS DE SUBDRENAJE

Las actividades de construcción y conservación de pavimentos a menudo requieren de varios tipos de obras de subdrenaje. La remoción del agua incrementa la resistencia y rigidez de los pavimentos, extendiendo de esta manera su vida útil. Por lo tanto, es indispensable contar con un adecuado sistema de drenaje, el cual se puede diseñar y construir para un correcto desempeño a largo plazo, con conservaciones periódicas para verificar que funcione adecuadamente.

Las aguas subterráneas pueden escurrir libremente por gravedad, o bien ser del tipo humedad capilar. En el primer caso es fácil interceptarlas, disponiendo de elementos de drenaje adecuados; en el segundo caso, en cambio, es recomendable que el material que constituye la base o sub base del pavimento, cumpla ciertas condiciones que impidan el movimiento capilar.

De esta manera, se han definido dos criterios principales para el diseño de las obras de subdrenaje en pavimentos:

- Tiempo de drenaje de la base o sub base.
- Entrada y salida del flujo. Se desea conseguir que el drenaje de las aguas ocurra a una razón mayor o igual que el flujo de entrada, evitando de esta manera, la saturación del sistema.

La remoción del agua libre puede ser acompañada por el drenaje del agua que se infiltra verticalmente a la subrasante a través del pavimento o lateralmente a través de capas drenantes, junto con un sistema de colectores. Generalmente, el proceso actual incluye una combinación de ambos.

A continuación, se presentan las tradicionales y nuevas técnicas constructivas utilizadas en el país. Dentro de las primeras, se encuentran los drenes de piedras y drenes de tubos, como nueva técnica se presentan los drenes laterales.

#### **21.4.1. DRENES DE PIEDRA**

Se utilizan para pequeños caudales de aguas subterráneas, de tipo permanente o temporal. Su efecto es producir una depresión de la napa freática o bien impedir que el agua penetre a la subrasante.

Los drenes de piedra consisten, por lo general, en fosas rectangulares de 25 cm de ancho y 50 cm de profundidad, que se construyen sobre un estrato impermeable y que se rellenan con piedras de diferente tamaño, que decrece gradualmente hacia la superficie. Se prefiere el material de forma alargada, permitiendo una mayor superficie de escurrimiento en la parte inferior, mientras que en la superior, la capa de material granular fino cumple la función de filtro.

Estas obras no están sujetas a cálculo hidráulico y su efectividad se estima sólo en base a los resultados observados en obras existentes donde se aprecien condiciones similares.

#### **21.4.2. DRENES DE TUBOS**

Se emplean habitualmente para evacuar aguas subterráneas de pequeño y mediano caudal, tanto en terrenos impermeables como permeables.

Los drenes de tubos consisten en tuberías perforadas de arcilla, cemento asbesto o metal, colocadas sobre una base de material impermeable, dentro de fosas rectangulares rellenas de material pétreo filtrante.

Cuando el suelo en el entorno de los drenes es permeable, éstos llevan sus perforaciones en la parte superior; en caso contrario, la tubería se sitúa por debajo del nivel del manto acuífero, y las perforaciones se sitúan en la parte lateral inferior.

Las dimensiones de la fosa dependen principalmente del diámetro de la tubería y del nivel del manto acuífero, siendo usuales los anchos comprendidos entre  $D + 30$  y  $D + 120$ , en centímetros, siendo  $D$  el diámetro interior nominal de la tubería. En cuanto a la profundidad, por lo general, equivale al doble del ancho.

El cálculo hidráulico de la tubería se efectúa mediante los métodos usuales para el cálculo de conductos cerrados de tipo circular, mencionados en la Sección 22 para el dimensionamiento de colectores de aguas lluvias.

### 21.4.3. DRENES LATERALES

La construcción de sistemas de drenaje lateral, hoy en día, es la clave para proveer un buen drenaje de las aguas en los pavimentos. En cuanto al proceso constructivo de estos dispositivos, se distinguen las siguientes etapas:

#### 21.4.3.1. Excavación y emplazamiento de la tubería.

Se recomienda que la zanja dentro de la cual se sitúa la tubería, tenga la profundidad mínima necesaria para garantizar que la clave de la tubería de drenaje se encuentre al menos a 5 cm. bajo la parte inferior de la base permeable. Además, es recomendable situar un material de apoyo bajo la tubería de un espesor mínimo de 5 cm.

La zanja se excava a una profundidad constante, de manera que tenga la misma pendiente del terreno. Para lograr este objetivo, el fondo de la zanja está formado o acanalado hasta el tercio inferior de la tubería. El material de apoyo ayuda a sostener el tubo en su lugar durante la instalación.

#### 21.4.3.2. Colocación de Geotextil.

La zanja donde se ubica el dren lateral se protege con un geotextil para prevenir la migración de finos desde el suelo. Sin embargo, la parte superior de la zanja adyacente a la base permeable se deja abierta para permitir el paso directo del agua al tubo de drenaje.

#### 21.4.3.3. Colocación de Tubos de Drenaje y relleno de apoyo.

En el caso de utilizar una capa de descanso sobre la cual se coloca la tubería, primero se hace el acanalamiento de la zanja antes de depositar el material de relleno.

El material de relleno se coloca utilizando tolvas u otro medio con el fin de evitar amortiguar el material, al ser vertido desde la parte superior de la zanja. Para prevenir el desplazamiento de los tubos de drenaje durante la compactación, el material de relleno no se compacta hasta que la zanja se rellene por sobre la clave de la tubería. Además, para evitar el daño de los tubos durante la compactación, se recomienda dejar un mínimo de 15 cm de material de relleno sobre la clave de la tubería antes de la compactación.

Alcanzar la consolidación adecuada en una zanja estrecha puede ser difícil. La consolidación inadecuada puede producir asentamientos, los que a su vez, pueden producir deterioros en las bermas. Se recomienda compactar a una densidad mínima del 95 por ciento del Proctor Estándar (NCh. 1534/I Of. 1979). Una compactación satisfactoria se puede alcanzar compactando en dos pasadas con un rodillo vibratorio de alta energía.



## SECCIÓN 22. DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS EN SECTORES URBANOS. DISEÑO HIDRÁULICO

### ART. 22.1 ESCURRIMIENTOS ABIERTOS

#### 22.1.1. DIMENSIONAMIENTO DE CANALES U OTROS TIPOS DE CONDUCCIÓN SUPERFICIAL

El dimensionamiento requiere disponer de antecedentes hidrológicos, de terreno y del proyecto de urbanización o del entorno ya urbanizado, de manera de estimar las dimensiones principales de la obra de acuerdo a los criterios propuestos.

Como antecedentes hidrológicos, es necesario conocer las precipitaciones para estimar los caudales afluentes de crecidas de 2, 5, 10 y 100 años de período de retorno, tanto en condiciones naturales como con la zona totalmente desarrollada. Para conocer los valores de la precipitación promedio anual en las principales ciudades del territorio nacional, véase la Tabla 21-I.

Además, es necesario conocer las condiciones climáticas del lugar para establecer las necesidades de riego de las superficies revestidas con pasto. Se recomienda estimar los caudales base aportados por otras fuentes y los gastos mínimos que pueden escurrir fuera de las temporadas de lluvias.

En relación al terreno, se recomienda disponer de información topográfica detallada para trazar el canal, determinar las pendientes necesarias por tramo, establecer las servidumbres y conocer los espacios disponibles para la sección completa del canal. Además, es necesario conocer las características de los suelos para estimar costos de excavación, necesidades de relleno y de plantaciones.

En base a los antecedentes disponibles y con los criterios establecidos, se determina el trazado en planta del canal, las pendientes de fondo por tramo, las velocidades medias del escurrimiento y las características de la sección transversal. En este sentido se consideran coeficientes de rugosidad equivalentes a canales nuevos y limpios para estimar las velocidades con fines de establecer límites de erosión.

Para calcular la sección completa y la revancha, así como las servidumbres, se consideran rugosidades equivalentes a situaciones con vegetación totalmente desarrollada.

Una vez establecidas las condiciones de escurrimiento normal, es necesario determinar las obras especiales que se requieran para acomodar la pendiente a las condiciones del terreno: caídas, angostamientos, ensanches, cruces, alcantarillas, puentes, entre otros.

Como se puede apreciar, se estima el valor del caudal a escurrir por la obra que se pretende emplazar, para luego proceder a su correspondiente diseño y dimensionamiento.

##### 22.1.1.1. Determinación del caudal.

El caudal de un escurrimiento abierto puede medirse mediante aforos y ponderarse de acuerdo a parámetros estadísticos, que tengan una mayor confiabilidad, cuanto más completo sea el registro de los datos obtenidos a lo largo del tiempo. Sin embargo, las mediciones directas de caudal son escasas y es conveniente utilizar métodos alternativos para su estimación.

22.1.1.1.1. Métodos para estimar un caudal de diseño.

Existen varios procedimientos alternativos para definir un caudal de diseño para una obra de drenaje urbano, los cuales son más o menos pertinentes en distintas situaciones, dependiendo de la información hidrológica disponible y de las características de la cuenca. Todos ellos tienen un cierto grado de subjetividad y suponen distintas hipótesis.

El objetivo del cálculo de la crecida de diseño es dimensionar las obras de drenaje, de manera que operen adecuadamente en la mayoría de las situaciones que se enfrente, y fallen sólo con una baja probabilidad cuando se sobrepase el valor de la crecida de diseño. Entonces, para seleccionar una crecida de diseño es necesario asociar una probabilidad de ocurrencia a las distintas magnitudes de la crecida.

Dicha probabilidad de ocurrencia se encuentra directamente relacionada con el Período de Retorno “T” que se le asigne a la obra en cuestión. Este valor lo fija el proyectista, atendiendo a la importancia de la vía y de la obra de drenaje correspondiente. La Tabla 22-1, puede servir como referencia respecto a los diferentes rangos en que se ubican los períodos de retorno comúnmente aceptados:

TABLA 22-1: PERÍODOS DE RETORNO

TIPO DE ESTRUCTURA	PERÍODO DE RETORNO [años]
Puentes	25-50
Alcantarillas grandes	10-25
Alcantarillas medianas	5-10
Alcantarillas pequeñas	2-5

Para dimensionar los elementos de las obras de drenaje de una urbanización, se supone que sobre la cuenca se recibe una tormenta de diseño, de manera que para las tormentas iguales o menores a ella las obras funcionan adecuadamente. Para tormentas mayores se acepta que los elementos vean sobrepasadas sus capacidades de diseño, pero se verifica que no provoquen problemas graves.

Las obras de conducción, se dimensionan para conducir un gasto  $Q$ , la tormenta de diseño se selecciona a partir de las curvas IDF del lugar, con el período de retorno de diseño y una duración igual 1 hora si el área de la cuenca es menor a 50 ha. y el tiempo de concentración de la cuenca es menor a 1 hora. Si tanto el área de la cuenca o su tiempo de concentración son mayores a los valores mencionados previamente, se recomienda usar tormentas de diseño de 24 horas de duración.

Para obras de almacenamiento, o cuando no se tiene seguridad sobre la estimación del tiempo de concentración, es conveniente seleccionar como tormenta de diseño una de 24 horas de duración con intensidades obtenidas de la curva IDF para el período de retorno de diseño.

Como anteriormente se menciona, los aforos directos de caudal son poco frecuentes y es usual estimar las crecidas de diseño en base a la relación que existe entre la precipitación y el escurrimiento.

### 22.1.1.1.2. Modelos Precipitación-Escorrentía.

Los métodos indirectos para el estudio de crecidas, son procedimientos que permiten transformar la precipitación efectiva en escorrentía. De esta manera, es posible aprovechar la mayor cantidad de información de precipitación existente, para extender así, registros escasos de caudal y mejorar de esta manera los métodos para estimar crecidas en aquellos puntos que no cuentan con información, o bien, ésta es escasa.

Dentro del ámbito de los modelos precipitación-escorrentía existe gran variabilidad entre los procedimientos disponibles, donde a medida que la complejidad aumenta, se incrementan también las necesidades de información básica para aplicarlo.

A continuación, se presentan los dos métodos más utilizados en el diseño de los sistemas de drenaje urbano: el método racional y el método basado en el concepto del hidrograma unitario.

#### a.) Método Racional.

Este método es ampliamente utilizado para estimar el caudal de diseño en cuencas urbanas y rurales pequeñas (preferentemente impermeables), debido a su evidente lógica y simplicidad.

El método en cuestión se recomienda para cuencas con áreas aportantes menores de 1.000 has., pero se reportan casos de aplicación a cuencas del orden de 30.000 has. Este método establece que el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y a tamaño de la cuenca aportante.

La principal ventaja de este método es su simplicidad, lo que se traduce en que el resultado es fácilmente controlado en función de variables observables, de tal forma que ha sido muy utilizado como método de comparación. Independientemente del empleo de otros procedimientos más sofisticados, se recomienda siempre comparar los resultados con los que entrega el método racional.

El caudal máximo asociado a un determinado período de retorno se calcula con la siguiente expresión:

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,6}$$

donde:

Q: caudal máximo de crecida en [m<sup>3</sup>/s].

C: coeficiente de escorrentía de la cuenca.

i : intensidad de la lluvia de diseño, en [mm/h].

A : Superficie de la cuenca aportante en [km<sup>2</sup>].

A pesar de la aparente facilidad y simplicidad del método, la determinación adecuada del coeficiente de escurrimiento y de la intensidad de la lluvia de diseño, implica un cuidadoso y juicioso análisis en cada caso.

El coeficiente de escorrentía C representa la fracción del volumen total de agua caída que escurre sobre la superficie del suelo, sin infiltrarse ni evaporarse. Su valor depende de las características del terreno, uso y manejo del suelo, condiciones de infiltración y otros factores difíciles de cuantificar.



Para elegir el valor más apropiado se recurre a tablas y a la experiencia y criterio del proyectista.

Nótese que en situaciones complejas se puede determinar un coeficiente de escorrentía ponderado en proporción a las áreas que ocupan cada tipo de superficie. A continuación, en la Tabla 22-2 se presentan los rangos usados para el valor de C:

TABLA 22-2: COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Tipo de Superficie	Coeficiente
Áreas comerciales:	
céntricas	0.70-0.95
suburbios	0.50-0.70
Áreas residenciales:	
casas aisladas	0.30-0.50
condominios aislados	0.40-0.60
condominios pareados	0.60-0.75
suburbios	0.25-0.40
departamentos	0.50-0.70
Áreas industriales:	
grandes industrias	0.50-0.80
pequeñas	0.60-0.90
parques y jardines	0.10-0.25
Calles:	
asfalto	0.70-0.95
concreto	0.80-0.95
adoquín	0.50-0.70
ladrillo	0.70-0.85
pasajes y paseos peatonales	0.75-0.85
techos	0.75-0.95
Prados: suelo arenoso	
plano (2%)	0.05-0.10
pendiente media(2%-7%)	0.10-0.15
pendiente fuerte(>7%)	0.15-0.20
Prados: suelos arcillosos	
plano (2%)	0.13-0.17
pendiente media(2%-7%)	0.18-0.22
pendiente fuerte(>7%)	0.25-0.35

Se recomienda utilizar los valores medios de cada categoría, a menos que se justifique el empleo de los valores mínimos. Si se desea considerar condiciones de seguridad se pueden emplear los valores máximos indicados.

Los rangos de valores indicados en las tablas son para tormentas típicas con períodos de retorno de 2 a 10 años. Para tormentas mayores se recomienda usar el valor más alto dentro de cada rango o incluso valores mayores si se estima conveniente.

Al aplicar este método es preciso tener presente sus hipótesis y limitaciones:

- El método supone que el coeficiente de escurrimiento es constante para las distintas condiciones de humedad de la cuenca y para distintas tormentas, lo cual es más valioso para tormentas intensas donde una gran parte de la superficie tiende a saturarse y a comportarse como área impermeable.
- Se iguala el período de retorno de la tormenta al de la crecida, lo cual significa que el coeficiente de esorrentía es constante.
- Se acepta que la situación de lluvia más crítica es aquella con duración igual al tiempo de concentración.
- De esta manera, para conocer el valor del caudal máximo que escurre, se requiere conocer la intensidad de la precipitación para una duración igual al tiempo de concentración del área aportante.

*-Tiempo de concentración.*

El tiempo de concentración de una cuenca es el que transcurre desde el inicio de una tormenta de intensidad uniforme para que toda la superficie de la cuenca aporte al escurrimiento en la salida. La importancia de dicho valor radica en que, si se seleccionan tormentas de duraciones mayores al tiempo de concentración se asegura que la superficie aportante es la máxima.

A continuación, en la Tabla 22-3 se presentan las expresiones recomendadas para la obtención del tiempo de concentración, de las cuales se selecciona la más adecuada de acuerdo al criterio del proyectista:

TABLA 22-3: EXPRESIONES PROPUESTAS PARA OBTENER EL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Autor	Fórmula	Observaciones
Kirpich(1940)	$T = 0,0195 \cdot \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$	Desarrollada con datos SCS para áreas rurales Tennessee( 1)
California Culverts Practice (1942)	$T = 60 \cdot \left( 0,87 \cdot \frac{L_1^3}{H} \right)^{0,385}$	Adaptación de la fórmula de Kirpich para cuencas de montaña (1)
Izzard (1946)	$T = 525,28 \cdot \frac{(0,0000276i + c) \cdot L^{0,39}}{i^{0,667} \cdot S^{0,333}}$	Desarrollada en experimentos de laboratorio (2)
Federal Aviation Agency (1970)	$T = 3,26 \cdot (1,1 - C) \cdot \frac{L^{0,5}}{S_1^{0,333}}$	Desarrollada para aeropuertos (3)
Morgall y Linsley (1965)	$T = 7 \cdot \frac{L^{0,6} n^{0,6}}{L^{0,4} S^{0,3}}$	Fórmula de flujo superficial (2)
SCS(1975)	$T = 258,7 \cdot \frac{L^{0,8} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}}{1900 \cdot S_1^{0,5}}$	Desarrollada por el SCS para cuencas rurales (1)

(1) Aplicable a cuencas urbanas con abundantes espacios libres o poco desarrollados, como parque, parcelas y similares.

(2) Aplicable a sectores urbanos típicos como calles, patios, pasaje, etc.

(3) Aplicable a sectores planos desarrollados con poca vegetación, como estacionamientos grandes y sectores de grandes industrias.

La notación utilizada es la siguiente:

T: tiempo de concentración [min].

L: longitud de escurrimiento superficial [m].

L<sub>1</sub>: longitud cauce [km].

S: pendiente [m/m].

H: diferencia de altura en cuenca [m].

i : intensidad de lluvia [mm/hr].

c : coeficiente de retardo.

S<sub>1</sub>: pendiente [%].

C: coeficiente de escorrentía.

n: Coeficiente de rugosidad de Manning.

CN: curva número, según S.C.S.

En la Tabla 22-4 se presentan los valores a utilizar para el coeficiente de rugosidad de Manning para cuencas urbanas:

TABLA 22-4: COEFICIENTES DE RUGOSIDAD DE MANNING PARA CUENCAS URBANAS.

Tipo de superficie	Coficiente n
Tubos de plástico	0,011
Tubos de cemento asbesto	0,012
Tubos de mortero comprimido	0,013
Calles de hormigón y asfalto	0,015
Techos	0,018
Jardines	0,025
Superficies de tierra	0,030
Superficies con vegetación	0,050

Nótese que las expresiones propuestas se han determinado para ciertas condiciones específicas, por lo que, su aplicación en circunstancias distintas a las presentes cuando éstas fueron generadas, puede llevar a resultados erróneos.

Para la aplicación de la Fórmula Racional sólo resta conocer el valor de la intensidad de diseño de la tormenta. Ésta se determina a partir de las Curvas IDF, las cuales se detallan a continuación.

*- Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.*

El diseño hidráulico de las obras de drenaje urbano, requiere el uso de las llamadas curvas intensidad-duración-frecuencia de lluvias (IDF). Estas relaciones presentan la variación de la intensidad de la lluvia de distintas duraciones, asociadas a diferentes probabilidades de ocurrencia (Períodos de Retorno) y son útiles para estimar indirectamente el escurrimiento proveniente de cuencas pequeñas, esencialmente impermeables, en función de la lluvia caída.

Estas curvas tienen usualmente una forma de tipo exponencial, donde la intensidad, para una misma frecuencia, disminuye a medida que aumenta la duración de la precipitación. Es corriente incorporar en el mismo gráfico las curvas asociadas a diferentes períodos de retorno, en forma paramétrica, para obtener la familia de curvas de un lugar, en un mismo gráfico.

*- Obtención de las curvas IDF.*

La obtención de las curvas IDF requiere de registros pluviográficos continuos, los cuales son escasos y pocos extensos. Lo corriente es contar con bastantes registros pluviométricos, los cuales sólo entregan observaciones de lluvias diarias. Por ello, ha existido la preocupación de estudiar la relación existente entre la lluvia caída y su duración, como una forma de obtener una estimación para las lluvias de duración menor a 24 horas en función de las lluvias diarias. De esta manera, lo primero será estimar una lluvia diaria representativa del lugar en estudio, para un determinado período de retorno, generalmente 10 años.

- Estimación de la lluvia diaria representativa para  $T = 10$  años.
  - A través de registros pluviográficos.

Si se cuenta con una estación pluviométrica representativa, como ocurre en la mayoría del territorio nacional, se procede a recopilar la información de lluvias máximas diarias registradas y se forma una serie anual, seleccionando del registro, el día más lluvioso de cada año. Esta muestra se somete a un estudio de frecuencia, a la cual se le ajusta un modelo probabilístico o bien, una frecuencia empírica, obteniendo así la lluvia máxima diaria, asociada a un período de retorno de 10 años en el lugar de interés.

Los valores de las Precipitaciones Máximas con  $T = 10$  años, para distintas zonas del país se pueden obtener a partir de la Tabla 3.1.2.2 de la Guía de Diseño de Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos del MINVU, o bien directamente de la Dirección General de Aguas (D.G.A.).

- Utilizando Mapas de Lluvias máximas diarias para  $T = 10$  años, publicados por la D.G.A.

Si no se cuenta con registros observados, se puede obtener una estimación recurriendo a los mapas de lluvias máximas diarias con 10 años de período de retorno, publicados por la D.G.A., los cuales se confeccionaron en base al análisis de alrededor de 600 estaciones de registro dentro del territorio nacional.

- Estimación de la lluvia asociada a otras duraciones y períodos de retorno.

Una vez que se conoce el valor para la lluvia diaria con  $T = 10$  años, es posible estimar los valores asociados a otras duraciones y frecuencias, haciendo uso de coeficientes de duración y de frecuencia.

Los primeros se definen como la razón entre la lluvia de una duración dada y la lluvia diaria de la misma frecuencia. Análogamente, los coeficientes de frecuencia se definen como la razón entre la lluvia de una determinada frecuencia y la lluvia de 10 años de período de retorno de la misma duración.

- Estimación de lluvias para duraciones entre 1 y 24 horas.

A partir de una serie de mediciones realizadas por Varas y Sánchez (1984) entre La Serena y Puerto Montt, con una muestra de 1300 tormentas durante 252 años de registro, se generaron una serie de curvas IDF adimensionales, con las cuales se pueden estimar las lluvias o intensidades de lluvia asociadas a otras duraciones y a otros períodos de retorno.

De esta manera, es necesario conocer los valores de los Coeficientes de Duración (C.D.) para duraciones entre 1 y 24 horas, los cuales se presentan a continuación:

TABLA 22-5: COEFICIENTES DE DURACIÓN PARA LLUVIAS DE IGUAL PERÍODO DE RETORNO

Ciudad	Duración [horas]									
	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Arica	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,0
Iquique	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,0
Antofagasta	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,0
Calama	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,0
San Pedro de Atacama	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,0
Copiapó	0,15	0,26	0,44	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
Vallenar	0,15	0,26	0,44	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
La Serena	0,15	0,26	0,44	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
Ovalle	0,15	0,26	0,44	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
Illapel	0,15	0,26	0,44	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
Valparaíso	0,14	0,23	0,33	0,46	0,55	0,64	0,70	0,78	0,90	1,0
Los Andes	0,16	0,26	0,42	0,55	0,64	0,71	0,77	0,84	0,94	1,0
San Antonio	0,14	0,23	0,33	0,42	0,55	0,64	0,70	0,78	0,90	1,0
Santiago	0,16	0,26	0,42	0,55	0,64	0,71	0,77	0,84	0,94	1,0
Rancagua	0,12	0,21	0,34	0,42	0,51	0,58	0,65	0,73	0,83	1,0
Talca	0,12	0,19	0,29	0,40	0,52	0,59	0,68	0,72	0,82	1,0
Curicó	0,12	0,19	0,29	0,40	0,52	0,59	0,68	0,72	0,82	1,0
Linares	0,12	0,19	0,29	0,40	0,52	0,59	0,68	0,72	0,82	1,0
Constitución	0,19	0,30	0,38	0,47	0,56	0,64	0,70	0,77	0,89	1,0
Concepción	0,19	0,30	0,38	0,47	0,56	0,64	0,70	0,77	0,89	1,0
Chillán	0,17	0,24	0,36	0,44	0,52	0,60	0,67	0,72	0,89	1,0
Temuco	0,19	0,31	0,47	0,58	0,65	0,71	0,79	0,82	0,91	1,0
Pto. Montt	0,16	0,23	0,34	0,46	0,54	0,61	0,67	0,73	0,91	1,0
Valdivia	0,16	0,23	0,34	0,46	0,54	0,61	0,67	0,73	0,91	1,0
Ancud **	0,19	0,31	0,47	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
Castro **	0,19	0,31	0,47	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
Pto. Cisnes **	0,19	0,31	0,47	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
Coyhaique **	0,19	0,31	0,47	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
Pto. Aisén **	0,19	0,31	0,47	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
Chile Chico **	0,19	0,31	0,47	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
Pta. Arenas **	0,19	0,31	0,47	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0
Pto. Williams **	0,19	0,31	0,47	0,59	0,66	0,78	0,82	0,86	0,91	1,0

\* No se dispone de información que permita proponer un valor de diseño. Lo más probable es que las lluvias de 6 o más horas sean iguales a las de 24 horas. Se recomienda para cada caso hacer un análisis específico.

\*\* Se han considerado los máximos estimados para la zona centro-sur.

En cuanto a los Coeficientes de Frecuencia (C.F), estos valores son bastante independientes de la duración, por lo que se propuso utilizar un sólo CF, cualquiera sea la duración de las lluvias estudiadas. La Tabla 22-6 presenta los valores recomendados para el territorio nacional para distintos periodos de retorno:

TABLA 22-6: COEFICIENTES DE FRECUENCIA PARA LLUVIAS DE IGUAL DURACIÓN.

Ciudad (1)	Periodo de Retorno [Años]						
	2	5	10	20	50	100	200
Arica	0,55	0,82	1,00	1,17	1,14	1,56	1,81
Iquique	0,53	0,83	1,00	1,14	1,31	1,42	1,53
Antofagasta	0,53	0,83	1,00	1,18	1,42	1,60	1,78
Calama	0,58	0,85	1,00	1,12	1,22	1,36	1,50
San Pedro de Atacama	0,36	0,73	1,00	1,26	1,61	1,88	2,15
Copiapó	0,27	0,69	1,00	1,30	1,71	2,01	2,31
Vallenar	0,38	0,75	1,00	1,24	1,55	1,78	2,01
La Serena	0,49	0,80	1,00	1,19	1,44	1,62	1,80
Ovalle	0,42	0,75	1,00	1,28	1,69	2,03	2,37
Illapel	0,53	0,80	1,00	1,20	1,47	1,69	1,91
Valparaíso	0,58	0,83	1,00	1,17	1,39	1,56	1,73
Los Andes	0,56	0,82	1,00	1,18	1,43	1,61	1,79
San Antonio	0,58	0,83	1,00	1,17	1,39	1,56	1,73
Santiago	0,55	0,82	1,00	1,18	1,43	1,63	1,83
Rancagua (Rengo)	0,64	0,86	1,00	1,13	1,31	1,43	1,55
Talca (San Luis)	0,62	0,85	1,00	1,14	1,33	1,48	1,63
Curicó	0,62	0,85	1,00	1,14	1,33	1,48	1,63
Linares	0,62	0,85	1,00	1,14	1,33	1,48	1,63
Constitución	0,62	0,85	1,00	1,14	1,33	1,48	1,63
Concepción	0,63	0,85	1,00	1,14	1,32	1,46	1,60
Chillán	0,69	0,88	1,00	1,11	1,25	1,35	1,45
Temuco	0,67	0,87	1,00	1,12	1,27	1,39	1,51
Pto. Montt	0,72	0,89	1,00	1,10	1,22	1,31	1,40
Valdivia	0,70	0,89	1,00	1,11	1,24	1,34	1,44
Ancud(2)	0,65	0,86	1,00	1,14	1,31	1,44	1,57
Castro(2)	0,65	0,86	1,00	1,14	1,31	1,44	1,57
Pto. Cisnes(2)	0,65	0,86	1,00	1,14	1,31	1,44	1,57
Coyhaique(2)	0,65	0,86	1,00	1,14	1,31	1,44	1,57
Pto. Aisén(2)	0,65	0,86	1,00	1,14	1,31	1,44	1,57
Chile Chico(2)	0,65	0,86	1,00	1,14	1,31	1,44	1,57
Pta. Arenas(2)	0,65	0,86	1,00	1,14	1,31	1,44	1,57
Pto. Williams(2)	0,65	0,86	1,00	1,14	1,31	1,44	1,57

(1) Valores obtenidos de la publicación de la D.G.A. sobre “Precipitaciones Máximas de 1, 2 y 3 días” para tormentas de 1 día.

(2) Como no se dispone de valores calculados para estas ciudades, se propone usar los valores promedios obtenidos del análisis de los registros de varias localidades.

De esta manera se puede conocer el valor de la lluvia, a partir de la siguiente expresión:

$$P_t^T = 1,1 \cdot PD^{10} \cdot CD_t \cdot CF^T$$

donde:

- $P_t^T$  : lluvia para una duración de t horas y periodos de retorno T.  
 $PD^{10}$  : lluvia máxima diaria (8 AM a 8 AM) de 10 años de período de retorno.  
 $CD_t$  : coeficiente de duración para t horas (entre 1 y 24 horas).  
 $CF^T$  : coeficiente de frecuencia para T años de período de retorno.

Finalmente, para conocer las intensidades de la precipitación para distintas duraciones entre 1 y 24 horas, basta con dividir el valor de la precipitación recién obtenido para cada tiempo t, por la duración de cada tormenta. Así, graficando los valores de intensidad de precipitación en [mm/hr] v/s tiempo [hr] se obtienen las curvas IDF.

Nótese que este procedimiento es utilizable en la zona central y sur de nuestro país y entrega estimaciones de lluvia razonables para diseños hidráulicos en áreas con información escasa.

- Estimación de lluvias para duraciones menores a 1 hora.

Bell en 1969 realizó una serie de estudios que le permitieron obtener satisfactorios resultados para los coeficientes de duración y de frecuencia, válidos para lluvias provenientes de tormentas de tipo convectivo, con duraciones entre 5 minutos y 2 horas y para períodos de retorno entre 2 y 100 años.

Dichos valores propuestos por Bell cumplen las siguientes relaciones:

$$CF^T = 0,21 \cdot \ln T + 0,52$$

Donde T es el período de retorno en años.

Además, el coeficiente de duración en relación a la lluvia de 60 minutos, está dado por:

$$CD^T = 0,54 \cdot t^{0,25} - 0,50$$

en que t es la duración en minutos.

A continuación, en la Tabla 22-7 se presentan los valores de los Coeficientes de Duración para distintas duraciones de la lluvia, los cuales son válidos para todo el territorio nacional, a menos que se disponga de información pluviográfica que permita estimar otros coeficientes más precisos para cada lugar.



TABLA 22-7: COEFICIENTES DE DURACIÓN PARA LLUVIAS MENORES DE UNA HORA.

Duración [minutos]	Coef. De Duración
5	0,31
10	0,46
15	0,56
20	0,64
30	0,76
40	0,86
50	0,94
60	1,00

A partir de estas relaciones se puede obtener el valor de  $P_t^T$ , como se muestra a continuación:

$$P_t^T = CF^T \cdot CD^T \cdot P_{60}^{10} = (0,21 \cdot \ln T + 0,52) \cdot (0,54 \cdot t^{0,25} + 0,50) P_{60}^{10}$$

donde:

$P_t^T$  : lluvia en mm de duración t minutos y T años de período de retorno.

T: período de retorno, con  $2 \leq T \leq 100$  años.

t: duración de la lluvia, con  $5 \leq t \leq 120$  minutos.

$P_{60}^{10}$ : precipitación de una hora y 10 años de período de retorno, en mm.

La expresión anterior complementa los resultados experimentales del caso chileno y se recomienda su uso para obtener estimaciones de las curvas IDF para duraciones menores a una hora, cuando no se cuente con datos pluviográficos en el sitio de interés que permitan desarrollar una familia de curvas IDF en el lugar.

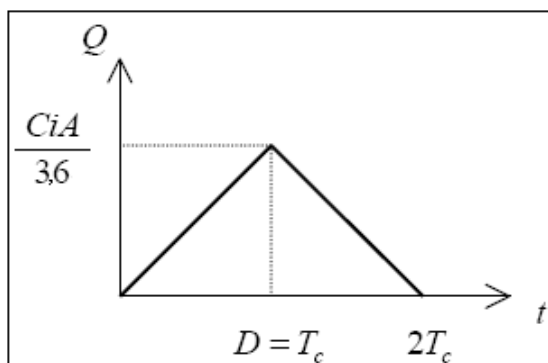
#### b.) Método Racional Modificado.

Dado que el Método Racional sólo entrega una estimación del caudal máximo y en muchas ocasiones (por ejemplo, en el dimensionamiento de embalses de detención de aguas lluvias) se requiere contar con un hidrograma que refleje el comportamiento del escurrimiento en el tiempo; se hace necesario definir el Método Racional Modificado.

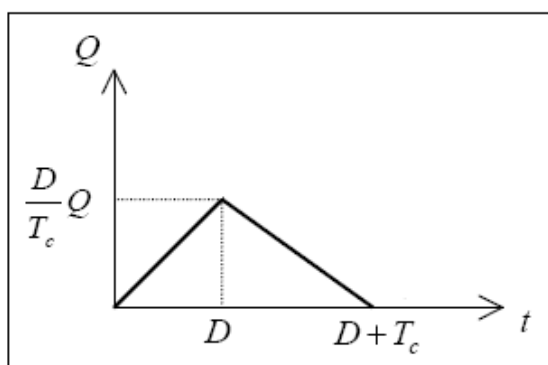
Dicho método es aplicable bajo las mismas condiciones que el Método Racional, exceptuando el hecho de que puede emplearse en cuencas que poseen elementos de regulación, como estanques o lagunas; obteniendo así el hidrograma de la crecida, el cual permitirá el dimensionamiento de obras de regulación y de conducción.

En el Método Racional Modificado se pueden presentar tres situaciones:

-  $D = T_c$ ; se genera un hidrograma con forma de triángulo isósceles, con un caudal máximo igual al valor entregado en la expresión del Método Racional, un tiempo de ascenso y de descenso igual al tiempo de concentración.

FIGURA 22-1: MÉTODO RACIONAL MODIFICADO PARA  $D = T_c$ 

-  $D < T_c$ ; se genera un hidrograma triangular con un tiempo de ascenso igual a la duración de la tormenta, un tiempo de descenso igual al tiempo de concentración de la cuenca y un caudal máximo menor al entregado por el Método Racional, dado por:

FIGURA 22-2: MÉTODO RACIONAL MODIFICADO PARA  $D < T_c$ 

$$Q_{\max} = \frac{D}{T_c} \cdot Q$$

donde:

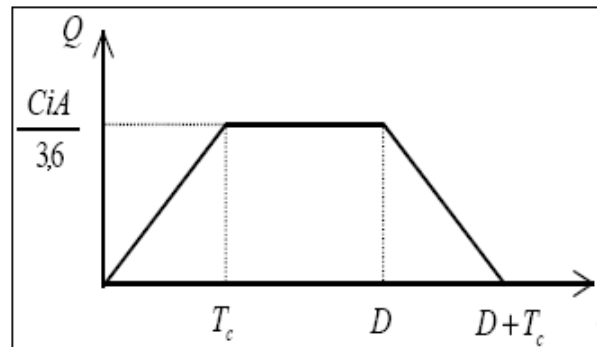
Q: valor entregado por el Método Racional.

D: duración de la tormenta.

Tc: tiempo de concentración.

-  $D > T_c$ ; se genera un hidrograma trapezoidal con un caudal máximo igual al del Método Racional pero que permanece constante desde  $t = T_c$  hasta  $t=D$ , a partir del cual cae a cero en un intervalo  $T_c$ .

FIGURA 22-3: MÉTODO RACIONAL MODIFICADO PARA  $D > T_c$



c.) Hidrograma Unitario (HU).

Los hidrogramas unitarios son una herramienta muy utilizada hoy en día para estimar los gastos máximos en cuencas urbanas, así como la forma del hidrograma correspondiente. Estos son aplicables en cuencas con datos de precipitación y caudal en un punto. A su vez, existen los hidrogramas unitarios sintéticos, los cuales se utilizan para otros puntos de la cuenca o para cuencas similares.

Dentro de los HU sintéticos, están aquellos que relacionan características del hidrograma ( $q_p$ ,  $t_b$ ) con las características físicas de la cuenca (Zinder) y los HU adimensionales (SCS, Commons) que trabajan con la forma del hidrograma.

A continuación, se presenta uno de los métodos más utilizados dentro de los HU sintéticos, el cual corresponde al método del HU del Servicio de Conservación de Suelos (S.C.S.) de E.E.U.U.

- Método del Soil Conservation Service (S.C.S.).

Conocido también como el procedimiento de la Curva Número, define primero el volumen de escorrentía a través de la Curva Número (CN) y luego estima el caudal máximo de la crecida y la forma del hidrograma de ésta.

- Volumen de escorrentía.

El volumen escurrido se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P + 0,8 \cdot S)}$$

donde:

P: lluvia caída.

S: máxima precipitación (P) absorbida por la cuenca.

$I_a$ : pérdidas iniciales (pérdidas por interceptación, almacenamiento en superficie e infiltración). Se estiman en un 20% del potencial máximo.



- Condiciones hidrológicas de los suelos.

Se definen de acuerdo a la capacidad de infiltración de los suelos. La infiltración del terreno varía bastante en función de la permeabilidad del suelo y las condiciones de la superficie.

El método de la Curva Número distingue 4 tipos de suelos (A, B, C y D), cuya clasificación es válida sólo para este análisis. El suelo de tipo A corresponde a suelos arenosos o limo-arenosos con bajo potencial de escurrimiento. Son suelos con buen drenaje. Los suelos tipo B tienen tasas de infiltración moderadas y son de tipo limoso. Los suelos C tienen baja capacidad de infiltración cuando están saturados y son limos arcillosos con algo de arena. Finalmente, los suelos tipo D tienen un alto potencial de escurrimiento y pequeña infiltración. Están formados fundamentalmente por suelos finos arcillosos o limosos. La clasificación se presenta en la Tabla 22-8.

TABLA 22-8: VALORES DE CURVAS NÚMERO PARA ÁREAS URBANAS

Cobertura Superficie	% imp.	Grupo de suelo (*)			
		A	B	C	D
Desarrollado					
Permeables:					
Prados y parques					
pasto <50%		68	79	86	89
pasto 50%-70%		49	69	79	84
pasto >75%		39	61	74	80
Impermeables		98	98	98	98
Calles y caminos					
Pavimentados		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89
Distritos urbanos					
Comercial	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Residencial					
sitios 500 m2 o menor	65	77	85	90	92
sitios 1000 m2	38	61	75	83	87
sitios 2000 m2	25	54	70	80	85
sitios 5000 m2	20	51	68	79	84
sitios 10000 m2	12	46	65	77	82
Áreas en desarrollo		77	86	91	94

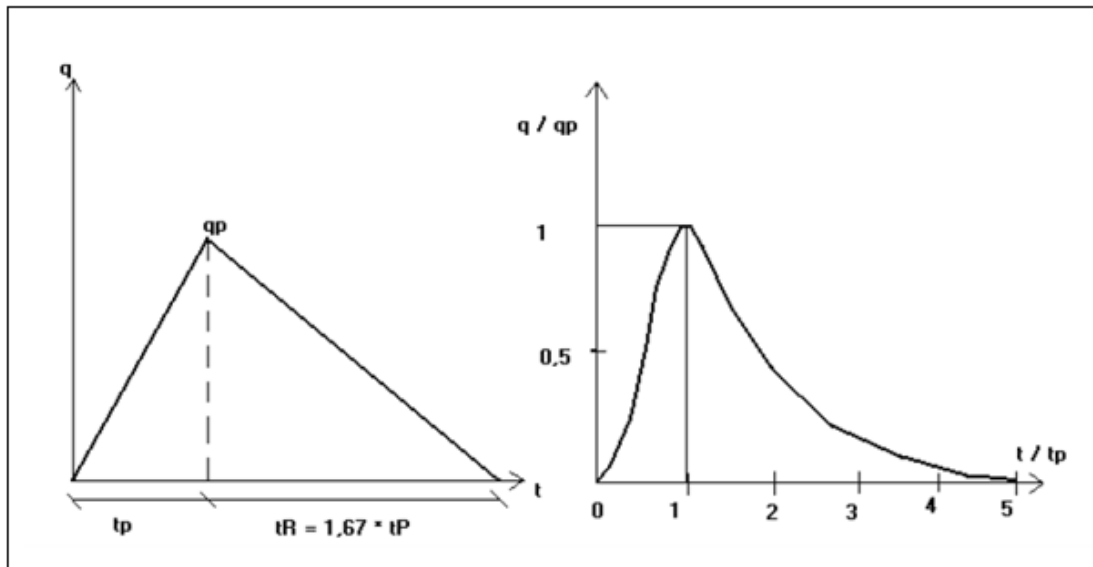
(\*): A: Arenas y arenas limosas; B: Limos; C: Limos arcillosos con algo de arena; D: Arcillas y Limos.

- Caudal máximo de la crecida y forma del Hidrograma Unitario Sintético del S.C.S.

El SCS propone también el uso de un hidrograma triangular. Esta simplificación permite estimar el valor máximo del caudal, el tiempo de base y el tiempo al máximo, lo cual define totalmente la forma del hidrograma y su valor máximo. Este hidrograma tiene una zona de ascenso que corresponde aproximadamente al 37% del volumen escurrido. El tiempo de base y el tiempo al máximo se pueden estimar a partir del tiempo de concentración de la cuenca.

A continuación, en la figura 22-4, se presenta el HU propuesto por el S.C.S:

FIGURA 22-4: HIDROGRAMA DEL S.C.S.



A partir del hidrograma triangular, se han propuesto las siguientes expresiones:

$$q_p = \frac{0,75 \cdot Q}{T_c} ; \quad T_b = 2,67 \cdot T_p = 1,8 \cdot T_c ; \quad T_p = 0,67 \cdot T_c$$

donde:

$q_p$  = caudal máximo, en mm/s.

$T_c$  = tiempo de concentración, en segundos.

$T_b$  = tiempo base del hidrograma, en segundos.

$T_p$  = tiempo al máximo, en segundos.

$Q$  = volumen escurrido expresado en altura de agua, en mm.

Las expresiones anteriores permiten calcular la forma del hidrograma, conocido el volumen escurrido y el tiempo de concentración.

#### 22.1.1.2. Dimensionamiento.

Conocido el caudal a transportar, las condiciones del cauce y del escurrimiento, puede aplicarse la fórmula de Manning para obtener, mediante tanteos sucesivos, las dimensiones más adecuadas de la sección transversal. Dicha fórmula es la siguiente:

$$Q = \frac{S \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}}{n}$$

Siendo:

Q: caudal de agua transportada [m<sup>3</sup>/s].

S: área de la sección transversal de la corriente [m<sup>2</sup>].

R: radio hidráulico = S/P [m]

P: perímetro mojado, correspondiente a la sección S [m].

J: pendiente de la línea de carga, en tanto por uno.

n: coeficiente de rugosidad del cauce.

Para determinar el valor de “n”, puede utilizarse la Tabla 22-9, la cual se presenta a continuación:

**TABLA 22-9: COEFICIENTES DE RUGOSIDAD DE MANNING**

(REF.: ANEXO 5 GUÍA DE DISEÑO: “TÉCNICAS ALTERNATIVAS PARA SOLUCIONES DE AGUAS LLUVIAS EN SECTORES URBANOS”, MINVU)

Tipo de canal y superficie	mínimo	normal	máximo
<b>A.- Canales construídos</b>			
Revestimiento metálico, de acero, sin pintar	0.011	0.012	0.014
Revestimiento metálico, pintado	0.012	0.013	0.017
Metal corrugado, alcantarillas corrugadas	0.021	0.024	0.030
Cemento y mortero afinado	0.011	0.013	0.015
Asfalto suave, bien terminado	0.012	0.014	0.015
Concreto con moldaje	0.013	0.015	0.017
Ladrillos, sin cantería	0.012	0.015	0.018
Mampostería de piedra emboquillada	0.017	0.025	0.030
Piedras sueltas, enrocados menores	0.020	0.030	0.035
<b>B.- Canales excavados o dragados</b>			
En tierra, rectos y uniformes recién construídos	0.016	0.018	0.020
Profundos, con vegetación y plantas acuáticas	0.030	0.035	0.040
En roca irregulares	0.035	0.050	0.060
<b>C.- Cauces naturales</b>			
De poca pendiente, limpios y rectos	0.025	0.030	0.035
Poca pendiente, rectos pero con piedras, plantas	0.075	0.100	0.150
De montaña, sin vegetación con ripios	0.030	0.040	0.050
De montaña con peñascos y ripios, sin plantas	0.040	0.050	0.070
<b>D.- Zonas inundadas</b>			
Pastizales, planicies, pastos cortos	0.030	0.035	0.050
Zonas cultivadas, cultivos anuales	0.030	0.040	0.050
Matorrales y pocos árboles	0.045	0.070	0.110
Árboles densos, bosques, suelo limpio	0.040	0.070	0.100
Árboles y matorrales, ramas	0.100	0.120	0.160

Se recomienda emplear:

- El valor mínimo para estimar velocidades y pendientes frente a problemas de erosión.
- El valor máximo para estimar alturas de agua y para dimensionar la sección y revancha.

## ART. 22.2 ESCURRIMIENTOS CERRADOS

### 22.2.1. COLECTORES

Para las condiciones de diseño, los colectores secundarios funcionan con escurrimiento libre. Por lo general, los colectores de la red secundaria son de sección circular. Para ello, el diámetro de los tubos se selecciona de manera que, para el caudal máximo de diseño, la altura de agua sea igual o menor que 0,8 veces el diámetro D.

Si la altura de agua es igual a 0,8D, la velocidad media del flujo, V, y el gasto, Q, están relacionados con el diámetro del tubo, la pendiente longitudinal y el coeficiente de rugosidad del material mediante las siguientes relaciones, basadas en la ecuación de Manning para flujo uniforme:

$$V = 0,45 \cdot \frac{D^{2/3} \cdot I^{1/2}}{n} \quad ; \quad Q = 0,30 \cdot \frac{D^{8/3} \cdot I^{1/2}}{n}$$

donde:

V= Velocidad media del flujo, en [m/s].

Q= Gasto, en [m<sup>3</sup>/s].

I= Pendiente de fondo del tubo, en [m/m].

D= Diámetro interior del tubo, en [m].

n= Coeficiente de rugosidad de Manning, según la Tabla 22-10:

TABLA 22-10: COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING PARA ESCURRIMIENTO CERRADO

Tipo de superficie	Coeficiente n
Tubos de plástico	0,011
Tubos de fibrocemento	0,012
Tubos de mortero comprimido	0,013

Adicionalmente se recomienda que se tengan en consideración las siguientes recomendaciones para tubos de colectores de la red secundaria:



- a.) Un diámetro mínimo de colectores, de 400mm.
- b.) Que la velocidad máxima del escurrimiento no sobrepase 4 m/s para tuberías de mortero comprimido y los 6 m/s para tuberías de PVC o similares.
- c.) Que la velocidad mínima del escurrimiento no sea inferior a 0,9m/s para las condiciones de diseño. Para ello, se adopta la pendiente de fondo correspondiente para los tubos. En el caso de tramos iniciales (antes de la primera cámara), no es aconsejable que la velocidad sea inferior a 0,6 m/s.
- d) Se pueden diseñar obras especiales y tramos en presión, como sifones invertidos, si el proyecto lo requiere. En este caso se recomienda tomar las medidas para evitar embanques y lograr una adecuada operación y conservación.

Dado que el sistema de drenaje de aguas lluvias de una cuenca urbana, consta tanto de colectores como de sumideros y cámaras, estos dos últimos elementos se han incluido dentro de las obras de escurrimientos cerrados, su diseño y dimensionamiento se detallan a continuación:

## 22.2.2. SUMIDEROS

### 22.2.2.1. Capacidad máxima de sumideros.

La capacidad máxima de los sumideros depende del tipo, tamaño y diseño de la rejilla. Su capacidad hidráulica se puede estimar suponiendo que funcionan hidráulicamente como vertederos para pequeñas alturas de agua y como orificios para alturas de agua mayores. Colocados en una calzada con pendiente no siempre logran captar toda el agua que viene por ellas aunque teóricamente dispongan de capacidad para ello.

#### 22.2.2.1.1. Sumidero horizontal.

Se considera un sumidero horizontal como el que se presenta en la figura 21-2. El máximo caudal que es posible evacuar por este tipo de dispositivo se calcula de la siguiente manera:

$$Q_m = 1,66 \cdot (L + 2 \cdot b) \cdot h^{1,5}, \text{ si funciona como vertedero: } h < 1,6 \cdot \frac{A}{L + 2 \cdot b}$$
$$Q_m = 2,66 \cdot A \cdot h^{0,5}, \text{ si funciona como orificio: } h \geq 1,6 \cdot \frac{A}{L + 2 \cdot b}$$

donde:

$Q_m$ : máximo caudal a evacuar en [m<sup>3</sup>/s].

L: largo del sumidero a lo largo de la cuneta en [m].

b: ancho del sumidero, transversal a la calzada en [m].

A: área de aberturas de la rejilla en [m<sup>2</sup>].

h: altura de agua del escurrimiento en la calzada frente al sumidero, en [m].

## 22.2.2.1.2. Sumidero lateral.

Se considera el sumidero lateral que se presenta en la figura 21-3. El máximo caudal que es posible evacuar por este elemento se calcula a partir de las siguientes ecuaciones:

$$Q_m = 1,27 \cdot L \cdot h^{1,5}, \text{ si funciona como vertedero: } h < a$$

$$Q_m = 2,66 \cdot L \cdot a \cdot h^{0,5}, \text{ si funciona como orificio: } h \geq a$$

donde:

$Q_m$ : máximo caudal a evacuar en [m<sup>3</sup>/s].

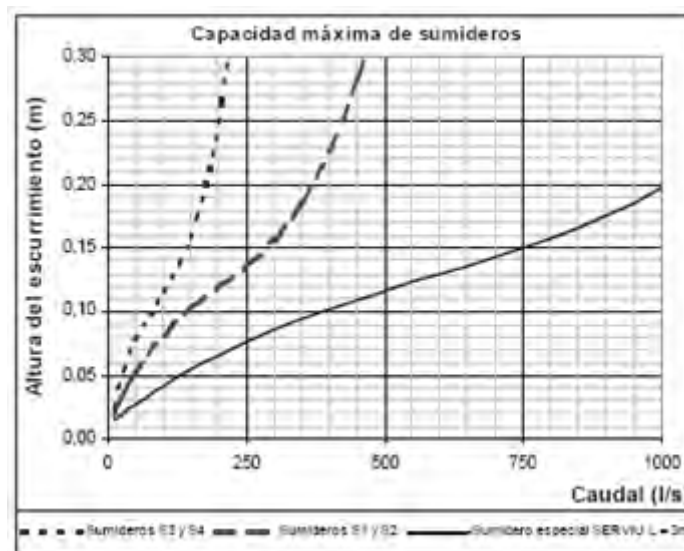
L: largo del sumidero a lo largo de la cuneta en [m].

a: altura de abertura vertical, en [m].

h: altura de agua del escurrimiento en la calzada, frente al sumidero, en [m].

Para los sumideros tipo S1, S2, S3, S4, así como también sumideros especiales, correspondientes a baterías de sumideros de mayor longitud con rejilla horizontal, las capacidades máximas se muestran en la Figura 22-5:

FIGURA 22-5: CAPACIDAD MÁXIMA DE SUMIDEROS TIPO DEL SERVIU



### 22.2.2.2. Capacidad de diseño de sumideros.

Los sumideros no necesariamente logran captar el caudal correspondiente a su capacidad máxima. En la realidad, los sumideros captan sólo parte del escurrimiento que escurre por la cuneta, la fracción no captada escurre aguas abajo y se agrega al caudal que recibe la calzada, quedando, por lo tanto, para el siguiente sumidero. En términos de diseño se habla de la eficiencia de un sumidero E, como la proporción que es capaz de captar del caudal que escurre por la cuneta.

De esta manera, la eficiencia global del sumidero es la suma de las eficiencias del sumidero horizontal y del sumidero lateral. Esta depende principalmente de las características geométricas del sumidero, de las características geométricas de la cuneta y de la magnitud del caudal que escurre por ésta.

La capacidad de diseño del sumidero se considera como el valor mínimo entre las dos opciones siguientes:

$$Q_s = E \cdot Q = (E_H + E_L) \cdot Q \quad \text{si} \quad (E_H + E_L) \cdot Q \leq Q_m$$

$$Q_s = Q_m \quad \text{si} \quad (E_H + E_L) \cdot Q > Q_m$$

donde:

$Q_s$ : caudal captado por el sumidero.

$Q$ : caudal que escurre por la cuneta aguas arriba del sumidero.

$Q_m$ : capacidad máxima de captación del sumidero definida en 22.2.2.1.

$E$ : eficiencia global del sumidero cuyo valor máximo es 1,0.

$E_H$ : eficiencia del sumidero horizontal.

$E_L$ : eficiencia del sumidero lateral.

#### 22.2.2.2.1. Sumidero horizontal.

Se considera el sumidero horizontal que se presenta en la figura 21-2. La eficiencia de este dispositivo colocado en la cuneta se calcula de la siguiente manera:

$$E_H = E_0 + R_s \cdot (1 - E_0) \quad \text{Con} \quad 0 \leq E_H \leq 1$$

$$E_0 = 1 - \left(1 - \frac{b}{T}\right)^{2,67} \quad \text{Con} \quad 0 \leq E_0 \leq 1$$

$$R_s = \frac{1}{\left(1 + \frac{0,0828 \cdot V^{1,8}}{S_x \cdot L^{2,3}}\right)} \quad \text{Con} \quad 0 \leq R_s \leq 1$$

Donde:

$E_H$ : proporción del caudal que viene por la calzada, capturada por el sumidero.

$T$ : ancho superficial del escurrimiento que viene por la calzada, en [m].

$V$ : velocidad del escurrimiento, en [m/s].

$S_x$ : pendiente transversal de la cuneta en [m/m].

## 22.2.2.2.2. Sumidero lateral.

Se considera el sumidero lateral que se presenta en la figura 21-3. Este elemento con abertura en la solera, tiene una eficiencia dada por las siguientes ecuaciones:

$$\text{Si } h \leq a: E_L = 1 - \left(1 - \frac{L}{L_T}\right)^{1,8} \text{ con } 0 \leq E_L \leq 1$$

$$\text{Si } h > a: E_L = 1 \quad L_T = 0,817 \cdot Q^{0,42} \cdot S_L^{0,3} \cdot (n \cdot S_x)^{-0,6} \text{ con } L_{T_{\text{mínimo}}} = L$$

donde:

$E_L$ : proporción del caudal que viene por la calzada, capturada por el sumidero.

$a$ : altura del sumidero, en [m].

$h$ : altura del escurrimiento, en [m].

$L$ : largo de la abertura del sumidero en [m].

$S_L$ : pendiente longitudinal de la calzada [m/m].

$S_x$ : pendiente transversal de la cuneta [m/m].

$Q$ : caudal que escurre por la calzada, [m<sup>3</sup>/s].

$n$ : coeficiente de rugosidad de Manning determinado según tabla 22-9.

Nótese que cuando la altura del escurrimiento sobrepasa la abertura del sumidero, el caudal captado viene limitado solamente por la capacidad máxima de captación del sumidero lateral, según el apartado 22.2.2.1.

## 22.2.2.2.3. Sumideros Tipo.

Para los sumideros tipo S1, S2, S3, S4 y especial (ver sumidero especial en Lámina 22-I del Apéndice III), las características y eficiencias de captación se presentan a continuación en la tabla 22-11.

TABLA 22-11: CARACTERÍSTICAS Y EFICIENCIAS DE CAPTACIÓN DE SUMIDEROS

Características	Sumidero S1 ó S2	Sumidero S3 ó S4	Sum. Especial SERVIU
Sumidero horizontal			
Largo L, en [m]	0,98	0,66	3,0
Ancho b, en [m]	0,41	0,41	0,70
Área libre, rejilla Fe laminado, [m <sup>2</sup> ]	0,22	0,15	0,93
Sumidero lateral			
Largo L, en [m]	0,98	---	3,0
Altura a, en [m]	0,1	---	0,1
Eficiencia de Sumideros			
Condición de diseño (1 m en la cuneta) para cualquier pend. Longitudinal	0,90	0,80	1,00
Flujo a cuneta llena			
Pend. Long.de la calzada < 0,01	0,45	0,40	0,75
0,01 < Pend. Long de la calzada < 0,05	0,25	0,20	0,75
Pend. Long.de la calzada > 0,05	0,10	0,05	0,50

### **22.2.3. CÁMARAS**

Las dimensiones de las cámaras están preestablecidas. Se recomienda seleccionar una profundidad total adecuada a cada situación dentro del rango de profundidades máximas recomendadas. Es necesario también seleccionar el diámetro de los tubos de entrada y salida de acuerdo a la obra a la cual sirve y según las exigencias de la conducción.

La conexión de los tubos de entrada y salida puede ubicarse en paredes opuestas o en paredes adyacentes. En el caso de cámaras anexas a zanjas de infiltración, es posible ubicar la cámara inmediatamente en un extremo de la zanja, de manera que la pared por la cual sale el tubo de alimentación, es a su vez, una pared de la zanja.

Para ambos tipos de cámaras (a y b) se emplean tapas tipo calzada con marco, según norma NCh. 1623.Of. 2003.

Los tipos de cámaras utilizadas se presentan en las Láminas 22-2 a 22-5 del Apéndice III.

## TERCERA PARTE



## APÉNDICE I DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS ANTECEDENTES

### ANTECEDENTES QUE CONFORMAN EL PROYECTO:

Es recomendable que todo proyecto de obras de pavimentación contenga los siguientes documentos y antecedentes:

#### 1. PLANOS.

Los planos constituyen la expresión gráfica del proyecto. Están formados por una o más láminas, de acuerdo a las dimensiones del proyecto y al propio criterio del proyectista. En todo caso, es recomendable que sus dimensiones sean normalmente moderadas, a fin de facilitar su manipulación.

En cada una de las láminas se inserta la viñeta tipo, cuyo formato y detalle proporciona el Servicio.

Los planos a presentar son los siguientes; tanto para pavimentación como para aguas lluvias:

#### 1.2. Plano de Ubicación:

En este plano se grafica el emplazamiento de la obra, en relación con la red vial existente del sector, incluyendo toda el área o zona en la cual el proyecto puede tener incidencia. Se dibuja a alguna escala adecuada al tamaño del proyecto.

#### 1.3. Plano de Planta:

Contiene la identificación de las calles, sus líneas oficiales, trazado de las veredas, soleras, calzadas, badenes, sentido de escurrimiento de las aguas lluvias, datos de las curvas horizontales y verticales en el eje de la calzada, radios de las curvas en las esquinas, y ubicaciones de sumideros u otras obras que puedan interferir con el trazado del pavimento. Este plano puede dibujarse, opcionalmente, en cualquiera de las siguientes escalas: 1/500, 1/1000 e incluye una simbología adecuada.

#### 1.4. Plano de perfil longitudinal:

Este plano contiene la identificación de la calle, cota de referencia, distancias parciales entre puntos especiales consecutivos, tales como: perfiles transversales, cruce de ejes, principio y fin de curvas verticales y cambios de pendiente; distancias acumuladas, cotas de terreno, rasante y subrasante en puntos especiales; pendientes, curvas verticales, número del perfil transversal, nombre de las calles que se intersectan, línea de terreno y línea de rasante. Este plano se dibuja a la misma escala horizontal que la del plano de planta y a una escala vertical diez veces mayor que la horizontal.

#### 1.5. Plano de perfiles transversales:

Este plano contiene la identificación de la calle a la cual pertenece, cota de referencia, distancia entre los puntos medidos a ambos lados del eje, cota de terreno de estos puntos, cotas de terreno, rasante y subrasante en el eje, línea de terreno y línea de terreno y línea de excavación y/o relleno, cálculo de superficie de excavación y/o relleno y volúmenes de excavaciones y/o relleno, determinados desde el perfil inmediatamente anterior. Este plano se dibuja en cualquiera de las siguientes escalas optativas: a) escala horizontal 1/50, 1/100 ó 1/200, y b) escala vertical diez veces mayor que la escala horizontal.

Este plano eventualmente puede reemplazarse por un listado de cálculo de los perfiles transversales elaborado mediante sistema computacional, siempre que el terreno no presente taludes o cortes pronunciados.



### **1.6. Planos de detalle:**

En los planos se grafica toda la información técnica que el proyectista estime indispensable para una mejor claridad y comprensión en la ejecución del proyecto. No obstante lo anterior, se recomienda incluir los siguientes planos de detalles: perfil transversal tipo de cada calle, con indicación de sus pendientes; perfil transversal de diseño de las capas que componen cada tipo de pavimento; perfil de encuentro de calles y pasajes (Lámina tipo N° APÉNDICE I.1). Las escalas a que se dibujen estos planos son definidas por el SERVIU Regional.

Para mayor claridad en la interpretación de los planos, se usa una simbología adecuada.

### **1.7. Planos de obras complementarias:**

Se adjuntan al proyecto los planos de anteproyecto de todas las obras complementarias, tales como: red de aguas lluvias, canales, acueductos, alcantarillas, sumideros, muros de contención, etc. Se usan las escalas más adecuadas; de modo que se aprecien con perfecta claridad los detalles de construcción.

## **2. MEMORIA EXPLICATIVA.**

Este documento contiene una Memoria Explicativa y una Memoria de Cálculo. Incluye nombre y firma del Ingeniero Civil Proyectista.

### **2.1. Memoria Explicativa:**

Consiste en un informe breve, pero completo, de carácter técnico en el cual se resumen y exponen los principales aspectos del proyecto.

### **2.2. Memoria de Cálculo:**

Se recomienda que este informe justifique el diseño de las obras proyectadas, señalando los métodos empleados para ello y los parámetros de cálculo considerados (entregar cálculos de los diseños), basándose en los principios enunciados en lo que se refiere a:

- Mecánica de suelos: Sección 12.
- Tránsito: Sección 13.
- Diseño Geométrico: Sección 14.
- Diseño estructural: Secciones 15 y 16.
- Diseños de aguas lluvias: Según Secciones 21 y 22 del presente Código.

### **2.3. Certificados e Informes de Laboratorio:**

Se recomienda incluir los certificados e informes de laboratorio (original) que justifiquen las soluciones adoptadas en el proyecto.

Los Informes y Certificados son realizados por un laboratorio oficial con inscripción vigente en el registro del MINVU.

### 3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Además de dejar establecido que la ejecución de las obras contempladas en el proyecto se ciñan a las Especificaciones Técnicas contenidas en el presente Código, se elaboran Especificaciones Técnicas Especiales, con el fin de aclarar las Especificaciones Generales en todos los aspectos que se estimare necesarios agregar, otras especificaciones no incluidas en las mismas, o fijar, en ciertos casos, exigencias mas restrictivas en relación a dichas Especificaciones.

Es recomendable que las siguientes partidas sean especificadas en detalle:

- **Movimiento de tierras:** Se especifica el tipo y calidad del material de relleno y su grado de compactación.
- **Subrasante, base y sub base:** Se especifica grado de compactación, condiciones de los materiales a usar y espesores.
- **Capa de rodado y badenes:** Se especifica el tipo de pavimento, condiciones de los materiales a usar y espesores. Además, para los pavimentos de hormigón, el tipo y disposición de las juntas.
- **Soleras y solerillas:** Se especifica el tipo y las condiciones de los materiales a usar.
- **Veredas:** Se especifica el tipo de veredas, condiciones de los materiales y espesores.
- **Obras complementarias:** Se especifica todo aquello que constituya características especiales de cada proyecto, en particular lo que se refiere a dimensiones, condiciones de los materiales y detalles propios de cada obra.

### 4. LISTADO DE CALLES, PASAJES Y SUS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.

Se entrega además, un listado con las características principales de las calles y los pasajes como, por ejemplo, el tramo, la longitud, tipo de calzada, etc.

### 5. CUBICACIÓN DE CANTIDADES DE OBRAS.

Este documento incluye todas las cantidades de obras consideradas en el proyecto, utilizando unidades de medida del Sistema Métrico Decimal, conteniendo el número del ítem, la descripción, la unidad de medida y la cantidad en cifras enteras.

### 6. CUBICACIÓN DE MOVIMIENTO DE TIERRAS.

El cálculo del movimiento de tierras es informado en m<sup>3</sup> para todas las partidas consideradas en el proyecto.

### 7. PRESUPUESTO

El Presupuesto del proyecto se elabora en base a partidas y precios oficiales de la lista de precios unitarios del Servicio, siendo presentado de acuerdo al formato SERVIU.



## APÉNDICE II

### NORMAS DEL INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN CITADAS EN EL TEXTO

- NCh. 147 Of.1969 - Cementos - Análisis químico.
- NCh. 148 Of.1968 - Cemento - Terminología, clasificación y especificaciones generales.
- NCh. 151 Of.1969 - Cemento - Método de determinación de la consistencia normal.
- NCh. 157 Of.1967 - Cemento - Ensayo de expansión en autoclave.
- NCh. 158 Of.1967 - Cemento - Ensayo de flexión y compresión de morteros de cemento.
- NCh. 159 Of.1970 - Cemento - Determinación de la superficie específica por el permeabilímetro según Blaine.
- NCh. 161 Of.1969 - Cemento - Puzolana para uso en cementos - Especificaciones.
- NCh. 162 Of.1977 - Cemento - Extracción de muestras.
- NCh. 163 Of.1979 - Áridos para morteros y hormigones - Requisitos generales.
- NCh. 164 EOf.1976 - Áridos para morteros y hormigones - Extracción y preparación de muestras.
- NCh. 165 Of.1977 - Áridos para morteros y hormigones - Tamizado y determinación de la granulometría.
- NCh. 170 Of.1985 - Hormigón - Requisitos generales.
- NCh. 171 Of.1975 - Hormigón - Extracción de muestras de hormigón fresco.
- NCh. 179 Of.1980 - Mecánica de suelos - Símbolos, unidades y definiciones.
- NCh. 184 Of. 2001 - Conductos prefabricados de hormigón para alcantarillado - Requisitos generales.
- NCh. 187 Of.1958 - Ensayos de baldosas de mortero de cemento.
- NCh. 203 Of.2006 - Acero para uso estructural – Requisitos.
- NCh. 204 Of.2006 - Acero - Barras laminadas en caliente para hormigón armado.
- NCh. 211 Of.1970 - Barras con resaltes en obras de hormigón armado.
- NCh. 218 Of.1977 - Acero - Mallas de alta resistencia para hormigón armado - Especificaciones.
- NCh. 219 Of.1977 - Construcción - Mallas de acero de alta resistencia - Condiciones de uso en el hormigón armado.
- NCh. 413 Of.1963 - Agua para fines industriales - Ensayos - Determinación del pH.
- NCh. 416 Of.1963 - Agua para fines industriales - Ensayos - Determinación de los sólidos en suspensión y de los sólidos disueltos.
- NCh. 430 Of.2008 - Hormigón armado - Requisitos de diseño y cálculo.
- NCh. 434 Of.1970 - Barras de acero de alta resistencia en obras de hormigón armado.

- NCh. 567EOf. 1969 - Tubos de planchas acanaladas de acero zincado - Especificaciones.
- NCh. 1017 EOf.1975 - Hormigón - Confección y curado en obra de probetas para ensayos de compresión y tracción.
- NCh. 1018 Of.1977 - Hormigón - Preparación de mezclas de prueba en laboratorio.
- NCh. 1019 EOf.1974 - Hormigón - Determinación de la docilidad - Método de asentamiento del Cono de Abrams.
- NCh. 1022 Of.1976 - Tamices de ensayo, de tela de alambre y de plancha perforada - Dimensiones nominales de abertura.
- NCh. 1037 Of.1977 - Hormigón - Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas.
- NCh. 1038 Of.1977 - Hormigón - Ensayo de tracción por flexión.
- NCh. 1116 EOf.1977 - Áridos para morteros y hormigones - Determinación de la densidad aparente.
- NCh 1117 EOf.1977 - Áridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades real y neta y la absorción de agua de las gravas.
- NCh. 1171/I Of.2001 - Hormigón - Testigos de Hormigón Endurecido - Parte I: Extracción y ensayo.
- NCh. 1223 Of.1977 - Áridos para morteros y hormigones - Determinación del material fino menor que 0,080 mm.
- NCh. 1239 Of.1977 - Áridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades real y neta y la absorción de agua de las arenas.
- NCh. 1325 Of.1978 - Áridos - Determinación del equivalente de arena.
- NCh. 1326 Of.1977 - Áridos para morteros y hormigones - Determinación de huecos.
- NCh. 1327 Of.1977 - Áridos para morteros y hormigones - Determinación de partículas desmenuzables.
- NCh. 1328 Of.1977 - Áridos para morteros y hormigones - Determinación de la desintegración - Método de los sulfatos.
- NCh. 1333 Of.1987 - Requisitos de calidad del agua para diferentes usos.
- NCh. 1369 Of.1978 - Áridos - Determinación del desgaste de las gravas - Método de la Máquina de los Ángeles.
- NCh. 1444/I Of.1980 - Áridos para morteros y hormigones - Determinación de sales - Parte I: Determinación de cloruros y sulfatos.
- NCh. 1498 Of.1982 - Hormigón - Agua de amasado - Requisitos.
- NCh. 1511.Of.1980 - Áridos para morteros y hormigones - Determinación del coeficiente volumétrico medio de las gravas.
- NCh. 1515.Of.1979 - Mecánica de suelos - Determinación de la humedad.

- NCh. 1516.Of.1979 - Mecánica de suelos - Determinación de la densidad en el terreno - Método del cono de arena.
- NCh. 1517/1.Of.1979 - Mecánica de suelos - Límites de consistencia - Parte 1: Determinación del límite líquido.
- NCh. 1517/2.Of.1979 - Mecánica de suelos - Límites de consistencia - Parte 2: Determinación del límite plástico.
- NCh. 1532 Of.1980 - Mecánica de suelos - Determinación de la densidad de partículas sólidas.
- NCh. 1533.a1978 - Determinación de la granulometría.
- NCh. 1534/1 Of.1979 - Mecánica de suelos - Relaciones humedad/densidad - Parte 1: Métodos de compactación con pisón de 2,5 kg y 305 mm de caída.
- NCh. 1534/2 Of.1979 - Mecánica de suelos - Relaciones humedad/densidad - Parte 2: Métodos de compactación con pisón de 4,5 kg y 460 mm de caída.
- NCh. 1564 Of.1979 - Determinación de la densidad aparente, del rendimiento, del contenido de cemento y del contenido de aire del hormigón fresco.
- NCh. 1623 Of.2003 - Cámaras de inspección prefabricadas de hormigón para redes de alcantarillado - Requisitos.
- NCh. 1852 Of.1981 - Mecánica de suelos - Determinación de la razón de soporte de suelos compactados en laboratorio.
- NCh. 1934 Of.1992 - Hormigón preparado en central hormigonera.
- NCh. 1990 Of.1986 - Maderas - Tensiones admisibles para madera estructural.
- NCh. 1998 Of.1989 - Hormigón - Evaluación estadística de la resistencia mecánica.
- NCh. 2034 Of.1999 - Asfaltenos en petróleo combustibles - Método por insolubles en n-heptano.
- NCh. 2182 Of.1995 - Hormigón y mortero - Aditivos - Clasificación y requisitos.
- NCh. 2183 Of.1992 - Hormigón y mortero - Método de ensayo - Determinación del tiempo de fraguado.
- NCh. 2184 Of.1992 - Hormigón y mortero - Métodos de ensayo - Determinación del contenido de aire.
- NCh. 2257/1 Of.1996 - Morteros - Determinación de la consistencia - Parte 1: Método del extendido en la mesa de sacudidas.
- NCh. 2257/3 Of.1996 - Morteros - Determinación de la consistencia - Parte 3: Método del asentamiento del cono.
- NCh. 2259 Of.1996 - Morteros - Determinación de la retentividad - Método de la succión del agua por vacío.
- NCh. 2260 Of.1996 - Morteros - Preparación de mezclas de prueba y mezclas comparativas en el laboratorio.
- NCh. 2261 Of.1996 - Morteros - Determinación de las resistencias mecánicas de probetas

confeccionadas en obra.

-NCh. 2332 Of.1998 - Asfalto – Muestreo.

-NCh. 2333.Of.1998 - Asfaltos - Determinación de la densidad y la densidad relativa.

-NCh. 2334 Of.1998 - Asfaltos - Determinación de la viscosidad Saybolt.

-NCh. 2335 Of.1998 - Asfaltos - Determinación de la viscosidad cinemática

-NCh. 2336 Of.1998 - Asfaltos - Determinación de la viscosidad mediante viscosímetros capilares de vacío.

-NCh. 2337 Of.1998 - Asfaltos - Determinación del punto de ablandamiento mediante el aparato de anillo y bola.

-NCh. 2338 Of.1998 - Asfaltos - Determinación de los puntos de inflamación y combustión - Método de la copa abierta Cleveland.

-NCh. 2339 Of.1999 - Asfaltos - Determinación del punto de inflamación - Método de la copa abierta Tag.

-NCh. 2340 Of.1999 - Asfaltos - Ensayo de penetración.

-NCh. 2341 Of.1999 - Asfaltos - Determinación de la solubilidad en solventes orgánicos.

-NCh. 2342 Of.1999 - Asfaltos - Ensayo de ductilidad.

-NCh. 2343 Of.1999 - Asfaltos - Ensayo de la mancha.

-NCh. 2344 Of.1999 - Asfaltos - Punto de fragilidad Fraass.

-NCh. 2346 Of.1999 - Asfaltos - Ensayo de película delgada rotatoria.

-NCh. 2347 Of.1999 - Asfaltos cortados - Ensayo de destilación.

-NCh. 2348 Of.1998 - Emulsiones asfálticas - Métodos de ensayo.

-NCh. 2505 Of.2001 - Estabilización química de suelos - Caracterización del producto y evaluación de propiedades de desempeño del suelo.

#### **NORMAS ASTM:**

-ASTM C40-04 - Determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino.

-ASTM C123-04 - Ensayo de partículas ligeras en agregados gruesos y finos.

-ASTM C309 - 58 Especificación estándar para Membrana emulsionada para curado de Cemento.

-ASTM D139-07 - Ensayo de Flotación para materiales asfálticas.

-ASTM D1195-93 - Ensayo de placa de carga estático repetitivo en suelos y pavimentos flexibles.

-ASTM D1196-93 - Ensayo de placa de carga estático no repetitivo en suelos y pavimentos flexibles.

-ASTM D1559-89 - Ensayo de Resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall.

- ASTM D-1560-05 - Ensayo de resistencia a la deformación y cohesión de mezclas asfálticas por medio de Aparato de Hveem.
- ASTM D2041-03 – Ensayo para determinar la máxima gravedad específica teórica y la densidad en mezclas asfálticas.
  
- ASTM D2166 - Ensayo de compresión no confinada en suelos cohesivos.
- ASTM D2435 - Ensayo de propiedades de consolidación unidimensional de suelos.
- ASTM D3080 - Ensayo de corte directo de una muestra de suelo bajo condiciones de consolidado y drenado.
- ASTM D3549-03 Espesor de mezclas asfálticas compactadas.
- ASTM D3625-96 - Ensayo de Susceptibilidad al agua (Hervido de Texas).
- ASTM D4253-00 - Métodos de prueba para el índice máximo de densidad y unidades de peso de suelos usando una tabla vibratoria.
- ASTM D4254-00 – Método para determinar el índice de densidad mínimo y el Peso unitario del suelo y cálculo de la densidad relativa.
- ASTM E274-06 – Método para medir la resistencia de superficies pavimentadas usando el sistema de la rueda bloqueada.

#### **NORMAS NLT:**

- NLT-162 - Efecto del agua sobre la cohesión de las mezclas asfálticas compactadas. (Ensayo de inmersión- compresión).
- NLT-165 - Análisis granulométrico de los áridos recuperados de las mezclas asfálticas.
- NLT-168 - Densidad y huecos en mezclas asfálticas compactadas.
- NLT-173 - Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensaye de laboratorio.
- NLT-175 - Coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) con el péndulo del TRRL.
- NLT-176 - Densidad aparente del polvo mineral en tolueno.
- NLT-317 - Consistencia, con el cono, de las lechadas asfálticas.
- NLT-320 - Abrasión por vía húmeda de las lechadas asfálticas.
- NLT-323 - Método de ensayo para clasificar las lechadas asfálticas por medida del par de torsión, en el cohesiómetro, en función del tiempo de curado.
- NLT 326 - Ensayo de lixiviación en materiales para carreteras. (Método del tanque).
- NLT-327 - Permeabilidad in situ de pavimentos drenantes con el permeámetro LCS.
- NLT-328 - Estabilidad al almacenamiento de betunes asfálticos modificados.
- NLT 329 - Recuperación elástica por torsión para asfaltos modificados.



- NLT-349 - Medida de módulos dinámicos de materiales para carreteras.
- NLT-352 - Caracterización de las mezclas asfálticas abiertas por medio del Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste.
- NLT-354 - Índices de lajas y agujas de los áridos para carreteras.
- NLT-358 - Proporción del árido grueso que presenta dos o más caras de fractura por machaqueo (Cubicidad de las Partículas).
- NLT-362 - Efecto del agua sobre la cohesión de mezclas asfálticas de granulometría abierta, mediante el Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste.
- NLT-365 - Escurrimiento del ligante en mezclas asfálticas abiertas.

#### **NORMAS AASHTO:**

- AASHTO M173-74 - Especificación estándar para el sellado elástico en caliente en cemento.
- AASHTO M148-62 - Especificación estándar para Membrana emulsionada para curado de Cemento.
- AASHTO TP 48 - Viscosidad. Rotacional.
- AASHTO T165-82 – Ensayo de Inmersión-comprensión.
- AASHTO T170-82 - Recuperación asfalto Abson.
- AASHTO T110-70 - Humedad o volátiles en mezclas asfálticas.
- AASHTO 308-99 - Contenido asfalto por ignición.
- AASHTO T304-96 - Contenido de vacíos de agregados finos no compactados.
- AASHTO T37-77 - Determinar la Granulometría (filler).
- AASHTO T222-78 – Método de Ensayo Estándar para el Ensayo de Placa de Carga no repetitivo.
- AASHTO T221-77 - Método de Ensayo Estándar para el Ensayo de Placa de Carga Estático.
- AASHTO T274-82 - Obtención del módulo de resiliencia de la subrasante.

#### **NORMAS UNE:**

- UNE 146507-1 - Reactividad álcali-sílice o álcali-silicato en áridos.
- UNE-EN 933-5 - Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 5: Determinación del porcentaje de caras de fractura de las partículas de árido grueso.

## APÉNDICE III

### LÁMINAS TIPO

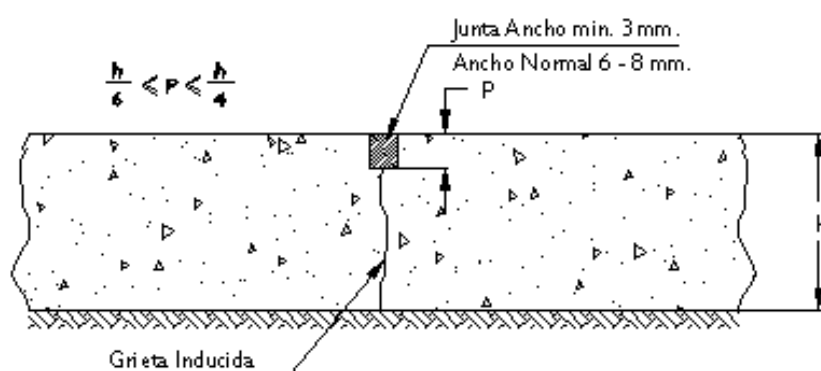


# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

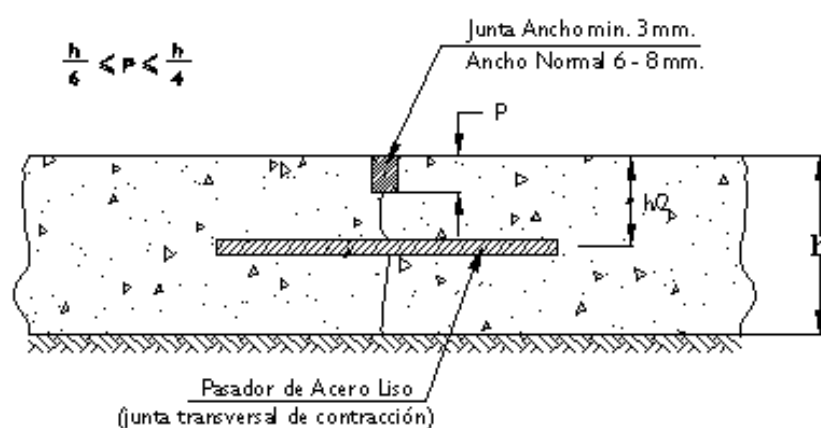
CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

## DETALLES JUNTURAS HCV

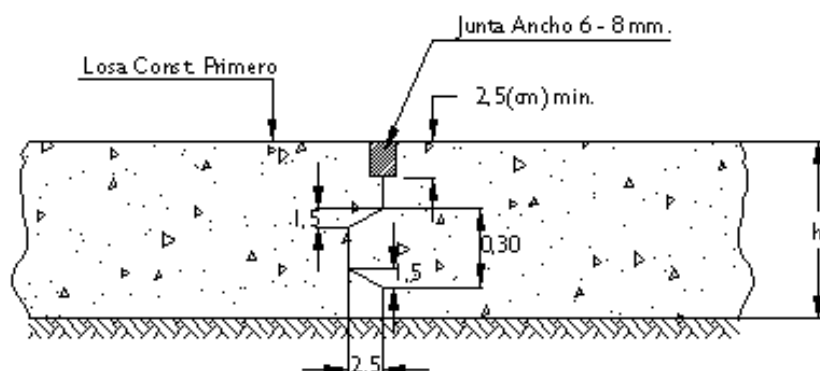
TRABAZON DE AGREGADOS



## JUNTA CON PASADORES



## JUNTA LONGITUDINAL MACHIEMBRADA



CONTENIDO:  
JUNTAS EN PAVIMENTOS DE HORMIGON

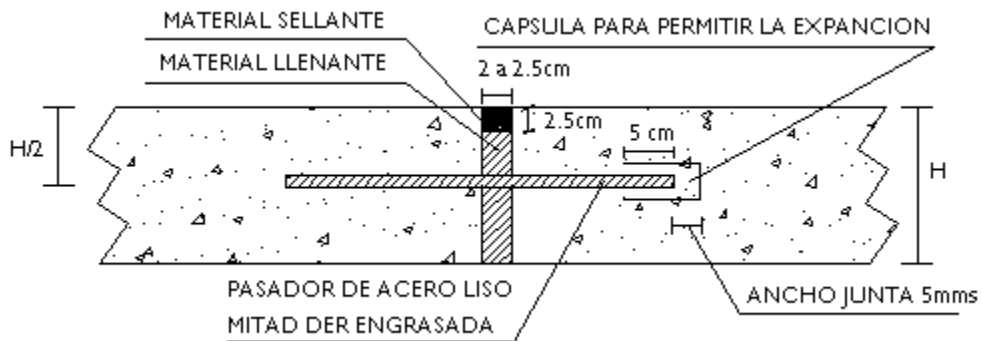
FECHA:  
2008

LAMINA Nº 4.1

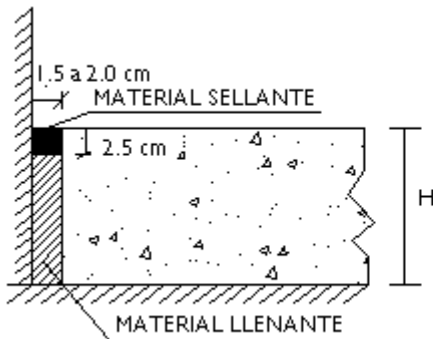


# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

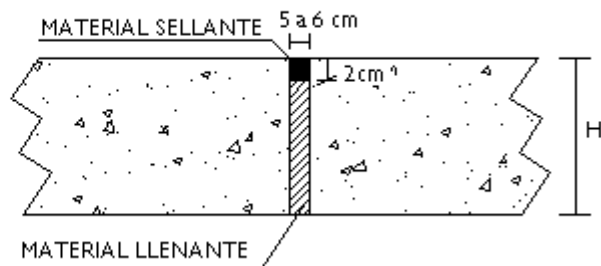
## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



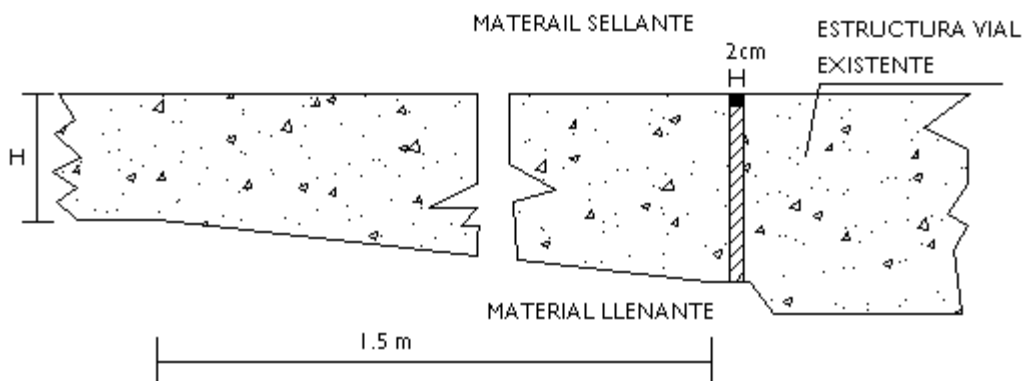
### JUNTA EXPANSION TIPO I



### JUNTA EXPANSION TIPO 2



### JUNTA EXPANSION TIPO 3



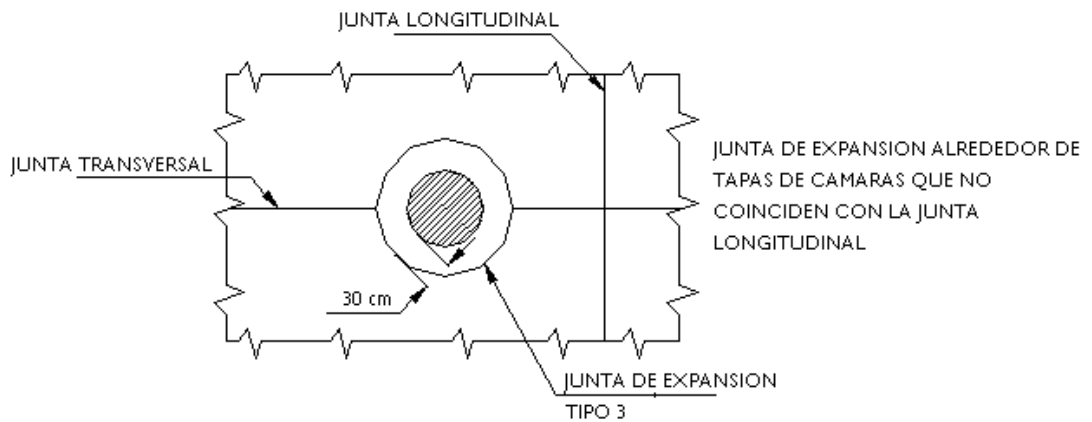
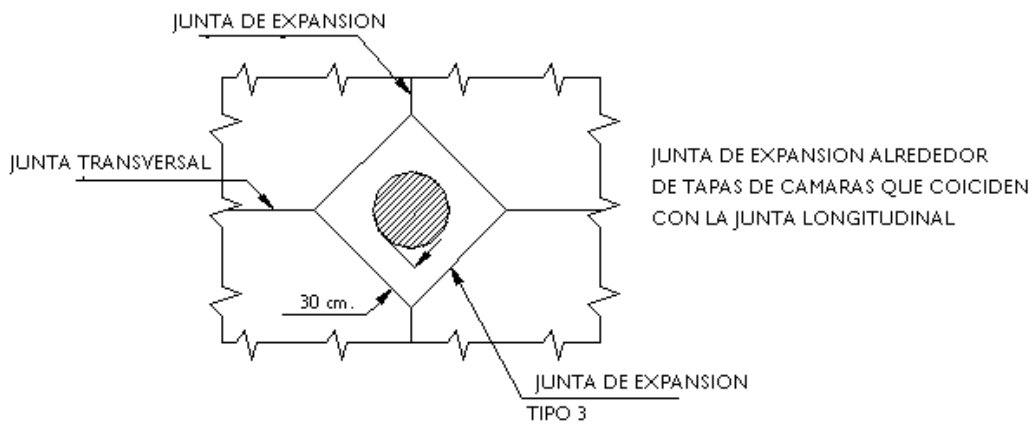
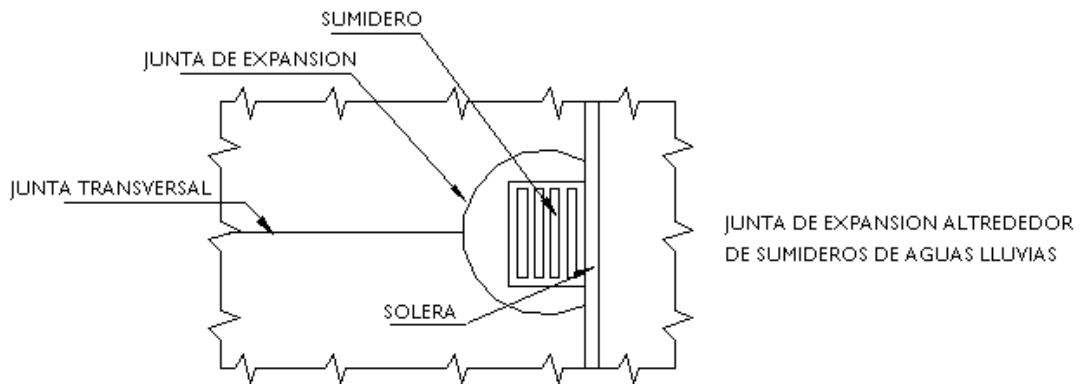
### JUNTA EXPANSION TIPO 4



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

## DETALLE DE JUNTURA HCV



CONTENIDO:  
JUNTAS EN PAVIMENTOS DE HORMIGON

FECHA:  
2008

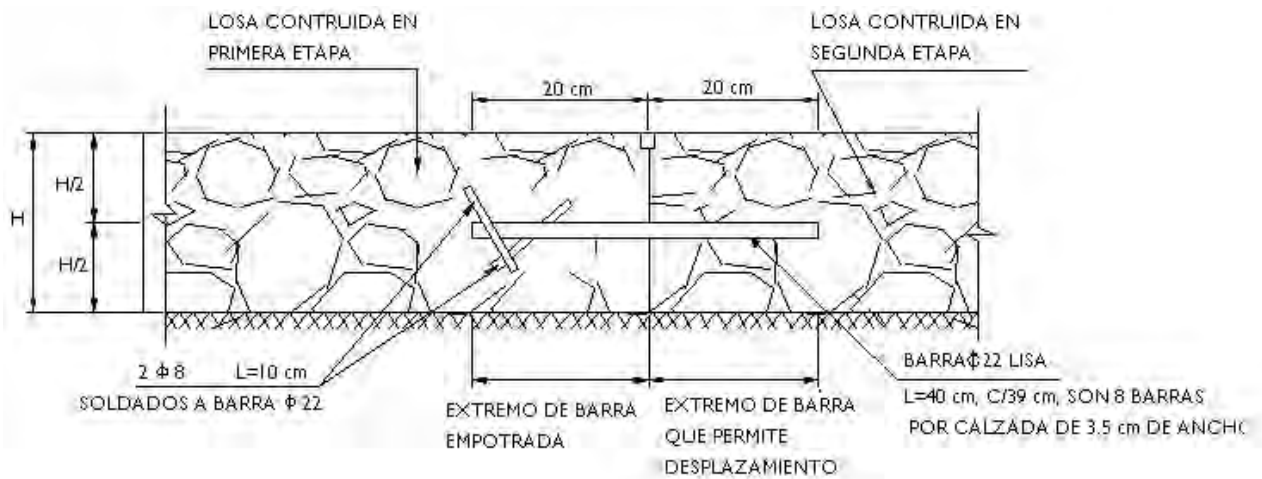
LAMINA Nº 4.3





# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



### ESPECIFICACIONES TECNICAS:

1. ACERO A 440-280 H
2. EL EXTREMO DE LA BARRA QUE QUEDARA INSERTA EN LA LOSA QUE SE CONTRUYE EN LA 2ª ETAPA SE DEJA EMBEBIDO EN GRASA Y ENVUELTA EN POLIETILENO, EL CUAL SE RETIRARA AL MOMENTO DE VACIADO EL HORMIGON.

#### CUBICACION

1. BARRA LISA  $\phi 22$  Kg/CALZADA DE 3.5 m : 9.54
2. BARRA CON RESALTE  $\phi 8$  Kg/CALZADA DE 3.5 m : 0.63

CONTENIDO:  
DETALLE JUNTA DE CONSTRUCCION

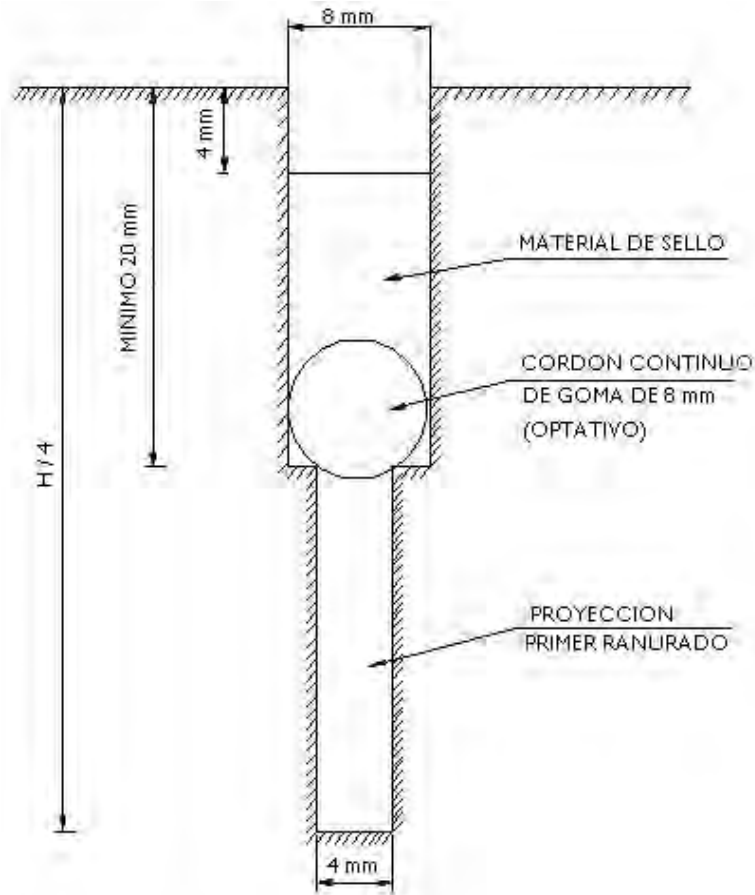
FECHA:  
2008

LAMINA Nº 4.4



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



## ESPECIFICACIONES TECNICAS

1. PRIMER RANURADO DE PROFUNDIDAD  $H/4$  Y ANCHO 4mm.
2. RANURADO DE PROFUNDIDAD MINIMA 20 mm Y ANCHO 8 mm.

CUBICACION
1. MATERIAL DE SELLO L / m : 0.08
2. CORDON DE GOMA m / m : 1.0

CONTENIDO:  
DETALLE ASERRADO DE JUNTAS PARA CORDON

FECHA:  
2008

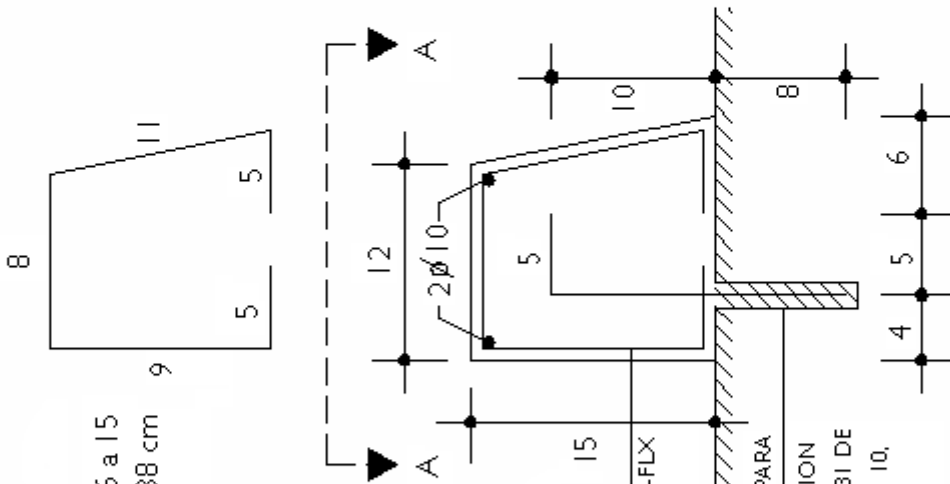
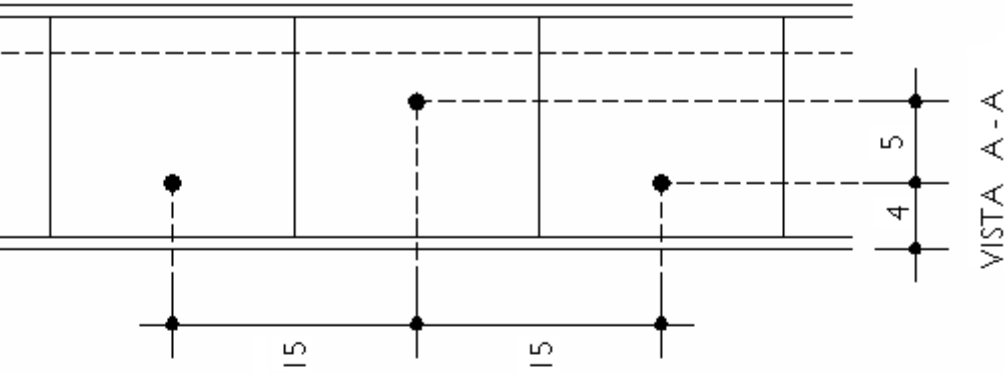
LAMINA Nº 4.5



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

SOLERA HECHA EN SITIO SOBRE CALZADA DE HORMIGON



$E\phi 6$  a 15  
L=38 cm

PUNTEREAR LIMPIAR Y APLICAR

PUENTE DE ADHERENCIA TIPO COLMA-FLX  
32 DE SIKA

PERFORAR CALZADA CON BROCA PARA

HORMIGON Y TALADRO DE PERCUSION

LIMPIAR Y RELLENAR CON SIKADUR 31 DE

SIKA O SIMILAR E INSTALAR BARRA  $\phi 10$ ,  
L=23 cm ALTERNADAS CADA 15 cm

## ESPECIFICACIONES TECNICAS

1. HORMIGON GRADO H-30 CON 20% F.D. Y CONSIDERANDO DOSIS MINIMA DE CEMENTO DE 340 Kg  $\text{cm}^3/\text{m}^3$  PREPARADO CON ARIDO TAMAÑO MAXIMO 3/4".
2. ACERO A 440-280H CON RESALTE SALVO  $D\approx 6\text{mm}$
3. SE DISPONDRAN JUNTAS DE DILATACION COINCIDENTES CON LAS JUNTAS DE LA CALZADA Y DE UN ESPESOR DE 5 mm.
4. EN EL USO DE LOS MATERIALES EPOXIPOS CONSIDERAR LAS INSTRUCCIONES DEL FABRICANTE

## CUBICACION POR ML DE SOLERA

1. HORMIGON $\text{m}^3/\text{m}$	0.025
2. ACERO $\text{Kg}/\text{m}$	0.616
3. PUENTE DE ADHERENCIA $\text{Kg}/\text{m}$	2.19
4. ADHESIVO ANCLAJE $\text{Kg}/\text{m}$	0.30

CONTENIDO:  
SOLERA EN SITIO

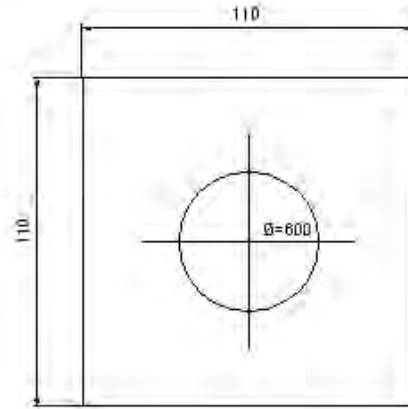
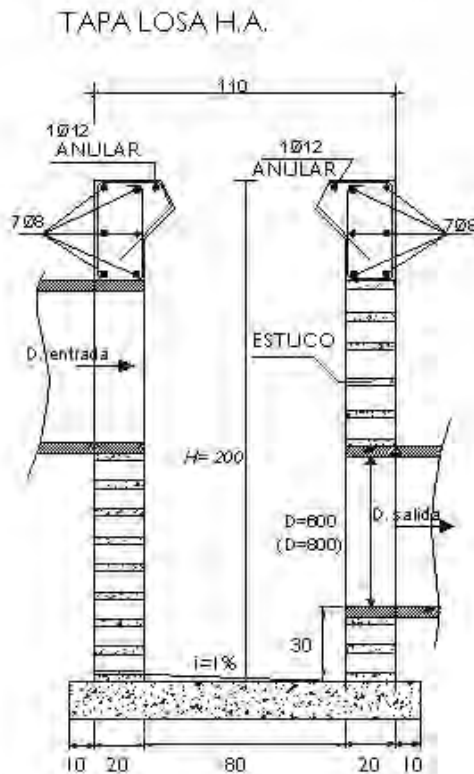
FECHA:  
2008

LAMINA Nº 6.1



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



### ESPECIFICACIONES TECNICAS

1. APOYO EN SUELO NATURAL NO REMOVIDO.
2. VIGAS DE HORMIGON H-30
3. RADIER DE HORMIGON H-25
4. ACERO A 440-280H D= 8 CON RESALTE

### CUBICACION

		H1	H2
1. RADIER			
HORMIGON H-25	m <sup>3</sup>	0.252	0.294
2. HORMIGON ARMADO			
HORMIGON H-30	m <sup>3</sup>	0.176	0.205
T. MAX. 3/4"			
3. ACERO A 440-280H			
D=6mm	Kg	3.6	4.0
D=8	Kg	9.8	11.3
D=12	Kg	1.6	1.8
4. ESTLICO A GRANO PERDIDO (1:3)	GR	GP	GP

CONTENIDO:

CAMARA DE INSPECCION SIFON H<sub>ç</sub> 2 m, D=600 (800)

FECHA:

2008

LAMINA Nº 7.1





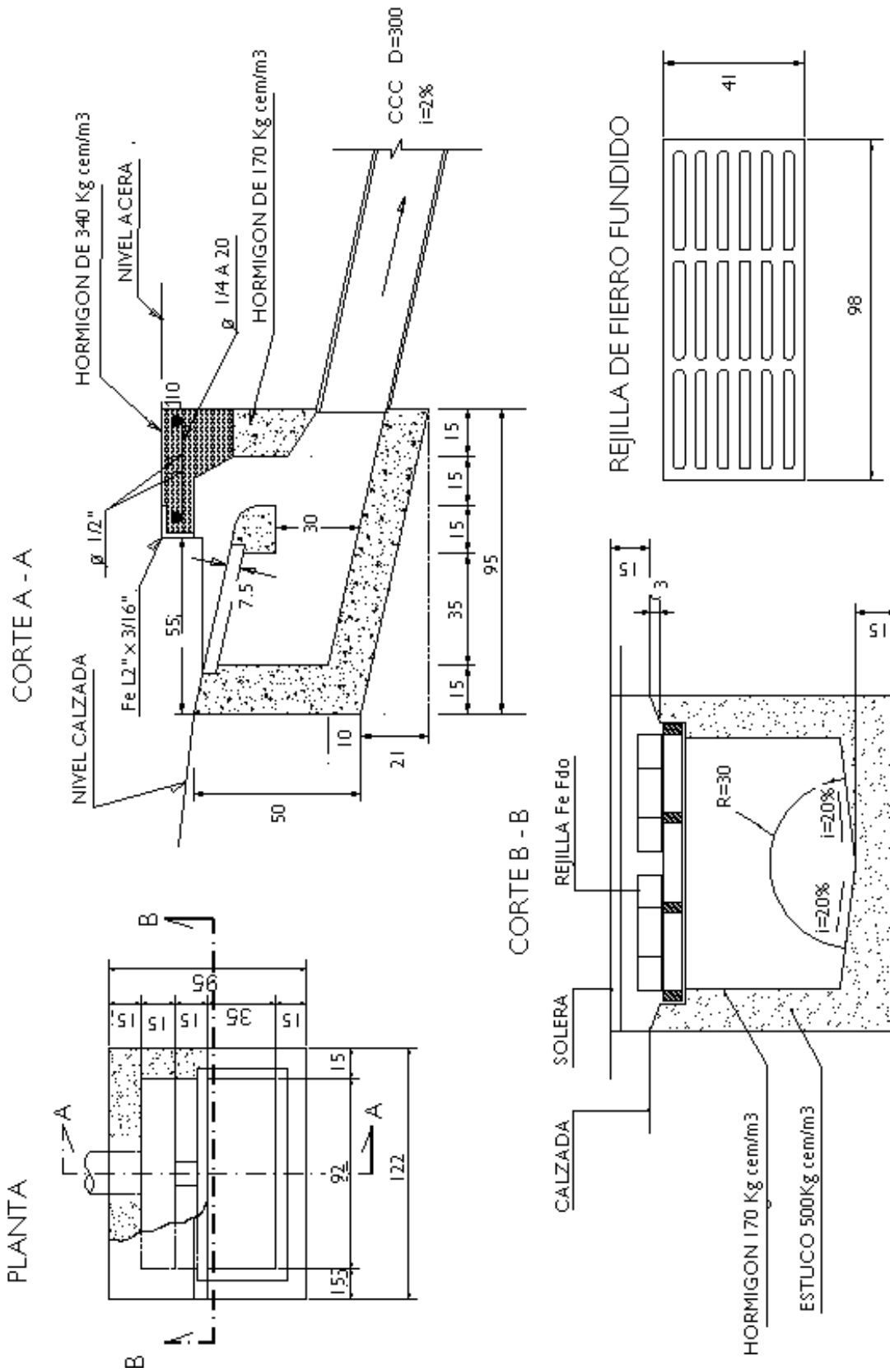




# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

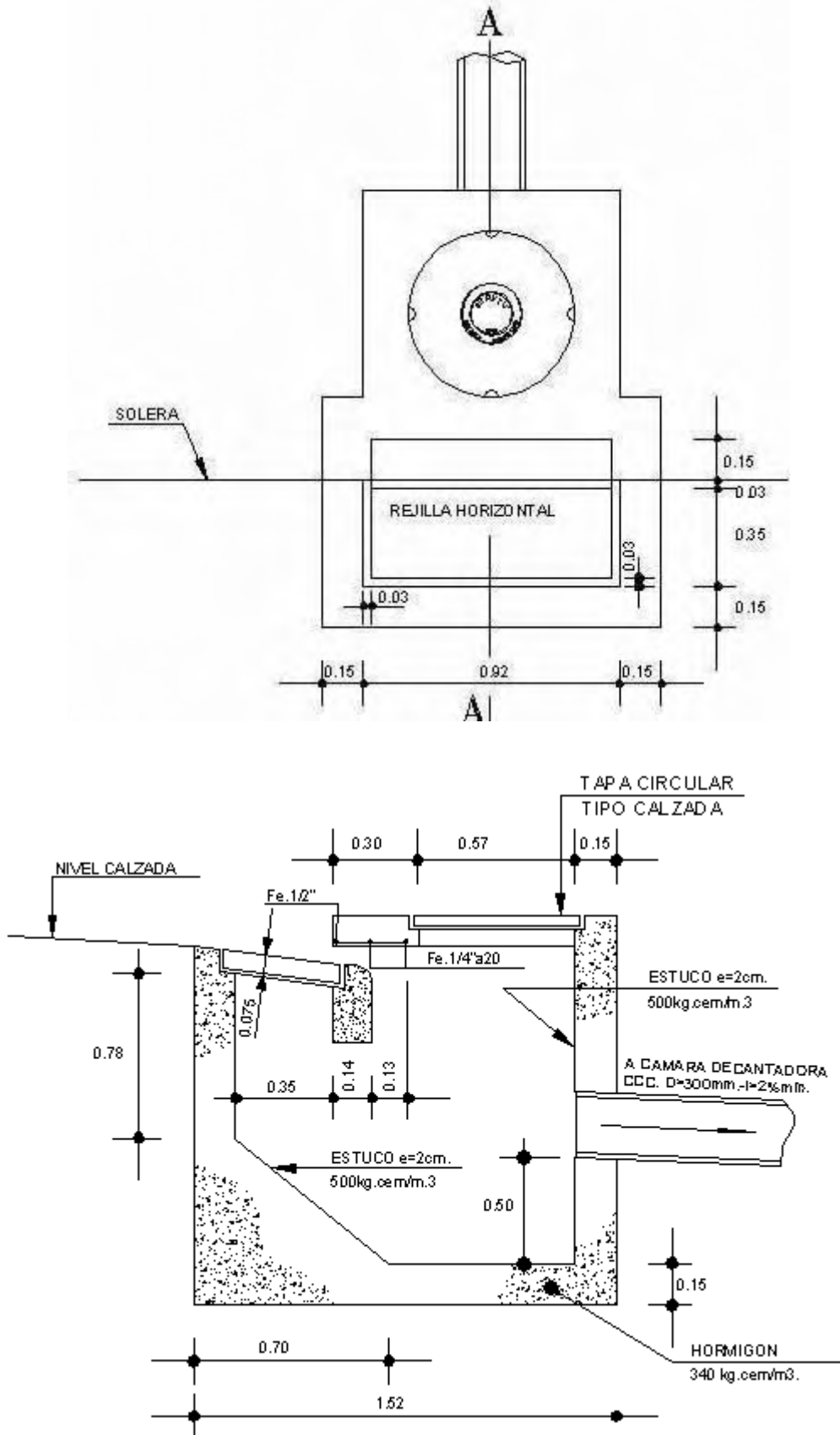
## SUMIDERO TIPO S-I CONECTADO A CAMARA





# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



CONTENIDO:  
SUMIDERO TIPO S2 CON CAMARA DECANTADORA

FECHA:  
2008

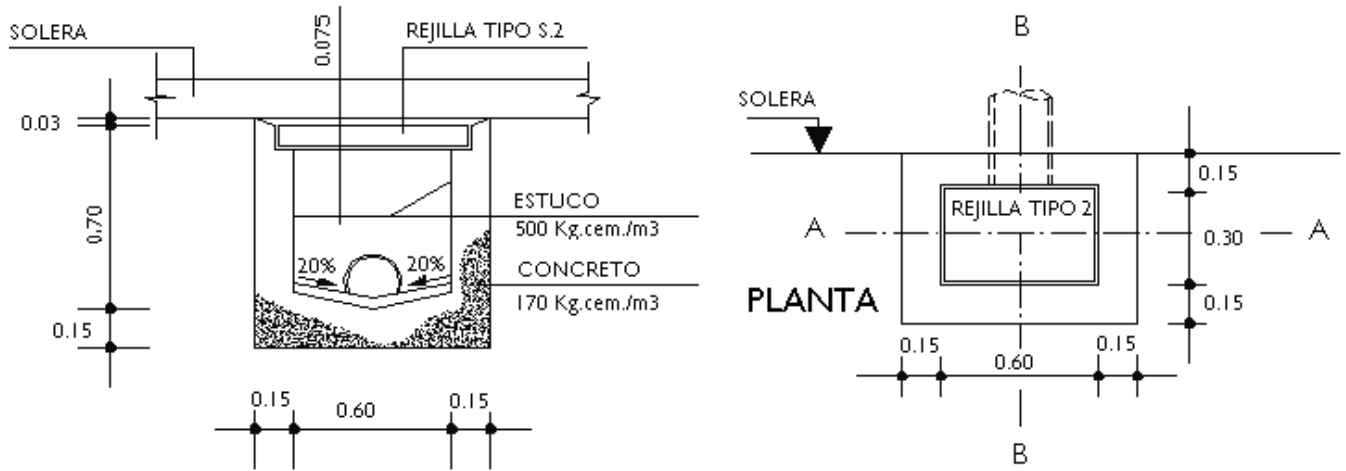
LAMINA Nº 7.4



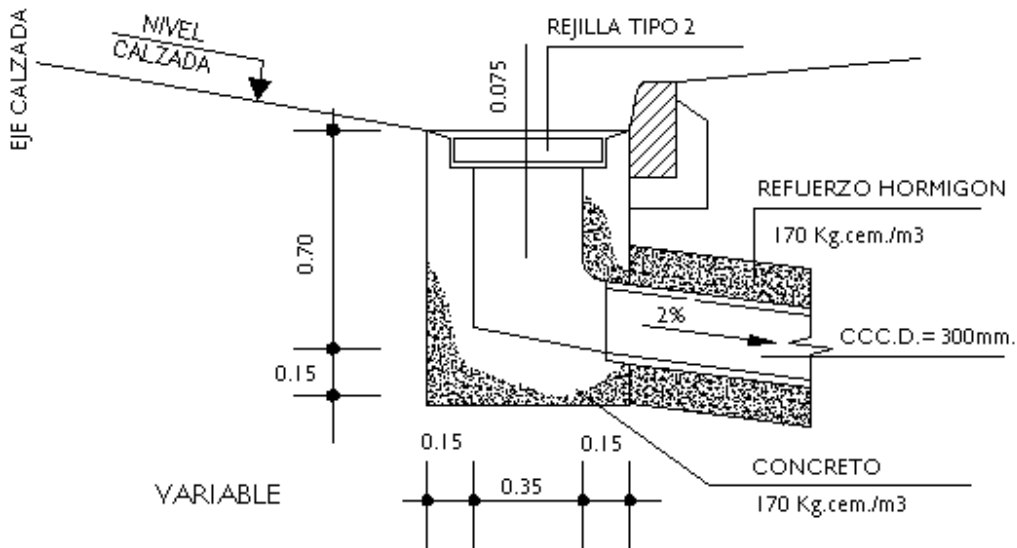
# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

## SUMIDERO TIPO S3 CON CAMARA DECANTADORA



### CORTE A-A



### CORTE B-B

CONTENIDO:  
SUMIDERO TIPO S3 A CAMARA

FECHA:  
2008

LAMINA N° 7.5

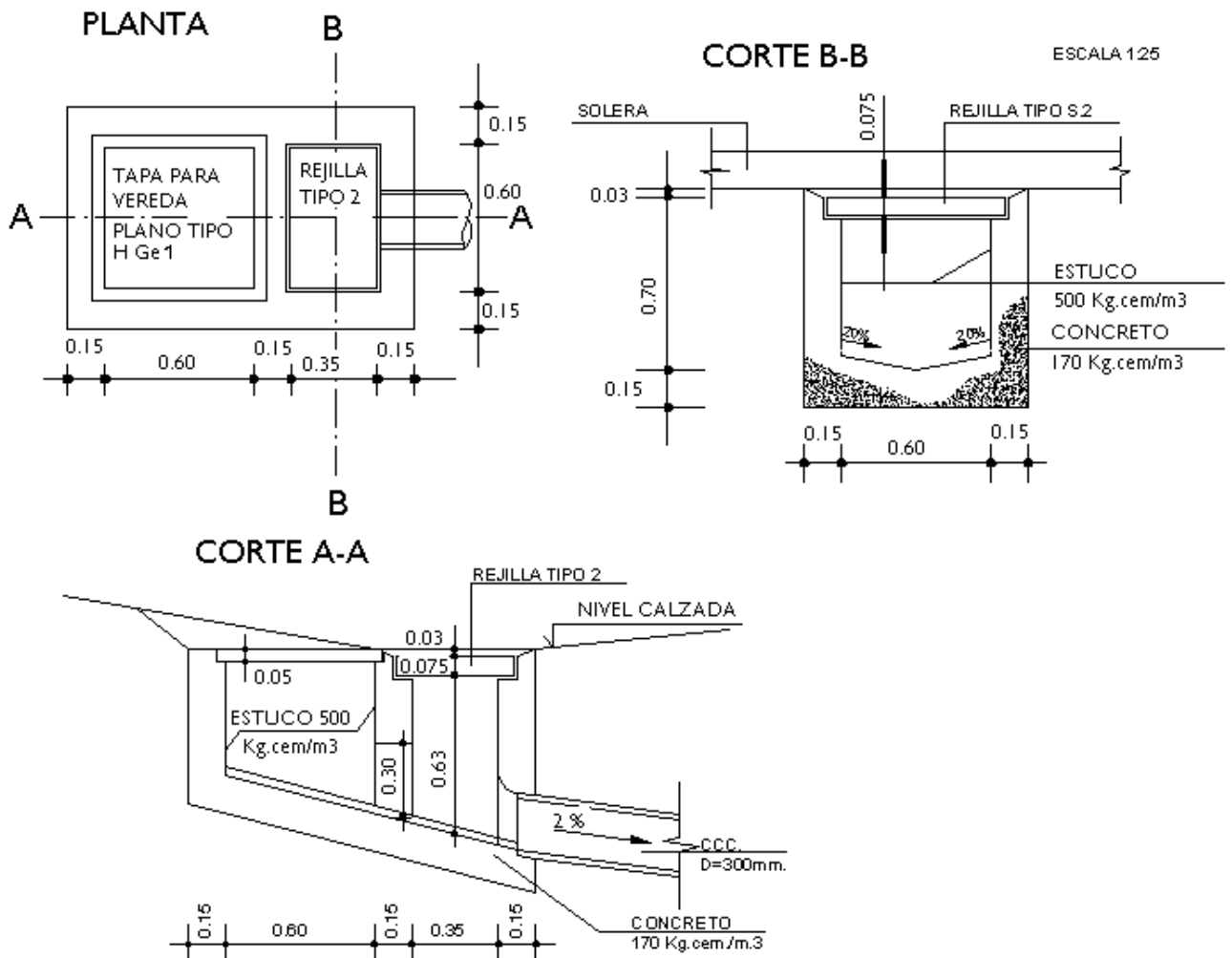




# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

## SUMIDERO TIPO S4 A CAÑERIA



CONTENIDO:  
SUMIDERO TIPO S4 A CAÑERIA

FECHA:  
2008

LAMINA Nº 7.6



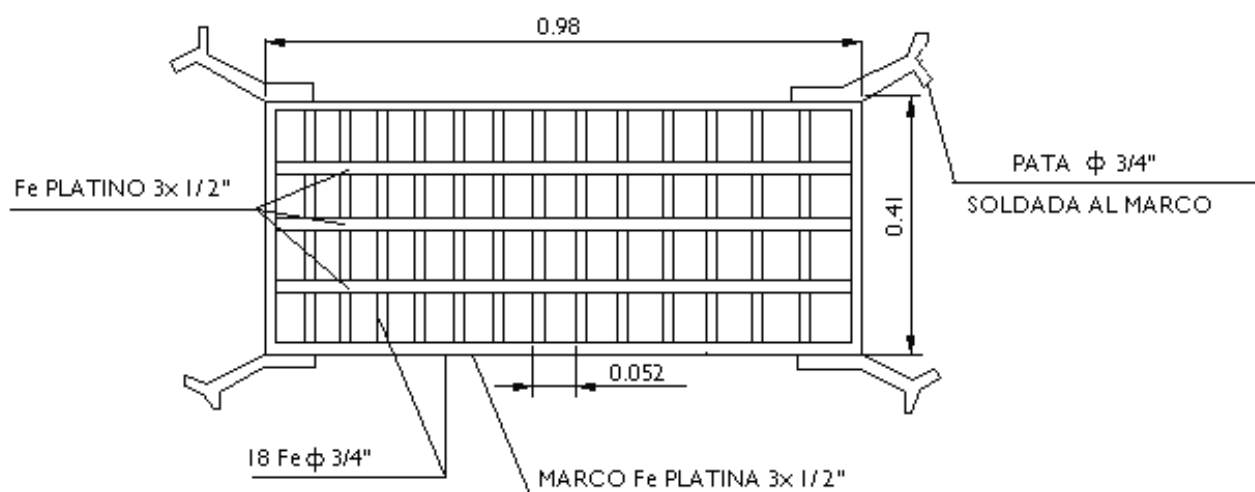
# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

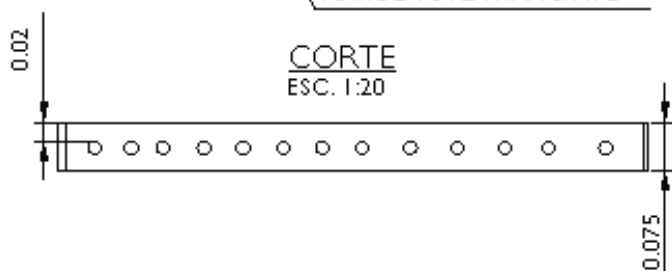
## REJILLA HORIZONTAL PARA SUMIDERO GRANDE

### FIERRO LAMINADO

PLANTA  
ESC. 1:20

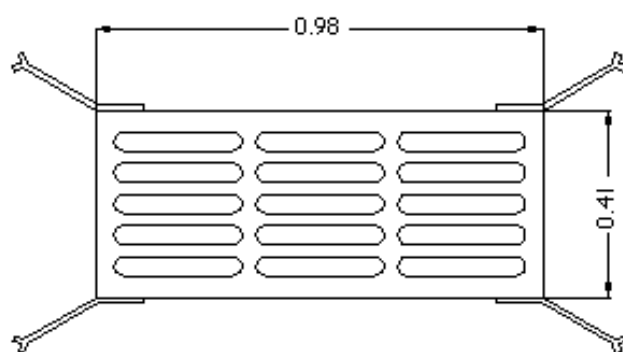


CORTE  
ESC. 1:20

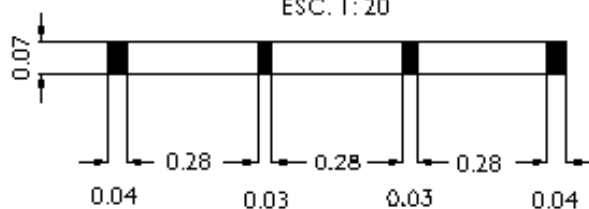


### FIERRO FUNDIDO

PLANTA  
ESC. 1:20



CORTE  
ESC. 1:20



CONTENIDO:  
REJILLA HORIZONTAL PARA SUMIDERO GRANDE

FECHA:  
2008

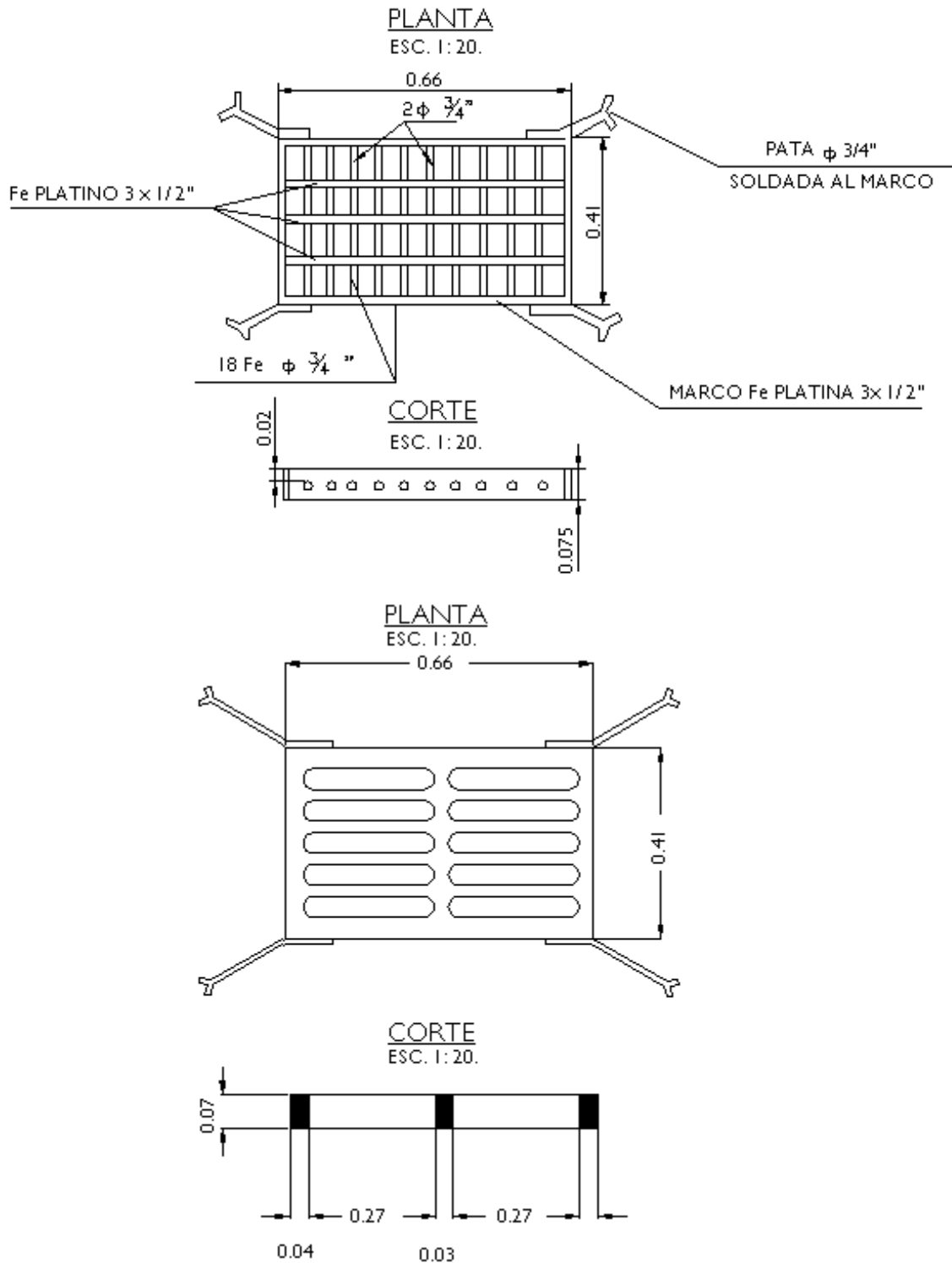
LAMINA Nº 7.7



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

## REJILLA HORIZONTAL PARA SUMIDERO CHICO



CONTENIDO:  
REJILLA HORIZONTAL PARA SUMIDERO CHICO

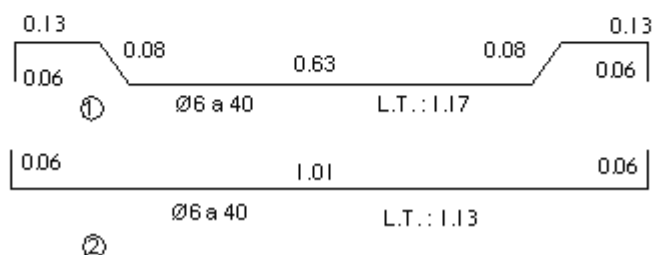
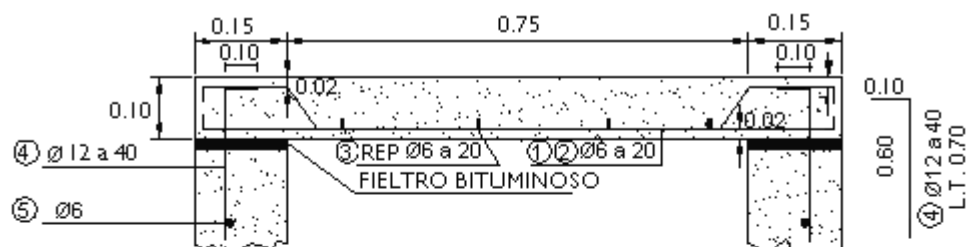
FECHA:  
2008

LAMINA Nº 7.8



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



CUBICACION CANTIDADES POR M.L.						
ACERO A630 - 420H						
N°	Φ	Y	D	L	C	P/U
1	6	a	40	1,17	3	0,29
2	6	a	40	1,13	2	0,28
3	6	a	20	1	5	0,25
4	12	a	40	0,7	5	0,7
5	6			1	7	0,25
SUBTOTAL						6,68
DESPUNTE 5%						0,33
TOTAL						7,01

HORMIGON H-35 90% N.C. (mínimo): 0,105 m<sup>3</sup>

Nota: El diseño propuesto considera el uso peatonal de las aceras, con una carga máxima 500 (Kg/m<sup>2</sup>).

NOTA:

LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH. 204 OF. 2006: ACERO – BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.

LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH. 200 OF. 1974: PRODUCTOS METÁLICOS – ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH. 201 OF. 1968: ACERO – ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm, BARRAS Y PERFILES.

CONTENIDO: LOSA DE HORMIGON ARMADO DE 0.75 m  
DE LUZ PARA ACERAS

FECHA:

2008

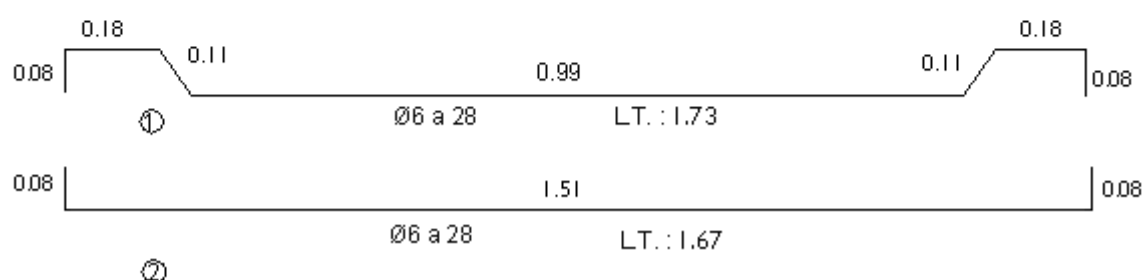
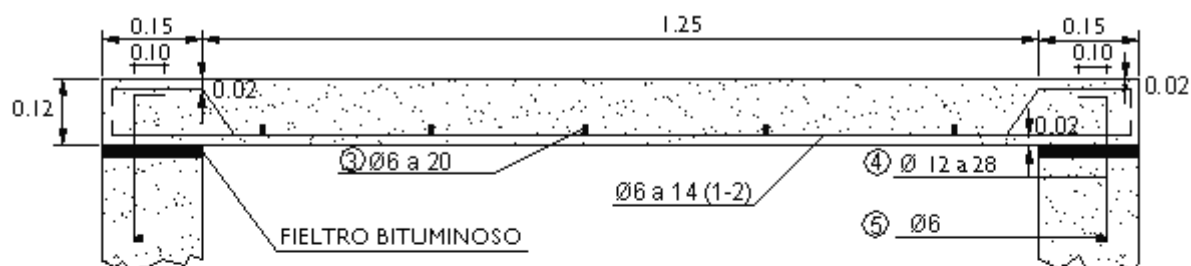
LAMINA N° 7.9





# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



CUBICACION CANTIDADES POR M.L.							
A630 - 420H							
Nº	Φ	Y	D	L	C	P/U	P/T
1	6	a	28	1,73	4	0,41	1,64
2	6	a	28	1,67	3	0,403	1,21
3	6	a	20	1	7	0,25	1,75
4	12	a	28	0,7	7	0,7	4,49
5	6			1	2	0,25	0,5
SUBTOTAL							9,95
DESPUNTE 5%							0,5
TOTAL							10,45

0.10  
0.60  
④ Ø12 a 28  
L.T. 0.70

HORMIGON H-35 90% N.C. (mínimo): 0,19m<sup>3</sup>

Nota: El diseño propuesto considera el uso peatonal de las aceras, con una carga máxima 500 (Kg/m<sup>2</sup>).

NOTA:

LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH. 204 OF. 2006: ACERO - BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.  
LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH. 200 OF. 1974: PRODUCTOS METÁLICOS - ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH. 201 OF. 1968: ACERO - ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm, BARRAS Y PERFILES.

CONTENIDO: LOSA DE HORMIGON ARMADO DE 1.25 m DE LUZ PARA ACERAS

FECHA:

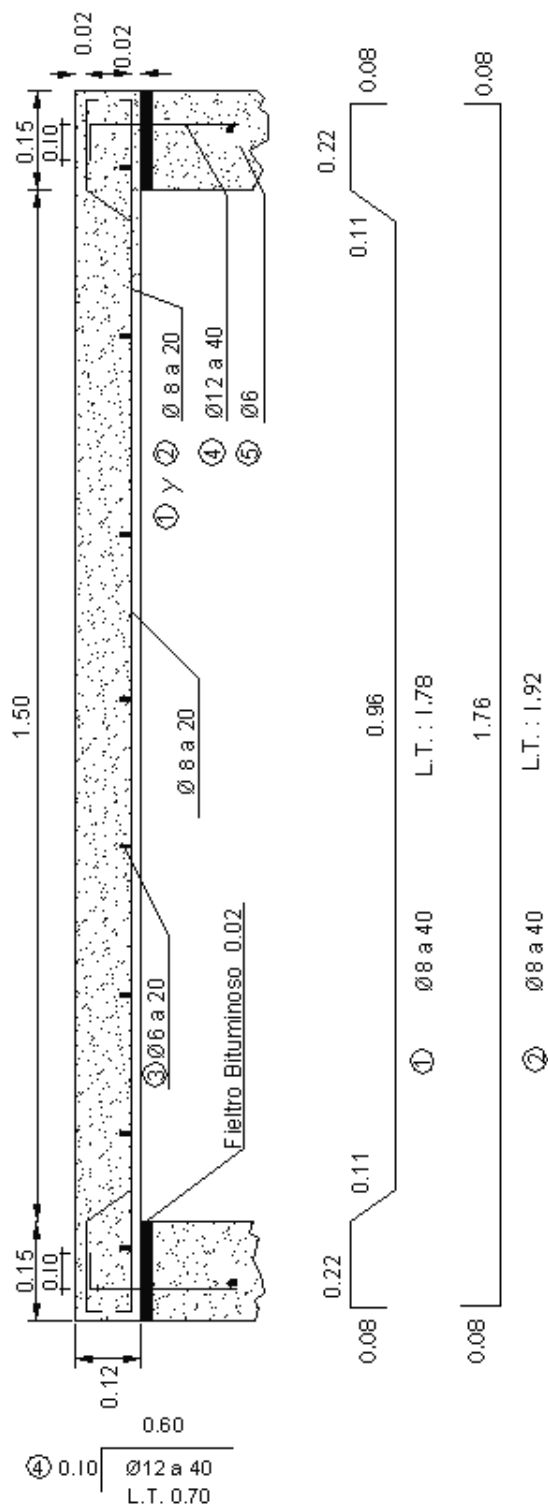
2008

LAMINA Nº 7.10



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



CUBICACION CANTIDADES POR M.L.						
ACERO A630 - 420H						
Nº	Φ	Y	D	L	C	P/U
1	8	a	40	1.78	3	0,8
2	8	a	40	1.92	2	0,77
3	6	a	20	1	8	0,25
4	12	a	40	0,6	5	0,6
5	6			1	2	0,25
SUBTOTAL						10,94
DESPUNTE 5%						0,55
TOTAL						11,49

Nota: El diseño propuesto considera el uso peatonal de las aceras, con una carga máxima 500 (Kg/m<sup>2</sup>).

HORMIGON H-35 90% N.C.(mínimo) : 0,214 m<sup>3</sup>

NOTA:  
 LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH. 204 OF. 2006: ACERO – BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.  
 LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH. 200 OF. 1974: PRODUCTOS METÁLICOS – ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH. 201 OF. 1968: ACERO – ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm, BARRAS Y PERFILES.

CONTENIDO: LOSA DE HORMIGON ARMADO DE 1.50 m DE LUZ PARA ACERAS

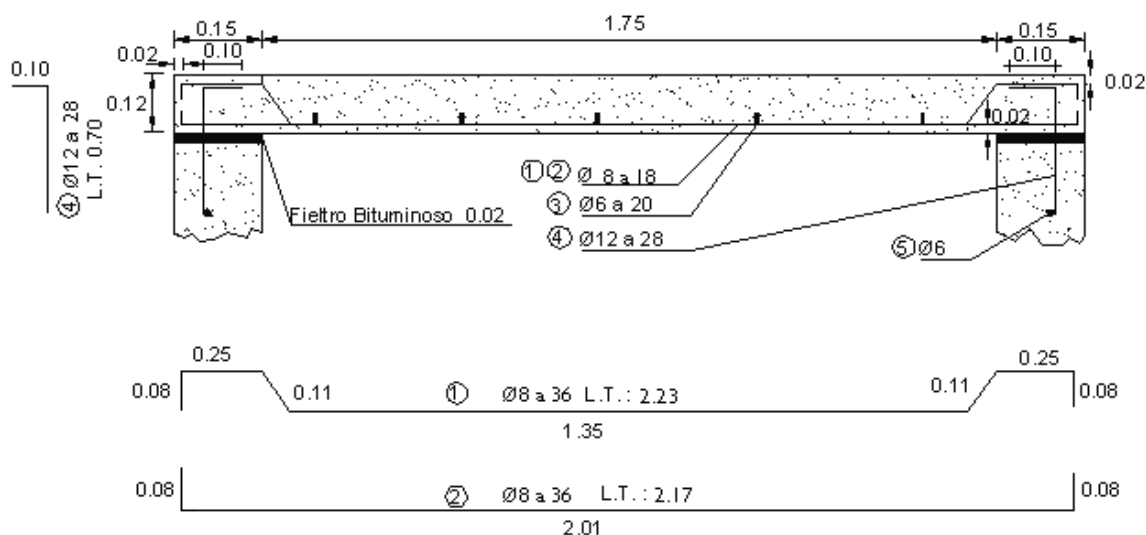
FECHA: 2008

LAMINA Nº 7.11



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



CUBICACION CANTIDADES POR M.L.						
ACERO A630 - 420H						
Nº	Φ	Y	D	L	C	P/U
1	8	a	36	2,23	6	0,89
2	8	a	36	2,17	5	0,87
3	6	a	20	1	11	0,25
4	12	a	28	0,7	4	0,7
5	6			1	2	0,25
SUBTOTAL						15,74
DESPUNTE 5%						0,79
TOTAL						16,53

HORMIGON EN LOSA H-35 90% N.C. (mínimo): 0.25m<sup>3</sup>

Nota: El diseño propuesto considera el uso peatonal de las aceras, con una carga máxima 500 (Kg/m<sup>2</sup>).

### NOTA:

LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH. 204 OF. 2006: ACERO – BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.  
LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH. 200 OF. 1974: PRODUCTOS METÁLICOS – ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH. 201 OF. 1968: ACERO – ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm, BARRAS Y PERFILES.

**CONTENIDO:** LOSA DE HORMIGON ARMADO DE 1.75 m DE LUZ PARA ACERAS

**FECHA:**

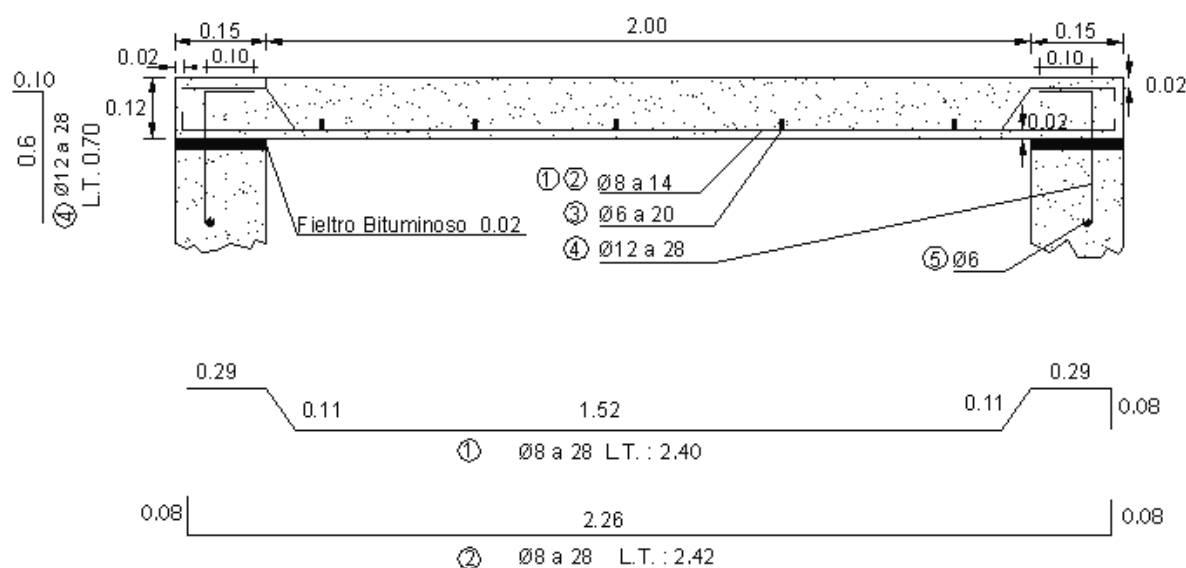
2008

**LAMINA Nº** 7.12



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



CUBICACION						
CANTIDADES POR M.L.						
ACERO A630 - 420H						
Nº	Φ	Y	D	L	C	P/U
1	8	a	28	2,40	4	0,93
2	8	a	28	2,42	3	0,94
3	6	a	20	1	13	0,25
4	12	a	28	0,7	7	0,7
5	6			1	2	0,25
SUBTOTAL						15,29
DESPUNTE 5%						0,76
TOTAL						16,05

HORMIGON EN LOSA H-35 90% N.C. (mínimo): 0.28m<sup>3</sup>

Nota: El diseño propuesto considera el uso peatonal de las aceras, con una carga máxima 500 (Kg/m<sup>2</sup>).

**NOTA:**

LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH. 204 OF. 2006: ACERO – BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.  
 LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH. 200 OF. 1974: PRODUCTOS METÁLICOS – ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH. 201 OF. 1968: ACERO – ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm, BARRAS Y PERFILES.

**CONTENIDO:** LOSA DE HORMIGON ARMADO DE 2.00 m DE LUZ PARA ACERAS

**FECHA:**

2008

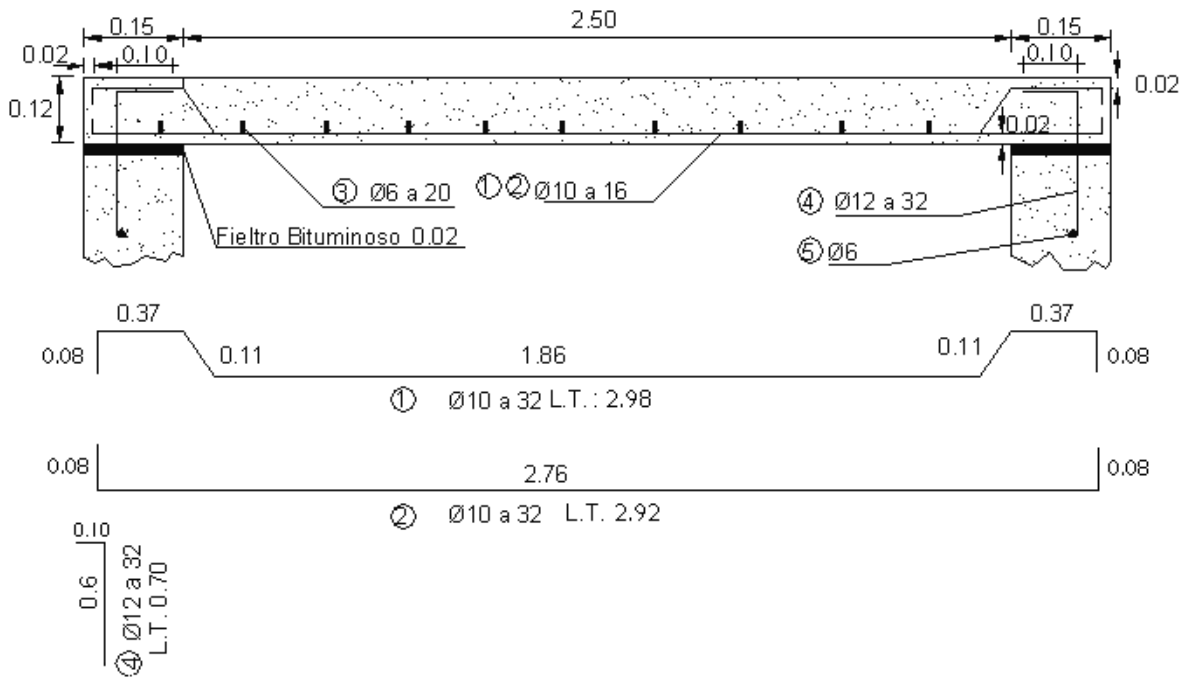
**LAMINA Nº 7.13**





# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



HORMIGON EN LOSA H-35 90% N.C. (mínimo): 0.34m<sup>3</sup>

CUBICACION							
CANTIDADES POR M.L.							
ACERO A630 - 420H							
Nº	Φ	Y	D	L	C	P/U	P/T
1	10	a	32	2.98	3	1,97	5,91
2	10	a	32	2.92	3	1,93	5,79
3	6	a	20	1	15	0,25	3,75
4	12	a	32	0,7	6	0,7	4,2
5	6			1	2	0,25	0,5
SUBTOTAL							20,15
DESPUNTE 5%							1,05
TOTAL							21,2

NOTA:

LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH. 204 OF. 2006: ACERO – BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.  
 LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH. 200 OF. 1974: PRODUCTOS METÁLICOS – ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH. 201 OF. 1968: ACERO – ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm, BARRAS Y PERFILES.

**CONTENIDO:** LOSA DE HORMIGON ARMADO DE 2.50 m DE LUZ PARA ACERAS

**FECHA:**

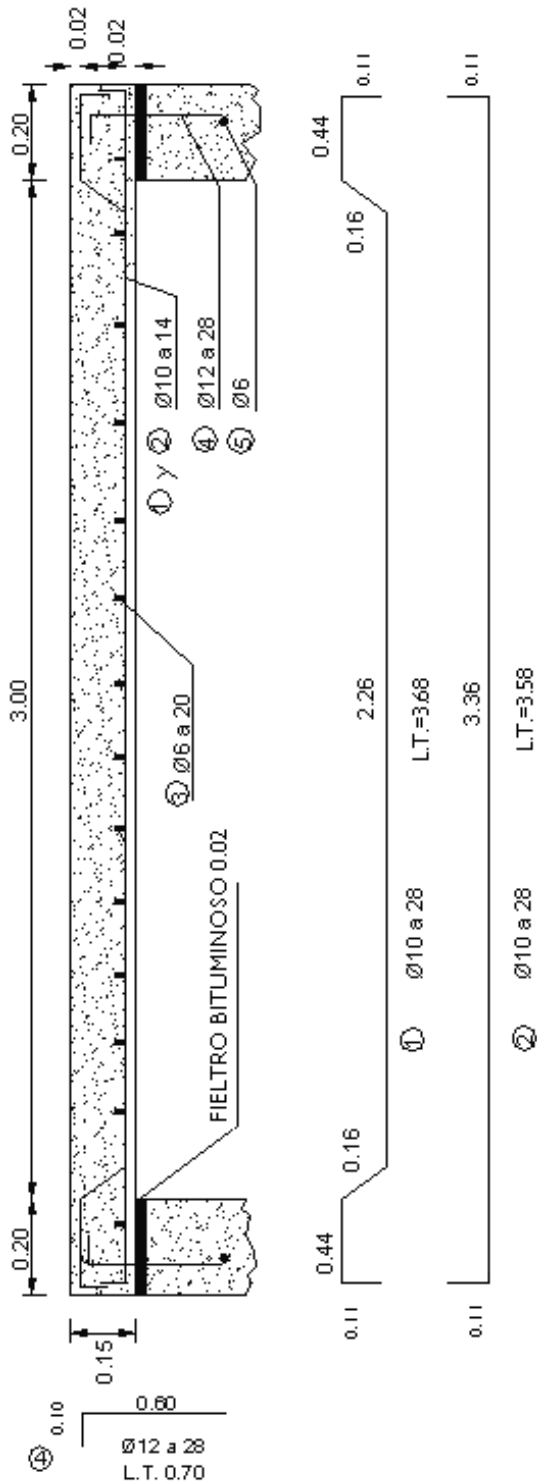
2008

**LAMINA Nº 7.14**



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



CUBICACION CANTIDAD POR ml							
ACERO A 630-420H							
Nº	Φ	Y	D	L	C	P/U	P/T
1	10	a	28	3,68	4	2,42	9,68
2	10	a	28	3,58	3	2,35	7,05
3	6	a	20	1	18	0,25	4,5
4	12	a	28	0,7	7	0,7	4,9
5	6			1	2	0,25	0,5
SUBTOTAL							26,63
DESPUNTE 5 %							1,33
TOTAL							27,86

HORMIGONES:

A) LOSA Y CARPETA DE RODADO DE 0.08

HORMIGON H-35 90%N.C. (minimo) 0.51 [m3].

CONTENIDO: LOSA DE HORMIGON ARMADO DE 3.00 m  
DE LUZ PARA ACERAS

FECHA:

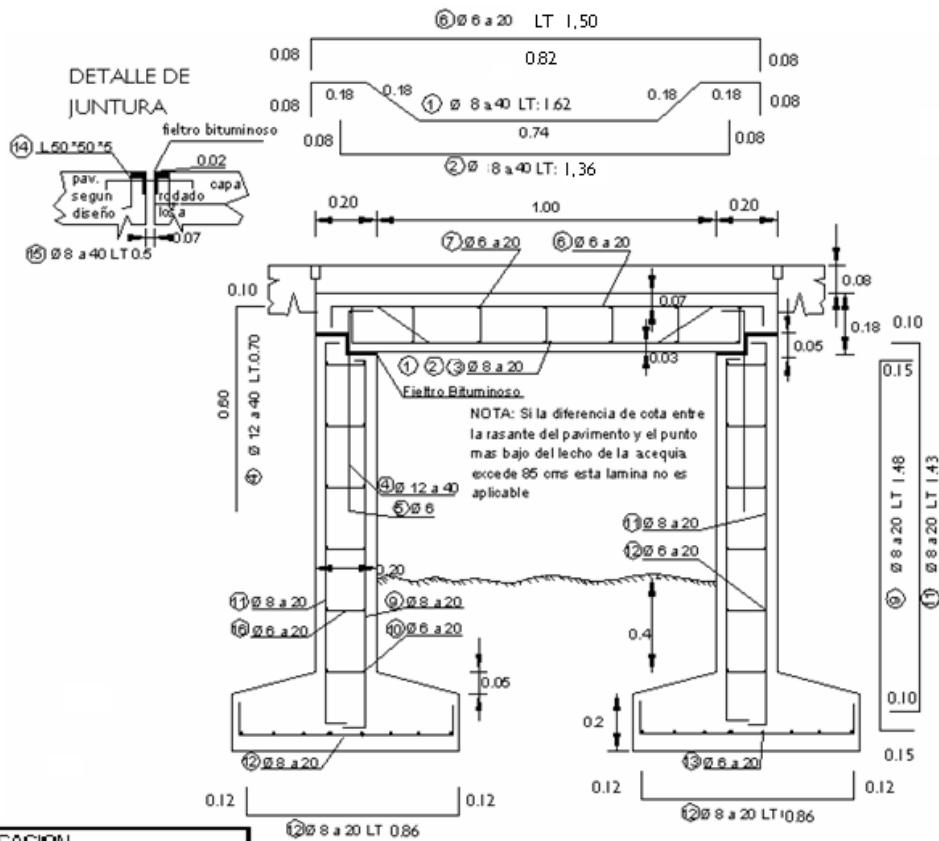
2008

LAMINA Nº 7.15



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



CUBICACION CANTIDADES FORM.L.						
ACERO A 630-420 H						
Nº	Ø	Y	D	L	C	P/M
1	8	a	40	1,62	5	0,8
2	8	a	40	1,36	5	0,66
3	8	a	20	1	9	0,4
4	12	a	40	0,2	4	0,2
5	6			1	2	0,25
6	6	a	20	1,50	5	0,25
7	6	a	20	1	9	0,25
8	6	a	20	0,26	45	0,07
9	8	a	20	1,48	10	0,47
10	6	a	20	1	24	0,25
11	8	a	20	1,43	10	0,49
12	8	a	20	0,86	10	0,25
13	6	a	20	1	8	0,25
14	150	50	5	1	4	3,8
15	8	a	40	0,5	8	0,2
16	6	a	20	0,77	60	0,06
SUBTOTAL						61,4
DESPUNTE 5%						3,07
TOTAL						64,47

### HORMIGONES

A) LOSA Y CARPETA DE RODADO DE 0.08

H-35 90% N.C. (minimo) 0.34m<sup>3</sup>

B) MUROS Y ZAPATAS

H-35 90% N.C. (minimo) 0.76m<sup>3</sup>

### NOTA:

LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH. 204 OF. 2006: ACERO – BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO. LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH. 200 OF. 1974: PRODUCTOS METÁLICOS – ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH. 201 OF. 1968: ACERO – ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm, BARRAS Y PERFILES.

NOTA: EL DISEÑO PROPUESTO CONSIDERA UNA CARGA PUNTUAL MÁXIMA DE 5,5 [T]

CONTENIDO: LOSA DE HORMIGON ARMADO DE 1.00 m DE LUZ PARA CALZADAS

FECHA:

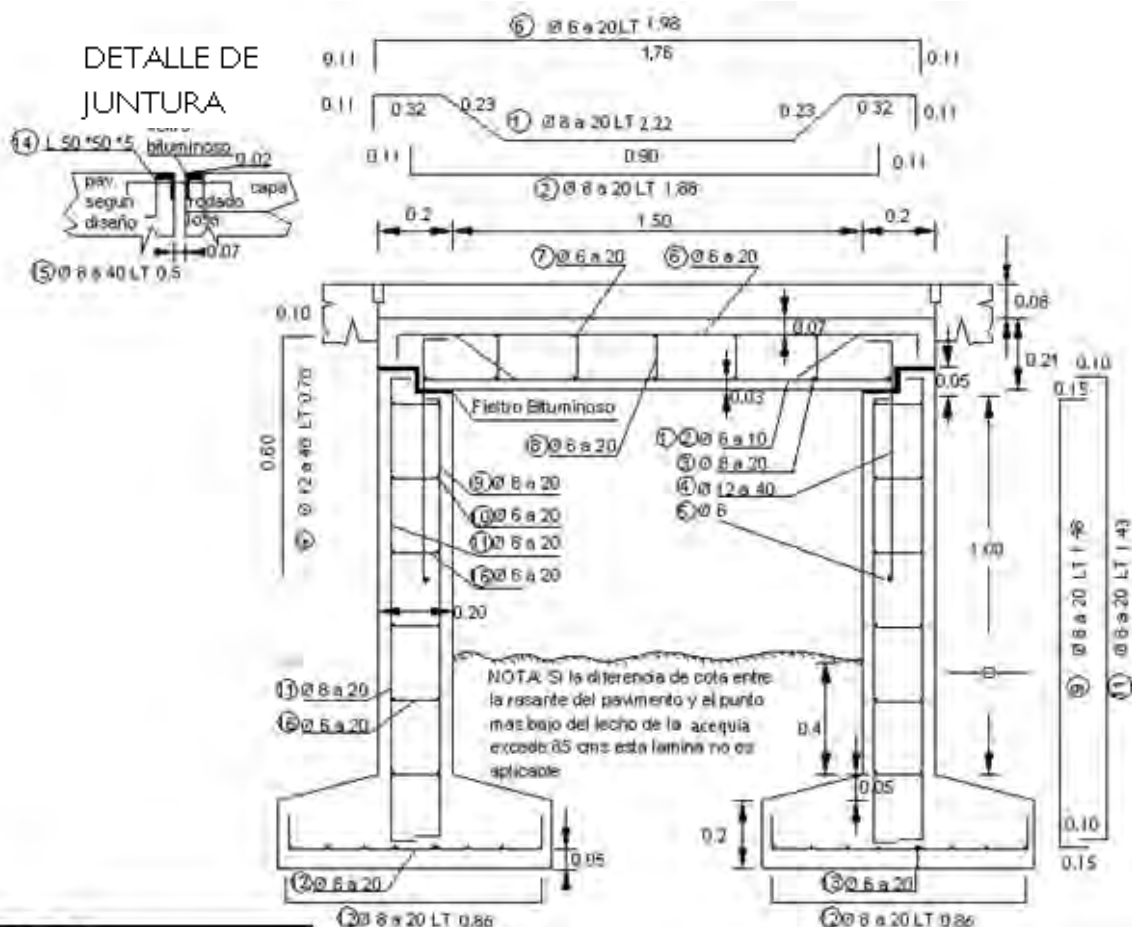
2008

LAMINA Nº 7.16



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



CUBICACION CANTIDADES FORM.L.							
ACERO A 630-420 H							
Nº	Ø	Y	D	L	C	P/U	PYT
1	8	a	20	2.22	5	0.8	4
2	8	a	20	1.88	5	0.66	3.3
2	8	a	20	1	9	0.4	3.6
4	12	a	40	0.2	4	0.2	2.8
5	6			1	2	0.25	0.5
6	6	a	20	1.98	5	0.47	2.35
7	8	a	20	1	9	0.25	2.25
8	8	a	20	0.26	45	0.07	3.15
9	8	a	20	1.46	10	0.47	4.7
10	8	a	20	1	24	0.25	6
11	8	a	20	1.43	10	0.49	4.9
12	8	a	20	0.86	10	0.25	2.5
13	6	a	20	1	8	0.25	2
14	150	50	5	1	4	3.8	15.2
15	Ø	a	40	0.5	8	0.2	1.6
16	8	a	20	0.77	60	0.06	3.6
<b>SUBTOTAL</b>							<b>62.5</b>
<b>DESPUNTE 5%</b>							<b>3.12</b>
<b>TOTAL</b>							<b>65.57</b>

### HORMIGONES:

- A) LOSA Y CARPETÁ DE RODADO DE 0.08  
HORMIGON H-35 90% N.C. (minimo): 0.55[M3]
- B) MUROS Y ZAPATAS  
HORMIGON H-35 90% N.C. (minimo): 0.76[M3]

### NOTA:

LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH. 204 OF. 2006: ACERO – BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.  
LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH. 200 OF. 1974: PRODUCTOS METÁLICOS – ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH. 201 OF. 1968: ACERO – ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm, BARRAS Y PERFILES.

NOTA: EL DISEÑO PROPUESTO CONSIDERA UNA CARGA PUNTUAL MAXIMA DE 4.0 [T]

**CONTENIDO:** LOSA DE HORMIGON ARMADO DE 1.50 m  
DE LUZ PARA CALZADAS

**FECHA:**

2008

**LAMINA Nº 7.17**









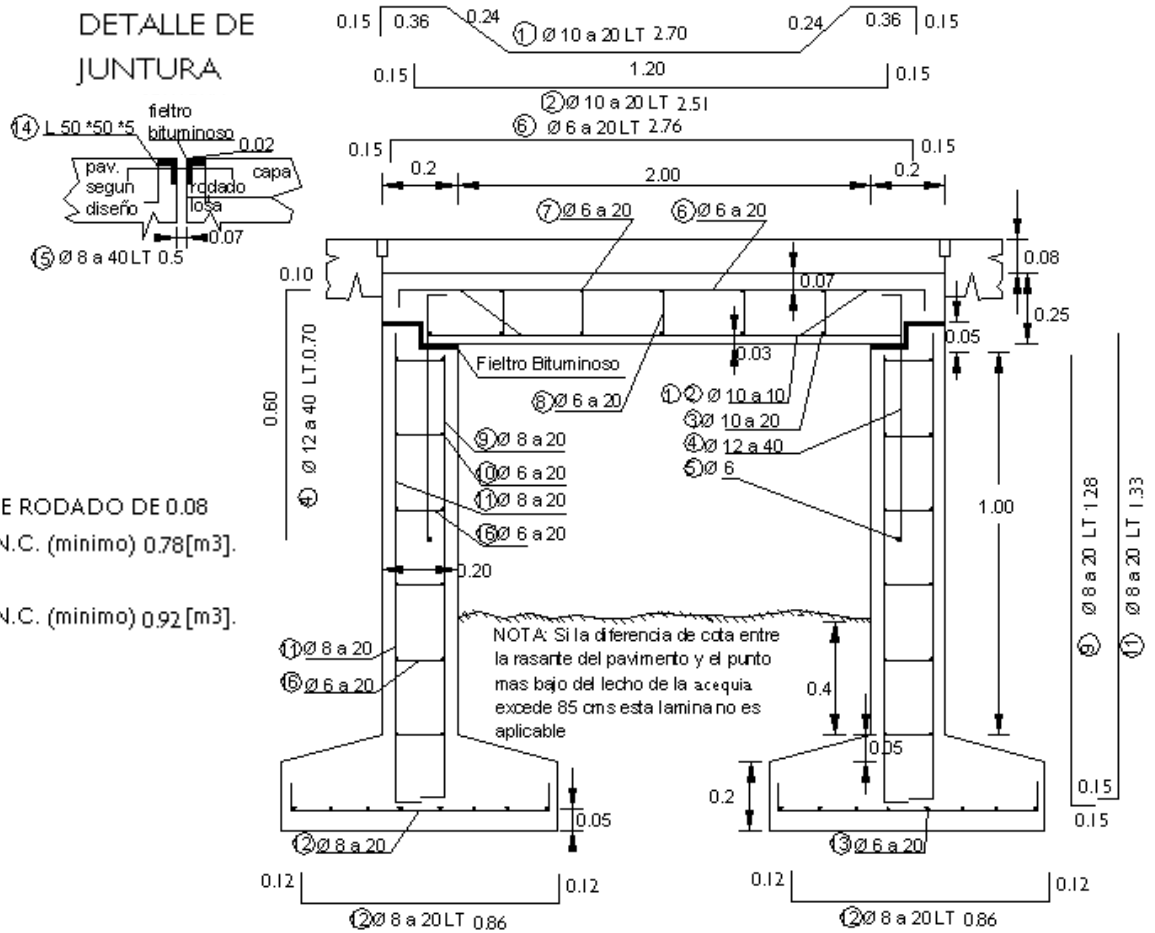




# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

### DETALLE DE JUNTURA



#### HORMIGONES:

- A) LOSA Y CARPETA DE RODADO DE 0.08  
HORMIGON H-35 90%N.C. (minimo) 0.78[m3].
- B) MUROS Y ZAPATAS  
HORMIGON H-35 90%N.C. (minimo) 0.92 [m3].

CUBICACION CANTIDADES POR M.L.							
ACERO A 630-420H							
Nº	Ø	Y	D	L	C	P/U	P/T
1	10	a	20	2.70	10	1,82	18,2
2	10	a	20	2.51	10	1,54	15,4
3	10	a	10	1	13	0,7	9,1
4	12	a	40	0,7	4	0,7	2,8
5	6			1	2	0,25	0,5
6	6	a	20	2.76	5	0,64	3,2
7	6	a	20	1	13	0,25	3,25
8	6	a	20	0,3	65	0,08	5,2
9	8	a	20	1.28	10	0,47	4,7
10	6	a	20	1	24	0,25	6
11	8	a	20	1.33	10	0,49	4,9
12	8	a	20	0.86	10	0,31	3,1
13	6	a	20	1	8	0,25	2
14	L50	*	50*5	1	4	3,8	15,2
15	8	a	40	0,5	8	0,2	1,6
16	6	a	20	0,31	65	0,08	5,2
SUBTOTAL							100,4
DESPUNTE 5%							5
TOTAL							105,4

#### NOTA:

LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH. 204 OF. 2006: ACERO – BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO. LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH. 200 OF. 1974: PRODUCTOS METÁLICOS – ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH. 201 OF. 1968: ACERO – ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm, BARRAS Y PERFILES.

#### NOTA:

EL DISEÑO PROPUESTO CONSIDERA UNA CARGA PUNTUAL MAXIMA DE 60 [T]

CONTENIDO: LOSA DE HORMIGON ARMADO DE 2.00 m DE LUZ PARA CALZADAS

FECHA:

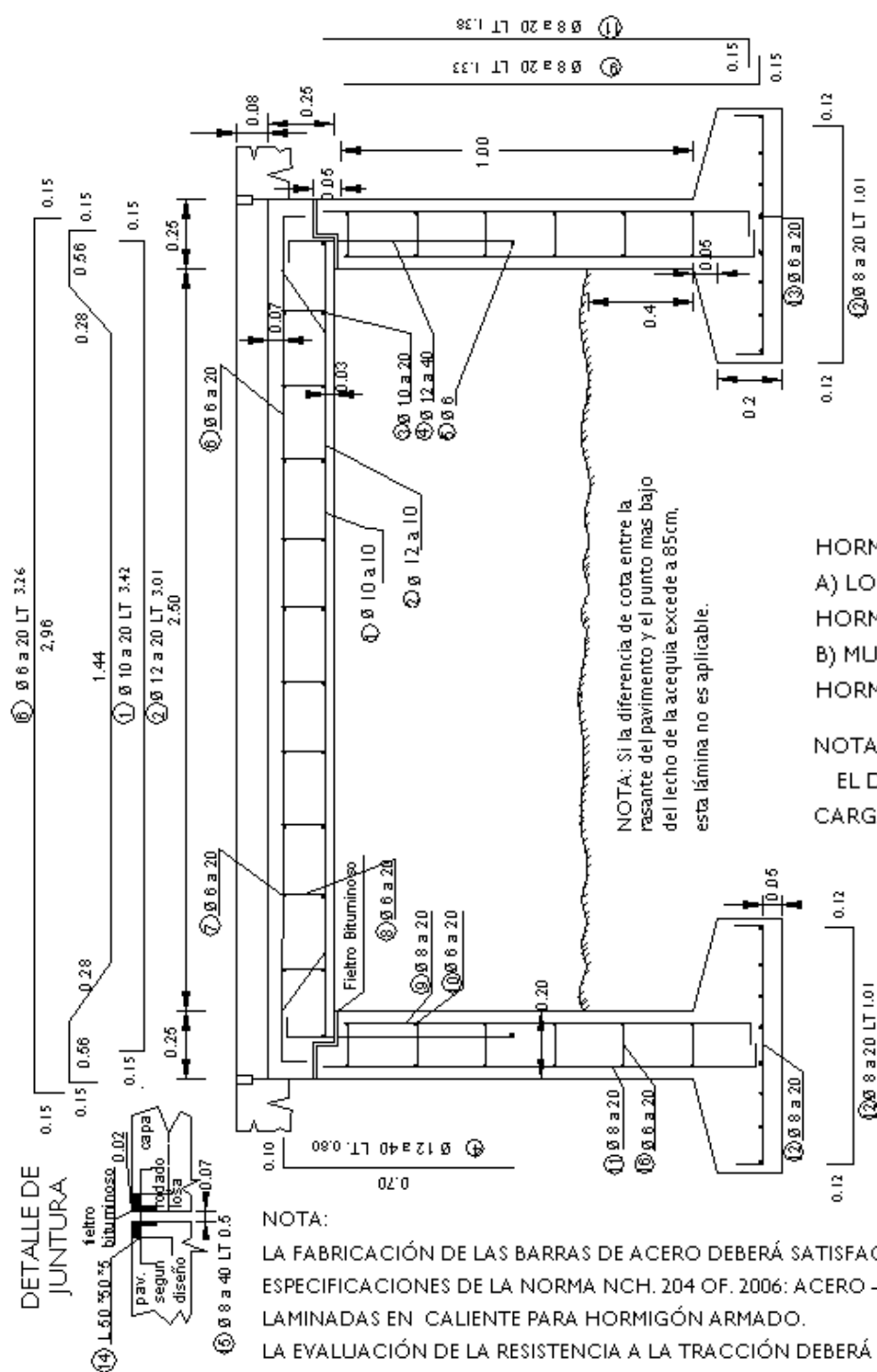
2008

LAMINA Nº 7.20



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



NOTA: Si la diferencia de cota entre la rasante del pavimento y el punto mas bajo del lecho de la acequia excede a 85cm, esta lámina no es aplicable.

CUBICACION CANTIDADES FORM.L.						
ACERO A 630-420H						
Nº	Φ	Y	D	L	C	P/U
1	10	a	20	3.42	10	2,2
2	12	a	20	3.01	10	1,9
3	10	a	20	1	14	0,7
4	12	a	40	0.80	4	0,7
5	6			1	2	0,25
6	6	a	20	3.26	5	0,77
7	6	a	20	1	2	0,25
8	6	a	20	0,3	70	0,08
9	8	a	20	1.33	10	0,47
10	6	a	20	1	24	0,25
11	8	a	20	1.38	10	0,49
12	8	a	20	1.01	10	0,31
13	6	a	20	1	8	0,25
14	L50	50	5	1	4	3,8
15	8	a	40	0,5	8	0,2
16	6	a	20	0,31	60	0,08
SUBTOTAL						106,4
DESPUNTE 5%						5,32
TOTAL						109,7

HORMIGONES:  
 A) LOSA Y CARPETA DE RODADO DE 0.08 HORMIGON H-35 90%N.C. (minimo) 0.99 [m3].  
 B) MUROS Y ZAPATAS HORMIGON H-35 90%N.C. (minimo) 0.92 [m3].

NOTA:  
 EL DISEÑO PROPUESTO CONSIDERA UNA CARGA PUNTUAL MAXIMA DE 5.5 [T]

NOTA:  
 LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH. 204 OF. 2006: ACERO – BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.  
 LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH. 200 OF. 1974: PRODUCTOS METÁLICOS – ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH. 201 OF. 1968: ACERO – ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm, BARRAS Y PERFILES.

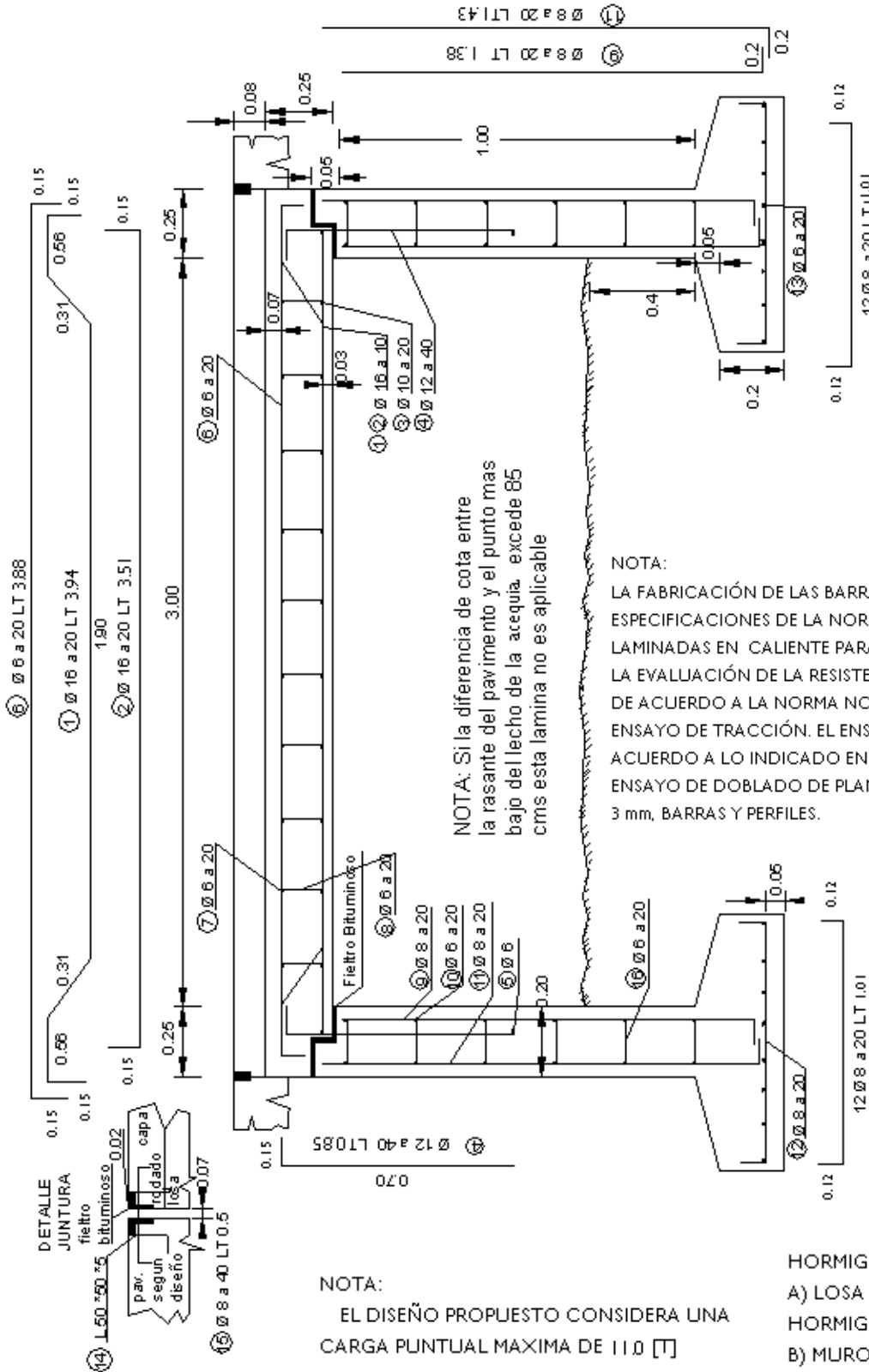
CONTENIDO:	LOSA DE HORMIGON ARMADO DE 2.50 m DE LUZ PARA CALZADAS	FECHA:	2008	LAMINA Nº	7.21
------------	--	--------	------	-----------	------





# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



NOTA: Si la diferencia de cota entre la rasante del pavimento y el punto mas bajo del lecho de la acequia, excede 85 cms esta lamina no es aplicable

NOTA:  
EL DISEÑO PROPUESTO CONSIDERA UNA CARGA PUNTUAL MAXIMA DE 11.0 [T]

HORMIGONES:  
A) LOSA Y CARPETA DE RODADO DE 0.08 HORMIGON H-35 90%N.C. (minimo) 1.23 [m<sup>3</sup>].  
B) MUROS Y ZAPATAS HORMIGON H-35 90%N.C. (minimo) 0.97 [m<sup>3</sup>].

CUBICACION CANTIDADES POR ML.						
ACERO A 630-420H						
N°	Ø	Y	D	L	C	P/U
1	16	a	20	3,94	2	5,82
2	16	a	20	3,51	2	5,14
3	10	a	20	1	17	0,7
4	12	a	40	0,85	4	0,5
5	6			1	2	0,25
6	6	a	20	3,88	5	0,9
7	6	a	20	1	12	0,25
8	6	a	20	0,32	85	0,08
9	8	a	20	1,38	10	0,47
10	6	a	20	1	24	0,25
11	8	a	20	1,43	10	0,49
12	8	a	20	1,01	10	0,31
13	6	a	20	1	8	0,25
14	L50*50*5			1	4	3,8
15	8	a	40	0,5	8	0,2
16	6	a	20	0,31	60	0,08
SUBTOTAL						94,09
DESPUNTE 5%						4,7
TOTAL						98,79

NOTA:  
LA FABRICACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO DEBERÁ SATISFACER LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA NCH. 204 OF. 2006: ACERO – BARRAS LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO.  
LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEBERÁ HACERSE DE ACUERDO A LA NORMA NCH. 200 OF. 1974: PRODUCTOS METÁLICOS – ENSAYO DE TRACCIÓN. EL ENSAYO DE DOBLADO SE EFECTUARÁ DE ACUERDO A LO INDICADO EN LA NORMA NCH. 201 OF. 1968: ACERO – ENSAYO DE DOBLADO DE PLANCHAS DE ESPESOR SUPERIOR O IGUAL A 3 mm, BARRAS Y PERFILES.

CONTENIDO: LOSA DE HORMIGON ARMADO DE 3.00 m DE LUZ PARA CALZADAS

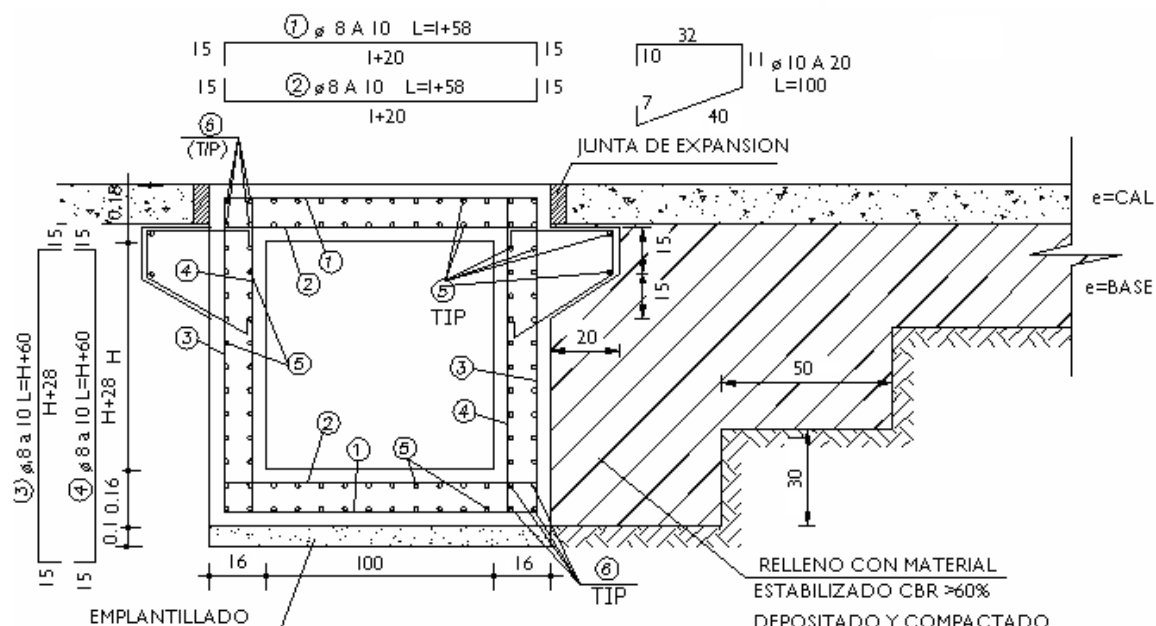
FECHA:  
2008

LAMINA N° 7.22



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



### ESPECIFICACIONES TECNICAS

1. APOYO EN SUELO NATURAL NO REMOVIDO.
2. HORMIGON EMPLANTILLADO DE 2 SACOS CEMENTO POR m<sup>3</sup>.
3. HORMIGON ARMADO GRADO H-35 CON 20% F.D.
4. ACERO A 630-420H CON RESALTE SALVO D=6mm
5. USAR TRABAS DE D=6.6 m<sup>2</sup>.
6. RECUBRIMIENTO 2cm.

IDENTIFICACION		H=0,8m			H=1,0m			H=1,2m		
		l=0,8m	l=1,0m	l=1,2m	l=0,8m	l=1,0m	l=1,2m	l=0,8m	l=1,0m	l=1,2m
① $\phi 8$ a 10	CANTIDAD	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	LONGITUD(m)	1,38	1,58	1,78	1,38	1,58	1,78	1,38	1,58	1,78
	LONG. TOTAL(m)	27,6	31,6	35,6	27,6	31,6	35,6	27,6	31,6	35,6
② $\phi 8$ a 10	CANTIDAD	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	LONGITUD(m)	1,38	1,58	1,78	1,38	1,58	1,78	1,38	1,58	1,78
	LONG. TOTAL(m)	27,6	31,6	35,6	27,6	31,6	35,6	27,6	31,6	35,6
③ $\phi 8$ a 10	CANTIDAD	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	LONGITUD(m)	1,4	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,8	1,8	1,8
	LONG. TOTAL(m)	28	28	28	32	32	32	36	36	36
④ $\phi 8$ a 10	CANTIDAD	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	LONGITUD(m)	1,4	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,8	1,8	1,8
	LONG. TOTAL(m)	28	28	28	32	32	32	36	36	36
⑤ $\phi 8$	CANTIDAD	28	32	36	32	36	40	32	40	44
⑥ $\phi 8$	CANTIDAD	16	16	16	16	16	16	16	16	15
TRABAS $\phi 6$ L=25	CANTIDAD	16	18	22	18	24	24	20	24	24
HORMIGON m <sup>3</sup> /m	$\phi 8$	0,73	0,85	0,91	0,84	0,91	0,98	0,91	0,97	1,02
ACERO Kg/m	$\phi 8$	69,2	74	78,7	74	78,7	83,5	77,1	83,5	88,2
	$\phi 6$	0,9	1	1,2	1	1,3	1,3	1,1	1,3	1,3
EMPLANTILLADO m <sup>3</sup> /m	$\phi 7$	0,11	0,13							
	CANTIDAD	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	LONGITUD(m)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	LONG. TOTAL(m)	20	20	20	20	20	20	20	20	20

CONTENIDO: PASO CANAL A NIVEL DE CALZADA

FECHA: 2008

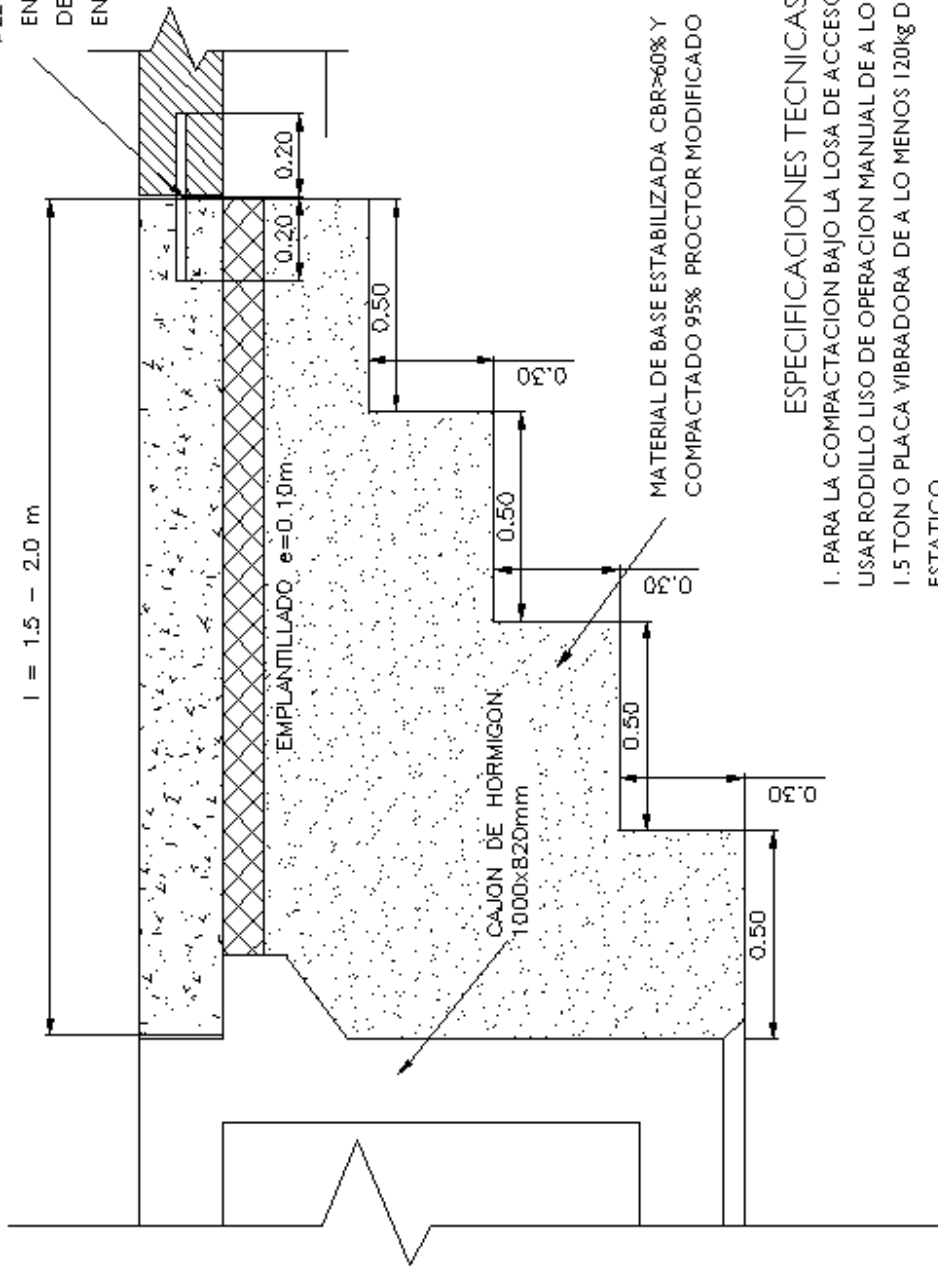
LAMINA N° 7.23



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

Ø 22 LISO L=40cm CADA 33cm INSERTO  
EN HORMIGON FRESCO DE LA LOSA  
DE APROXIMACION EMBETUNADO  
EN POLIETILENO



### ESPECIFICACIONES TECNICAS

1. PARA LA COMPACTACION BAJO LA LOSA DE ACCESO, USAR RODILLO LISO DE OPERACION MANUAL DE A LO MAS 1.5 TON O PLACA VIBRADORA DE A LO MENOS 120kg DE PESO ESTATICO.
2. HORMIGON EMBLANTILLADO DE 2 SACOS CEMENTO POR m<sup>3</sup>.
3. HORMIGON ARMADO GRADO H-20 CON 20% DE F.D.
4. ACERO A 630-420H CON RESALTE SALVO D=6mm
5. USAR TRABAS DE D=6.6 m<sup>2</sup>.
6. RECUBRIMIENTO SUPERIOR 3cm, INFERIOR 2cm

CONTENIDO: LOSA DE APROXIMACION

FECHA:

2008

LAMINA Nº 7.24



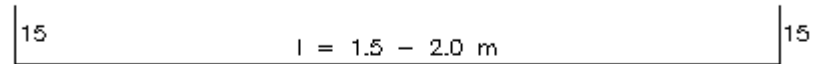
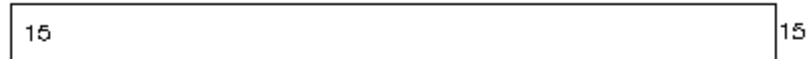
# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

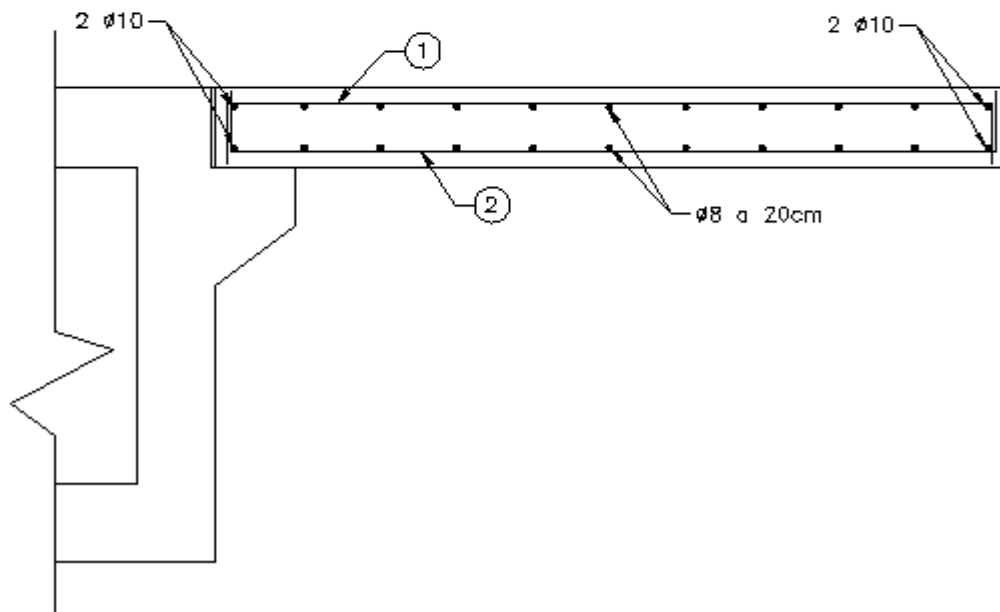
## ENFIERRADURA LOSA DE APROXIMACION ESC. 1:20

①  $\phi 10$  a 20

$l = 1.5 - 2.0$  m



②  $\phi 10$  a 20



CONTENIDO:  
ENFIERRADURA LOSA DE APROXIMACION

FECHA:  
2008

LAMINA N° 7.25





# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

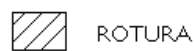
## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

### ROTURA Y REPOSICION DE PAVIMENTOS

#### HORMIGON

ANCHO DE LA RUPTURA TENDRÁ UN MÍNIMO DE 2,0 m. ( SI EL PAÑO A INTERVENIR SE ENCUENTRA EN MALAS CONDICIONES, SE DEBERÁ REPONER ENTRE JUNTAS EXISTENTES).

Y SU REPOSICIÓN DEBE CONSIDERAR LOS SIGUIENTES CASOS:



ROTURA



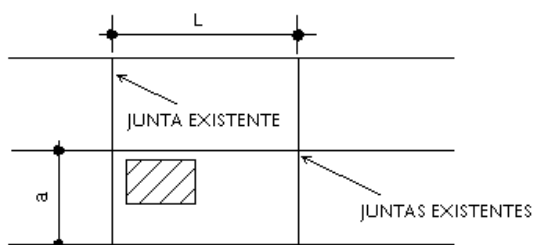
REPOSICION

JUNTAS EXISTENTES

JUNTA GENERADA

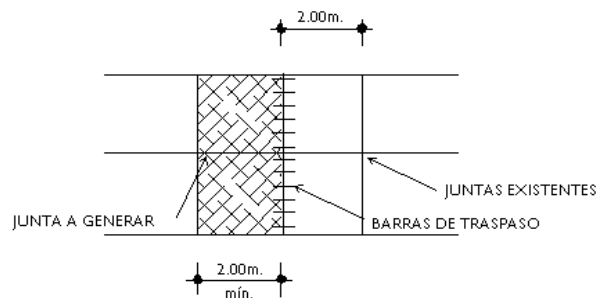
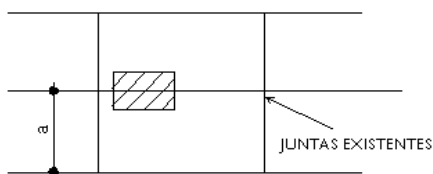
#### 1. ROTURA INTERVIENE UNA PISTA

ROTURA



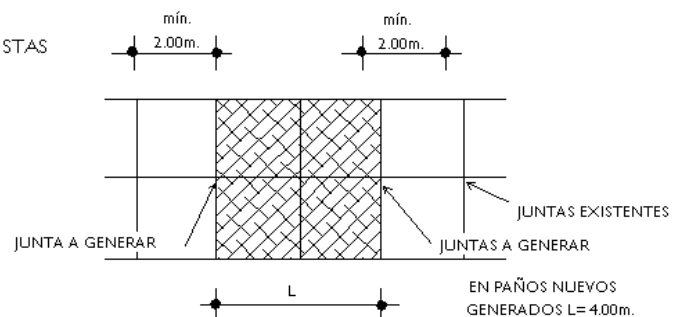
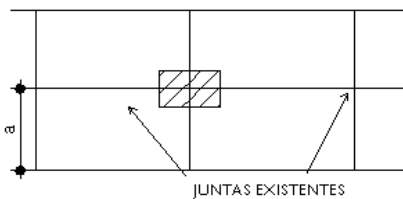
L= LONGITUD DEL PAÑO

#### 2. ROTURA INTERVIENE 2 PISTAS



SI LA LONG. DE LA REP. > b 2= SE PONE PAÑO COMPLETO

#### 3. ROTURA INTERVIENE JUNTAS TRANSV. Y 2 PISTAS



EN PAÑOS NUEVOS  
GENERADOS L=4.00m.

CONSIDERAR CORTES TRATANDO DE MANTENER  $L/a = 1$

CONTENIDO:  
ROTURA Y REPOSICION DE CALZADA DE CONCRETO

FECHA:  
2008

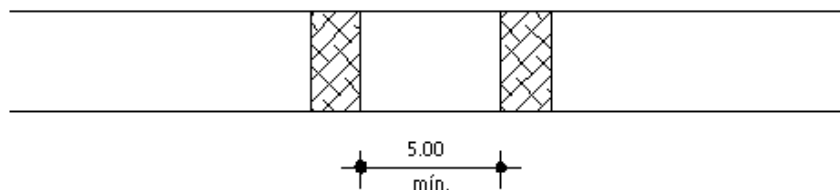
LAMINA Nº 8.1



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

. DISTANCIA ENTRE ROT. Y REP. > 5.00m. MEDIDOS EN TERRENO POR EL INSP. DE OBRAS, SI NO SE REPONE TODO.

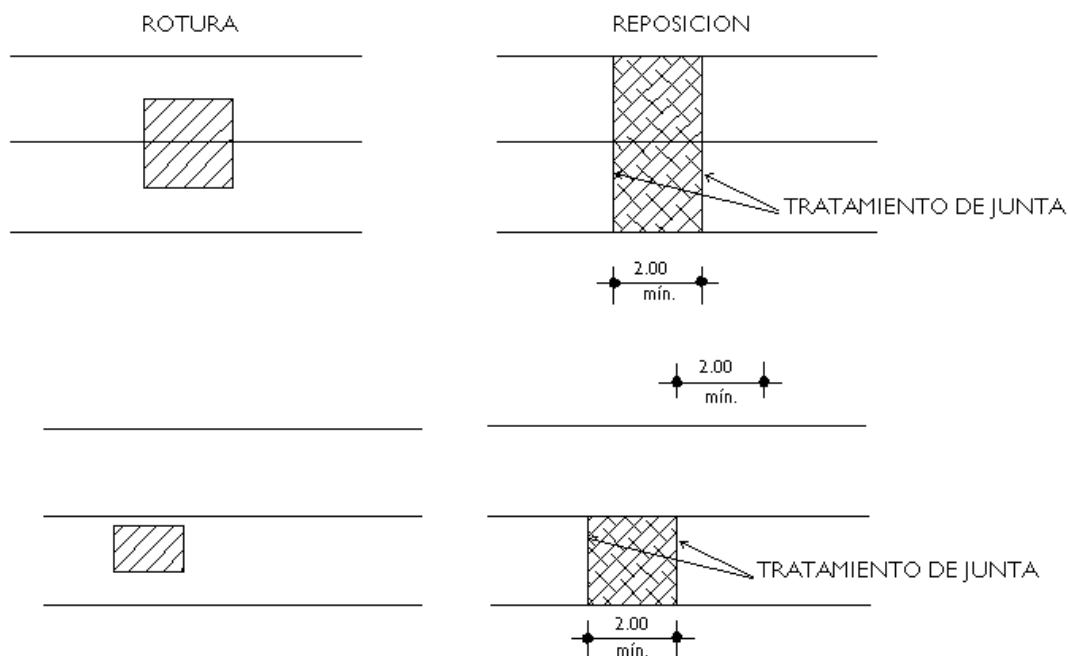


### NOTAS:

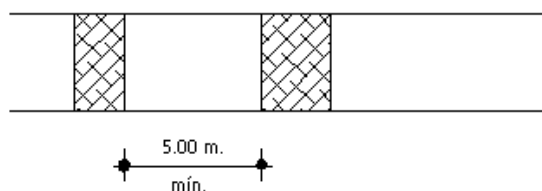
- EL O LOS PAÑOS A INTERVENIR DEBEN ESTAR EN BUEN ESTADO, DE CASO CONTRARIO SE DEBERÁ REPONER EL PAÑO COMPLETO.
- SE DEBERÁN REPONER TODAS LAS SOLERAS DEL ÁREA A INTERVENIR.

### ASFALTO

- ANCHO MINIMO DE VENTANAS ES DE 2.00 m.
- REPOSICION DE SOLERA A SOLERA
- SE DEBE CONSIDERAR LA REPOSICIÓN DE TODAS LAS SOLERAS DEL ÁREA A INTERVENIR.



- DISTANCIA ENTRE ROTURA Y REPOSICIÓN > 5.00 m. MEDIDOS EN TERRENO POR EL INSPECTOR DE OBRAS, EN CASO CONTRARIO SE REPODRÁ LA SUPERFICIE COMPLETA ENTRE LAS VENTANAS.



CONTENIDO:  
ROTURA Y REPOSICION DE CALZADA DE CONCRETO

FECHA:  
2008

LAMINA Nº 8.2



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

### CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

#### CLASIFICACION DE SUELOS HRB (AASHO)

Clasificación General Grupo de Suelo.	Suelos Granulares (El 35% como máximo pasa malla Nº200)							Suelos Limo-Arcilla (mas del 35% pasa malla Nº200)									
	A-1			A-2				A-3			A-4				A-5		
	A-1-a	A-1-b	A-1	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7	A-7-5	A-7-6				
Pasa la Malla Nº																	
10	Max 50																
40	Max 30	Max 50															
200	Max 15	Max 25	Max 10	Max 35	Max 35	Max 35	Max 35	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36				
Fraccion bajo la Malla N40																	
Limite Liquido																	
Indice Plasticidad	Max 6		No plastica	Max 10	Max 10	Max 10	Max 10	Max 10	Max 10	Max 10	Max 10	Max 10	Max 10				
Indice de Grupo I.G.	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Principales Materiales Constituyentes.	Gravas	Arenas	Arena Fina	Gravas y Arenas limosas y Arcillosas			Suelos Limosos				Suelos Arcillosos						
Comportamiento como infraestructura de pavimento	Excelente a bueno							Regular a malo									

CONTENIDO:

CLASIFICACION DE SUELOS H.R.B.

FECHA:

2008

LAMINA Nº 12.1



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

SISTEMA DE CLASIFICACION USCS						
GRUESOS ( < 50% pasa 0,08 mm)						
Tipo de Suelo	Símbolo	% Ret. en 5 mm	% Pasa* 0,08 mm	CU	CC	** IP
Gravas	GW	≥ 50 % de lo retenido en 0,08 mm	< 5	> 4	1 a 3	
	GP			≤ 4	< 1 ó > 3	
	GM		> 12			< 0,73 ( $w_L - 20$ ) ó < 4
	GC					> 0,73 ( $w_L - 20$ ) y > 7
Arenas	SW	< 50 % de lo retenido en 0,08 mm	< 5	> 6	1 a 3	
	SP			≤ 6	< 1 ó > 3	
	SM		> 12			< 0,73 ( $w_L - 20$ ) ó < 4
	SC					> 0,73 ( $w_L - 20$ ) y > 7
* Entre 5 y 12 % usar símbolo doble como <b>GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC</b>						
** Si IP = 0,73 ( $w_L - 20$ ) ó si IP entre 4 y 7 e IP > 0,73 ( $w_L - 20$ ), usar símbolo doble: <b>GM-GC, SM-SC</b>						
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica, Ej.: GW-GM en vez de GW-GC						
$CU = \frac{\phi 60}{\phi 10}$ $CC = \frac{\phi 30^2}{\phi 60 \cdot \phi 10}$						





# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

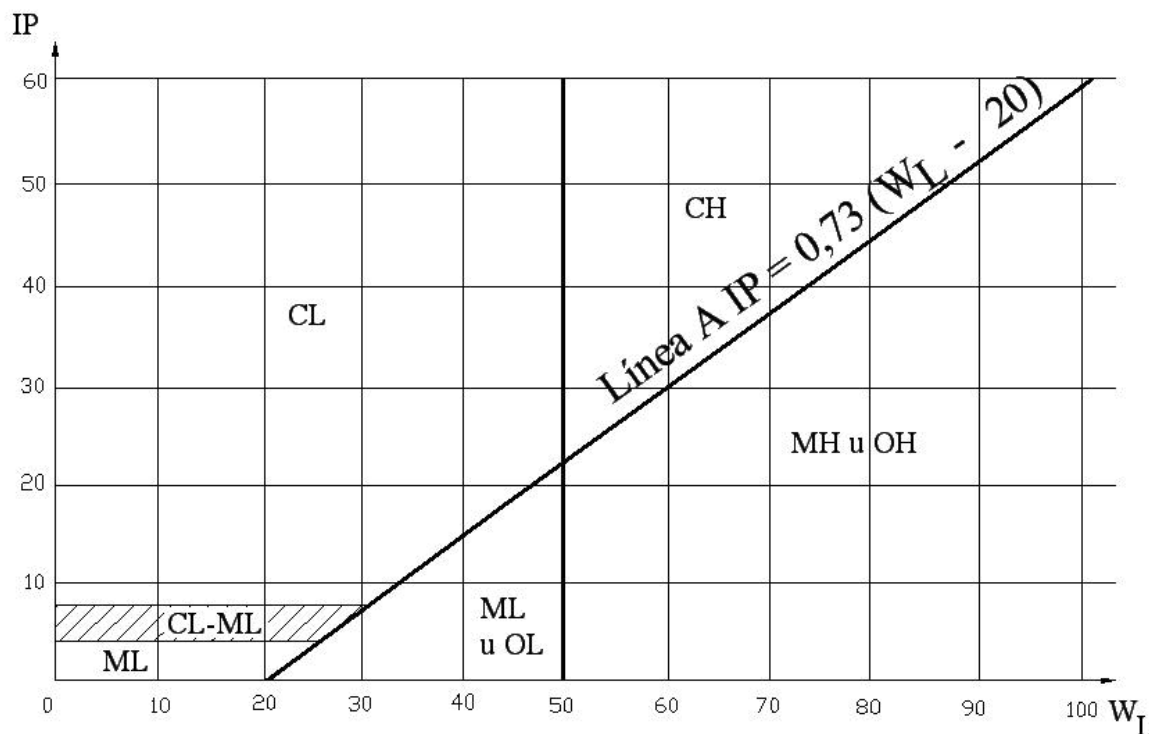
SISTEMA DE CLASIFICACION USCS			
FINOS ( $\geq 50\%$ pasa 0,08 mm)			
Tipo de Suelo	Símbolo	Lím. LÍq. $w_L$	Indice de Plasticidad * IP
Limos Inorgánicos	ML	$< 50$	$< 0,73 (w_L - 20)$ ó $< 4$
	MH	$> 50$	$< 0,73 (w_L - 20)$
Arcillas Inorgánicas	CL	$< 50$	$> 0,73 (w_L - 20)$ $y > 7$
	CH	$> 50$	$> 0,73 (w_L - 20)$
Limos o Arcillas Orgánicas	OL	$< 50$	** $w_L$ seco al horno $\leq 75\%$ del $w_L$ seco al aire
	OH	$> 50$	
Altamente Orgánicos	P1	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente	

\* Si  $IP = 0,73 (w_L - 20)$  ó si IP entre 4 y 7  
e  $IP > 0,73 (w_L - 20)$ , usar símbolo doble: **CL-ML, CH-OH**

\*\* Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente  $w_L$  seco al horno

En casos dudosos favorecer clasificación más plástica, Ej.: CH-MH  
en vez de CL-ML

**CARTA DE PLASTICIDAD**



**CONTENIDO:**  
CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS

**FECHA:**  
2008

**LAMINA Nº 12.3**

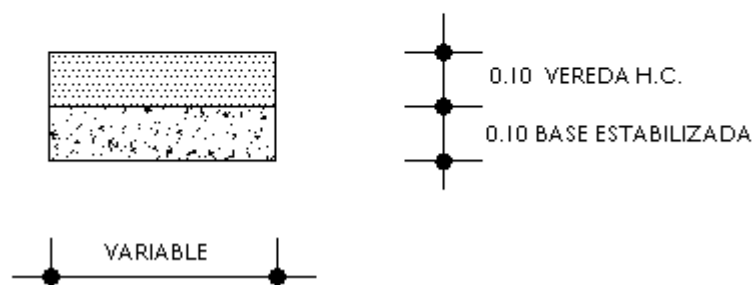


# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

## DETALLE VEREDA REFORZADA

CORTE TIPO A-A  
ESCALAS H = 1:100 / V= 1:20



CONTENIDO:

DETALLE VEREDA REFORZADA

FECHA:

2008

LAMINA Nº 14.1

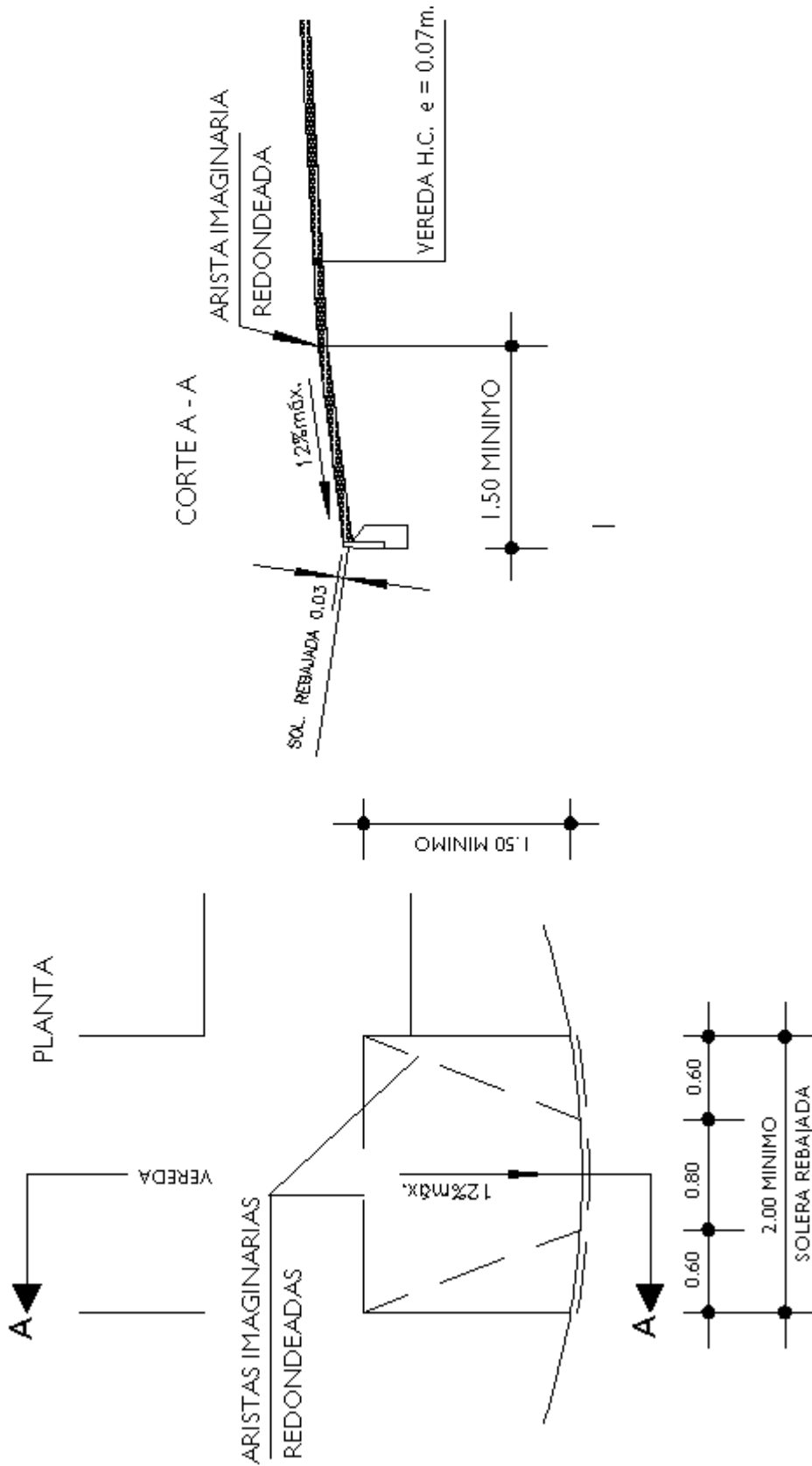


# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

## DETALLE MINUSVALIDOS

ESCALAS H= 1:50



CONTENIDO:  
DETALLE ACCESO MINUSVALIDOS

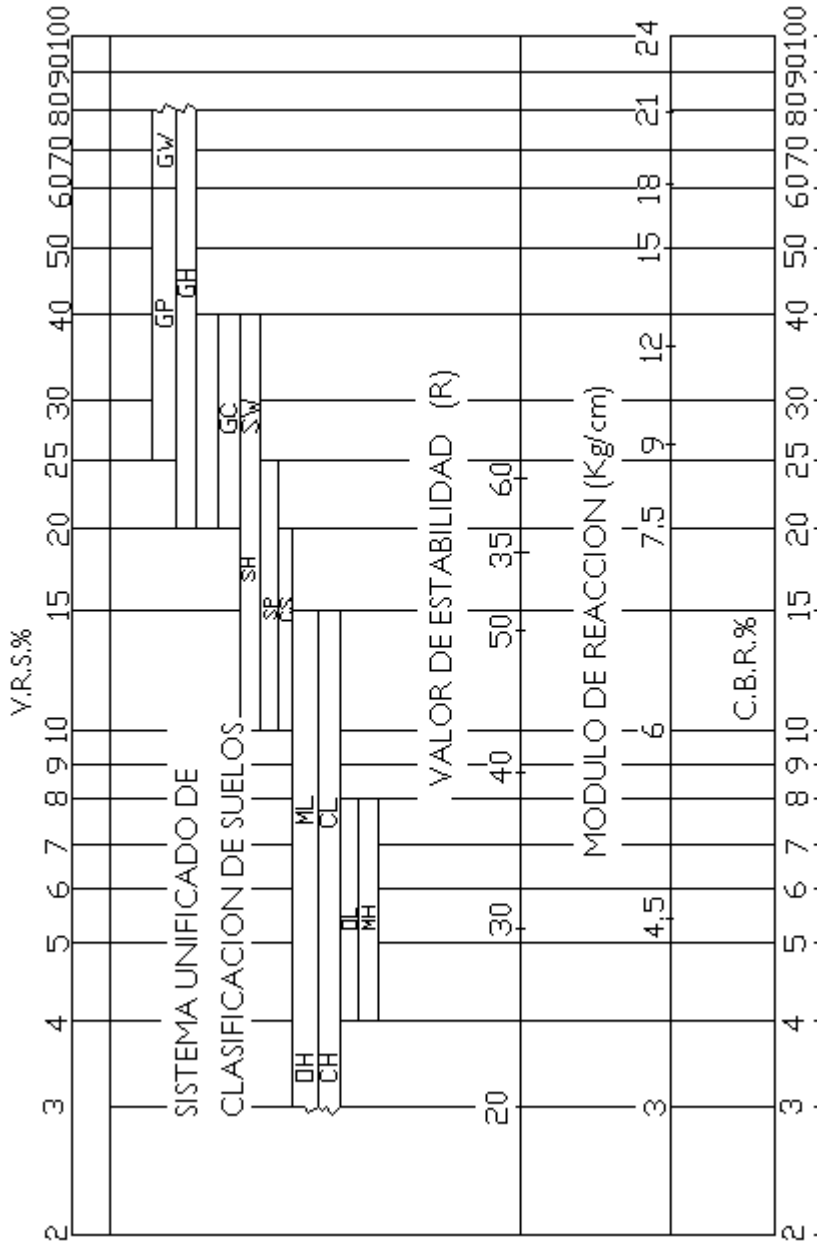
FECHA:  
2008

LAMINA Nº 14.2



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



**CONTENIDO:** MODULO DE REACCION K Y SUS RELACIONES CON OTROS PARAMETROS

**FECHA:** 2008

**LAMINA Nº 15.1**

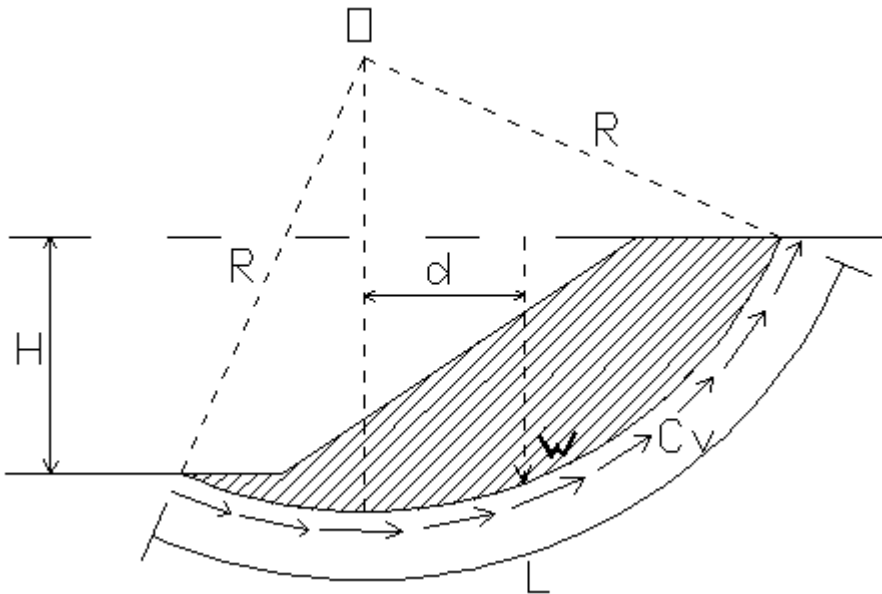




# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

## CALCULO DE TALUDES FALLA ROTACIONAL



CASO I:  $\zeta = C_v$

R= RADIO DEL CIRCULO DE FALLA

W= PESO DE LA MASA DE TIERRA.

MOMENTO DE LAS FUERZAS MOTORAS:  $M_m = W_d$

MOMENTO DE LAS FUERZAS RESISTENTES:  $M_r = C_u L R$

FACTOR DE SEGURIDAD:  $F = \frac{M_r}{M_m} = \frac{C_u L R}{W_d}$

CONTENIDO:  
DISEÑO DE TALUDES FALLA ROTACIONAL

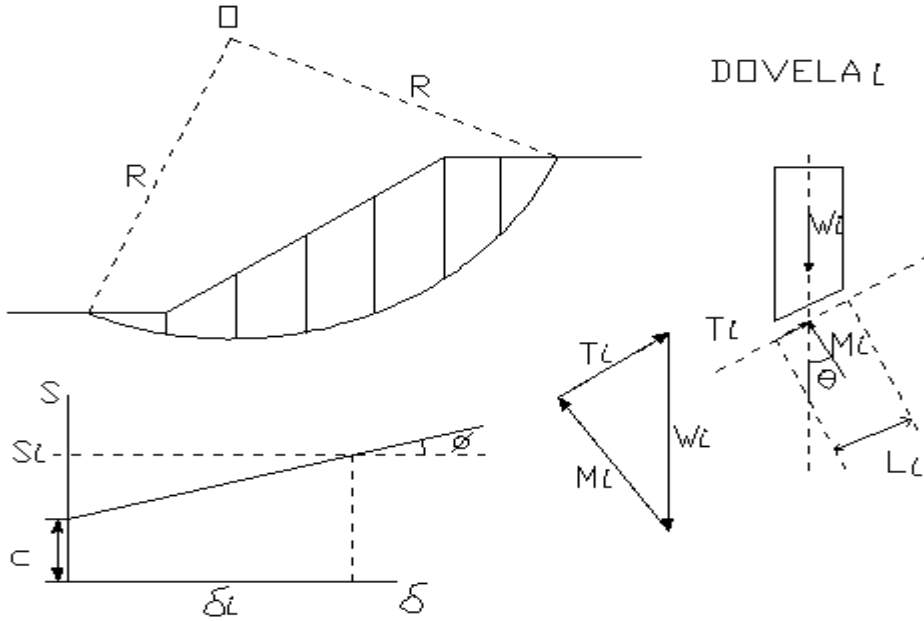
FECHA:  
2008

LAMINA Nº 18.1



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



**CALCULO DE TALUDES:** FALLA ROTACIONAL.

CASO 2:  $\zeta = C_u + \delta \operatorname{tg} \theta u$

**METODO DE LAS DOVELAS DE FELLENIUS**

W<sub>i</sub>= PESO DE LA DOVELA DE ORDEN i

T<sub>i</sub>= COMPONENTE TANGENCIAL DE W<sub>i</sub>

N<sub>i</sub>= COMPONENTE NORMAL DE W<sub>i</sub>

L<sub>i</sub>= ANCHO DE LA DOVELA PARALELO A SU BASE

S<sub>i</sub>= ESFUERZO DE CORTE EN LA BASE DE LA DOVELA i (determinado en grafico de acuerdo a valores de C, θ conocidos y δ<sub>i</sub> calculado).

**Esquema de calculo**

DOVELA	W <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	$\delta = \frac{N_i}{L_i}$	S <sub>i</sub>	S <sub>i</sub> L <sub>i</sub>
1						
2						
...						
n						

MOMENTO MOTOR:  $M_m = R \sum T_i$

MOMENTO RESISTENTE:  $M_r = R \sum S_i L_i$

MOMENTO DE SEGURIDAD:  $F_s = \frac{M_r}{M_m} = \frac{\sum S_i L_i}{\sum T_i}$

CONTENIDO: DISEÑO DE TALUDES FALLA ROTACIONAL

FECHA:

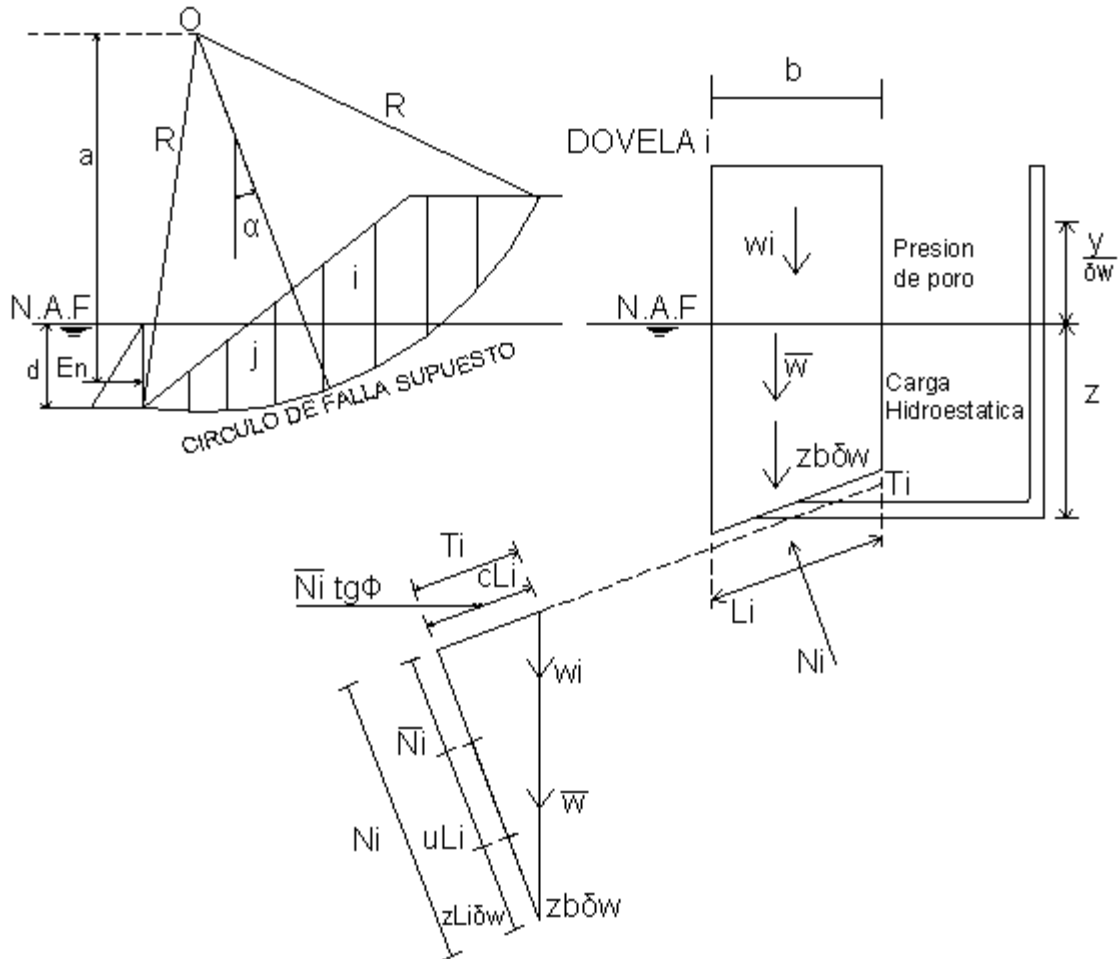
2008

LAMINA Nº 18.2



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



**CALCULO DE TALUDES: FALLA ROTACIONAL.**

## METODO DE LAS DOVELAS DE FELLENIUS

$W_i$  = PESO DE LA DOVELA DE ORDEN  $i$

$$W_i = w_i + \bar{w} + z b \delta w.$$

$w_i$  = PESO DE PARTE DE LA DOVELA SITUADA SOBRE EL NIVEL DE LA NAPA FREATICA (N.A.F.).

$\bar{w}$  = PESO DE PARTE DE LA DOVELA SITUADA BAJO EL NIVEL DE LA NAPA FREATICA (N.A.F.), (peso especifico saturado  $\delta w$ ).

$\delta w$  = PESO ESPECIFICO DEL AGUA.

$$\text{MOMENTO MOTOR: } M_m = \sum i (w_i + \bar{w}) R \sin \alpha$$

$$M_m = R \sum T_i$$

$$\text{MOMENTO RESISTENTE} = \sum S_i L_i R$$

$S_i$  = RESISTENCIA AL MOMENTO CORTANTE

CONTENIDO:

DISEÑO DE TALUDES FALLA ROTACIONAL

FECHA:

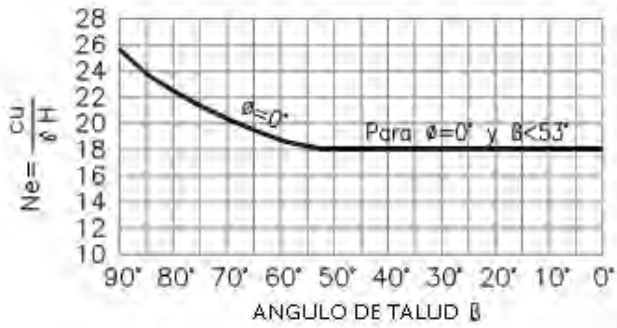
2008

LAMINA Nº 18.3

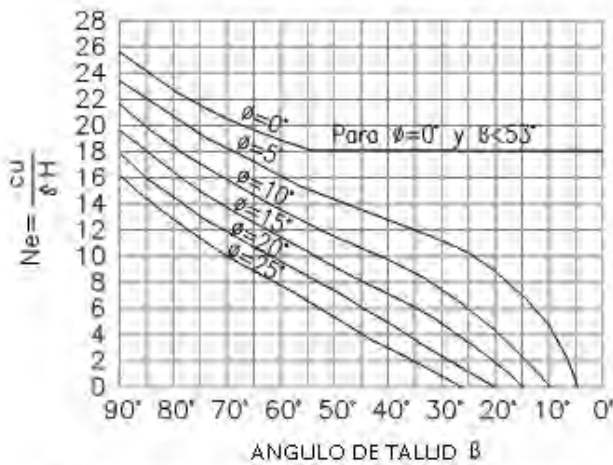


# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

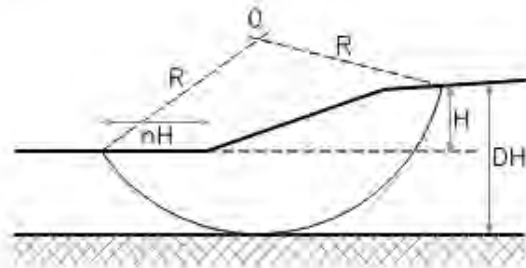
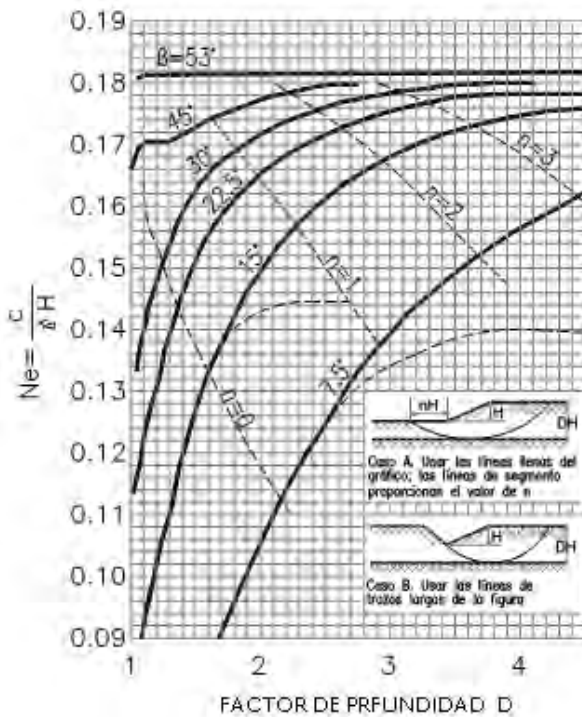
## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



A) GRÁFICO DE TAYLOR PARA DETERMINAR LOS NUMEROS DE ESTABILIDAD EN TALUDES DE MATERIALES COHESIVOS HOMOGÉNEOS CON EL TERRENO DE CIMENTACION.



B) GRÁFICO DE TAYLOR PARA DETERMINAR LOS NUMEROS DE ESTABILIDAD EN MATERIALES CON COHESION Y FRICCION.



C) GRÁFICO DE TAYLOR PARA DETERMINAR EL NUMERO DE ESTABILIDAD Y EL FACTOR DE ALEJAMIENTO EN CIRCULOS TANGENTES A UN ESTRATO RESISTENTE.

CONTENIDO:  
DISEÑO DE TALUDES METODO DE TAYLOR

FECHA:  
2008

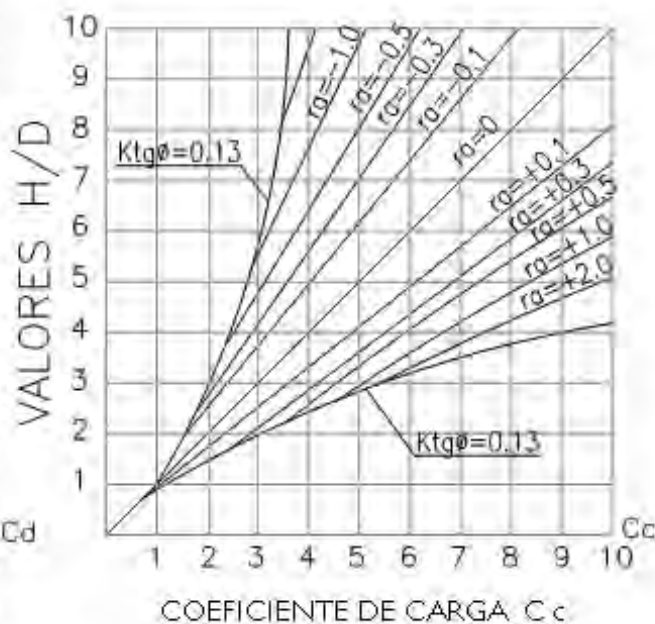
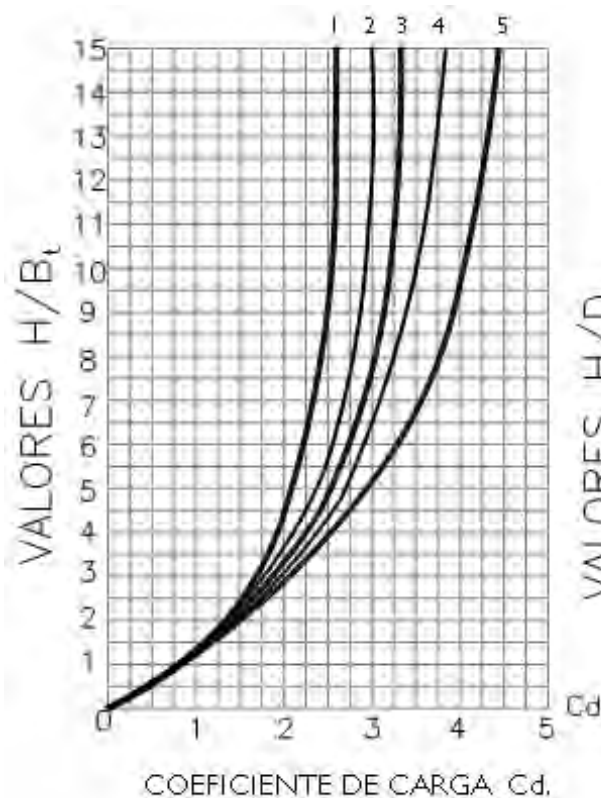
LAMINA Nº 18.4





# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



- 1:  $C_d$  PARA  $K T g \phi = 0.1924$ , MIN PARA ARENA Y GRAVA  
 2:  $C_d$  PARA  $K T g \phi = 0.169$  MAX PARA ARENA Y GRAVA  
 3:  $C_d$  PARA  $K T g \phi = 0.130$  MAX PARA ARENA Y GRAVA SATURADAS  
 4:  $C_d$  PARA  $K T g \phi = 0.130$  MAX PARA ARCILLAS NO SATURADAS  
 5:  $C_d$  PARA  $K T g \phi = 0.110$  MAX PARA ARCILLAS SATURADAS

### VALORES DE $r_\phi$ PROYECTO

CONDICIONES PREVALECIENTES	$r_\phi$
TUBO RIGIDO SOBRE ROCA O SUELO NO CEDENTE	+1.0
TUBO RIGIDO SOBRE SUELO COMPRESIBLE	0 a +0.5
TUBO RIGIDO SOBRE SUELO COMUN	+0.5 a +0.8

CONTENIDO:

GRAFICOS PARA EL DISEÑO DE ALCANTARILLAS

FECHA:

2008

LAMINA Nº 19.1

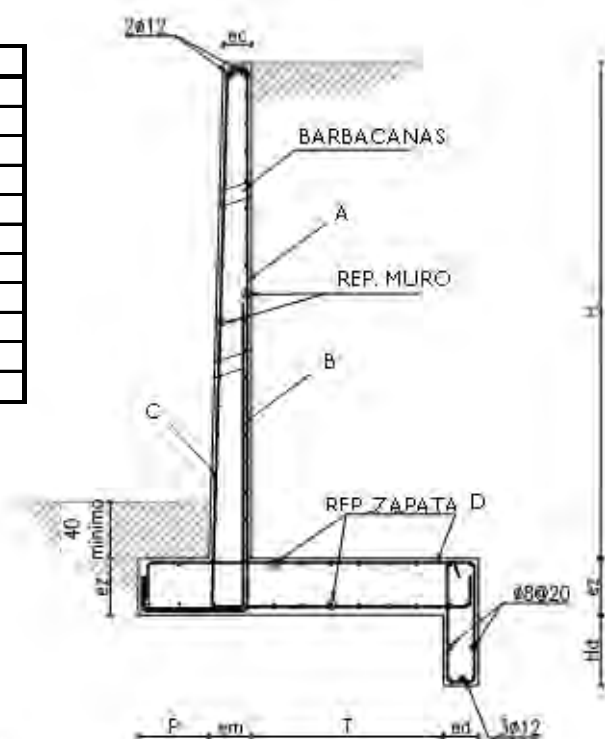


# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

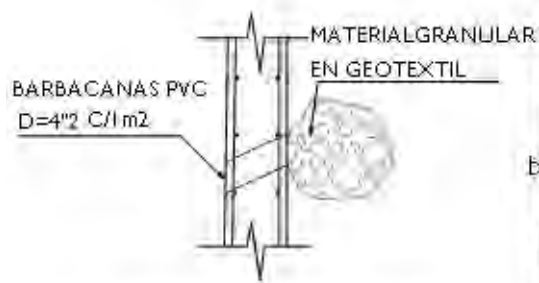
## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

H	Hd	P	em	T	ed	ez	ec
100	0	25	20	25	0	30	20
150	0	35	20	45	0	30	20
200	0	35	20	70	0	30	20
250	20	50	20	65	20	30	20
300	30	60	25	80	20	35	20
350	35	65	30	100	20	40	25
400	55	75	35	100	30	40	25
450	55	90	40	115	30	45	25
500	70	100	50	115	35	50	30
550	70	110	50	135	35	50	30
600	70	110	60	155	35	55	35

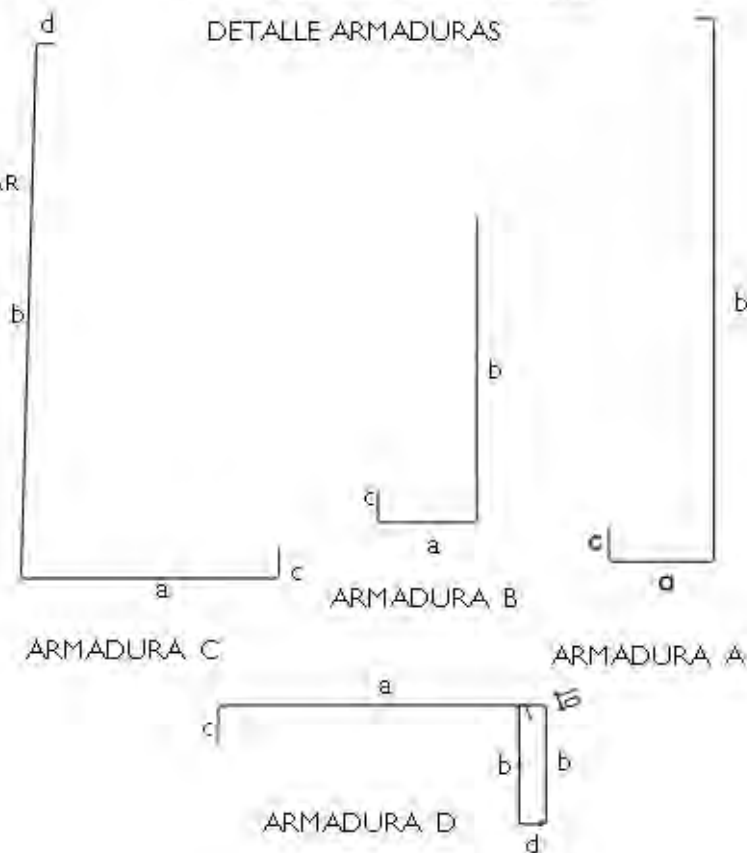
H : Altura del relleno sobre la zapata  
 Hd : Altura del diente  
 P : Dimensión del pie  
 em : Espesor del muro en la base  
 ec : Espesor del muro en el coronamiento  
 T : Dimensión del talón  
 ed : Espesor del diente  
 ez : Espesor de la zapata



DETALLE ARMADURAS



DETALLE BARBACANAS



**CONTENIDO:**  
 GEOMETRIA MUROS

**FECHA:**  
 2008

LAMINA Nº 20.1



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

### ESPECIFICACIONES

#### 1.- MATERIALES

- 1.1.- Hormigón : H-30 90% N.C. (mínimo).
- 1.2.- Emplentillado : H-5, espesor mínimo 5 cm
- 1.3.- Acero : A630-420H
- 1.4.- Sellante asfáltico en juntas de dilatación.
- 1.5.- Verificar las propiedades del suelo, mediante la elaboración de un Estudio de Mecánica de Suelos.

#### 2.- CONSTRUCTIVAS

- 2.1.- Recubrimientos: 5 cm.
- 2.2.- Sistema de drenaje según detalle adjunto.
- 2.3.- El sello de fundación deberá ser recibido por un Mecánico de Suelos.
- 2.4.- El paramento vertical del muro, contra terreno, deberá llevar una mano de impermeabilizante asfáltico.
- 2.5.- Los diámetros de doblado para las armaduras de refuerzo, deberán realizarse según lo indicado en el capítulo 7.2.1 del Código ACI318.
- 2.6.- Cotas en centímetros.

#### 3.- BASES DE CÁLCULO

- 3.1.- Tensiones admisibles mínimas del suelo:  
$$\sigma_{est} = 2.0 \text{ Kg/cm}^2$$
$$\sigma_{din} = 2.6 \text{ Kg/cm}^2$$
- 3.2.- El diseño presentado, es apto para suelos granulares, catalogados como grava arenosa.
- 3.3.- Ángulo de fricción interno del suelo  $\phi = 37^\circ$
- 3.4.- Peso específico del relleno estructural  $\gamma = 2.0 \text{ T/m}^3$ .
- 3.5.- Coeficiente de aceleración  $C = 0.20$



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

	ARMADURA	a	b	c	d	LT	Cuántia	Rep.Muro	Rep.Zapata	H-25 m <sup>3</sup>	Acero (Kg)
H = 100	A	35	123	20	12	190	φ8@20	φ8@20	φ10@20	0.41	17.3
	B	0	0	0	0	0	-				
	C	35	123	20	12	190	φ8@20				
	D	60	0	20	0	100	φ10@20				
H = 150	A	45	173	20	12	250	φ8@20	φ8@20	φ10@20	0.60	22.9
	B	0	0	0	0	0	-				
	C	55	173	20	12	260	φ8@20				
	D	90	0	20	0	130	φ10@20				
H = 200	A	45	223	20	12	300	φ10@20	φ8@20	φ10@20	0.78	32.4
	B	45	158	20	0	223	φ10@20				
	C	80	223	20	12	335	φ10@20				
	D	115	0	20	0	155	φ10@20				
H = 250	A	60	273	20	12	365	φ10@20	φ10@20	φ10@20	0.97	49.5
	B	60	192	20	0	272	φ12@20				
	C	95	273	20	12	400	φ10@20				
	D	145	40	20	10	265	φ10@20				
H = 300	A	75	328	25	12	440	φ12@20	φ10@20	φ10@20	1.32	69.1
	B	75	230	25	0	330	φ12@20				
	C	115	328	25	12	480	φ10@20				
	D	175	110	40	25	585	φ10@20				
H = 350	A	85	383	30	17	515	φ12@16	φ10@20	φ10@20	1.82	98.2
	B	85	268	30	0	383	φ12@16				
	C	140	383	30	17	570	φ10@20				
	D	205	65	30	10	385	φ12@20				

CONTENIDO:

MUROS DE CONTENCION CUADRO DE ARMADURAS

FECHA:

2008

LAMINA Nº 20.3





# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

	ARMADURA	a	b	c	d	LT	Cuantiá	Rep.Muro	Rep.Zapata	H-25 m <sup>3</sup>	Acero (Kg)
H = 400	A	100	433	30	17	580	φ12@18	φ10@20	φ10@20	2.16	132.6
	B	100	302	30	0	432	φ16@18				
	C	155	433	30	17	635	φ12@20				
	D	230	85	30	20	460	φ12@14				
H = 450	A	120	488	35	17	660	φ16@18	φ10@20	φ10@20	2.70	178.7
	B	120	340	35	0	495	φ16@18				
	C	175	488	35	17	715	φ12@20				
	D	265	90	35	20	510	φ16@20				
H = 500	A	140	543	40	22	745	φ16@16	φ10@20	φ10@20	3.50	218.8
	B	140	378	40	0	558	φ16@16				
	C	190	543	40	22	795	φ12@20				
	D	290	110	40	25	585	φ16@20				
H = 550	A	150	593	40	22	805	φ18@20	φ10@15	φ10@20	3.85	294.6
	B	150	412	40	0	602	φ22@20				
	C	210	593	40	22	865	φ12@15				
	D	320	110	40	25	615	φ16@15				
H = 600	A	160	648	45	27	880	φ18@18	φ10@15	φ10@15	4.83	351.6
	B	160	450	45	0	655	φ22@18				
	C	240	648	45	27	960	φ12@15				
	D	350	115	45	25	660	φ18@15				

CONTENIDO:  
MUROS DE CONTENCION CUADRO DE ARMADURAS

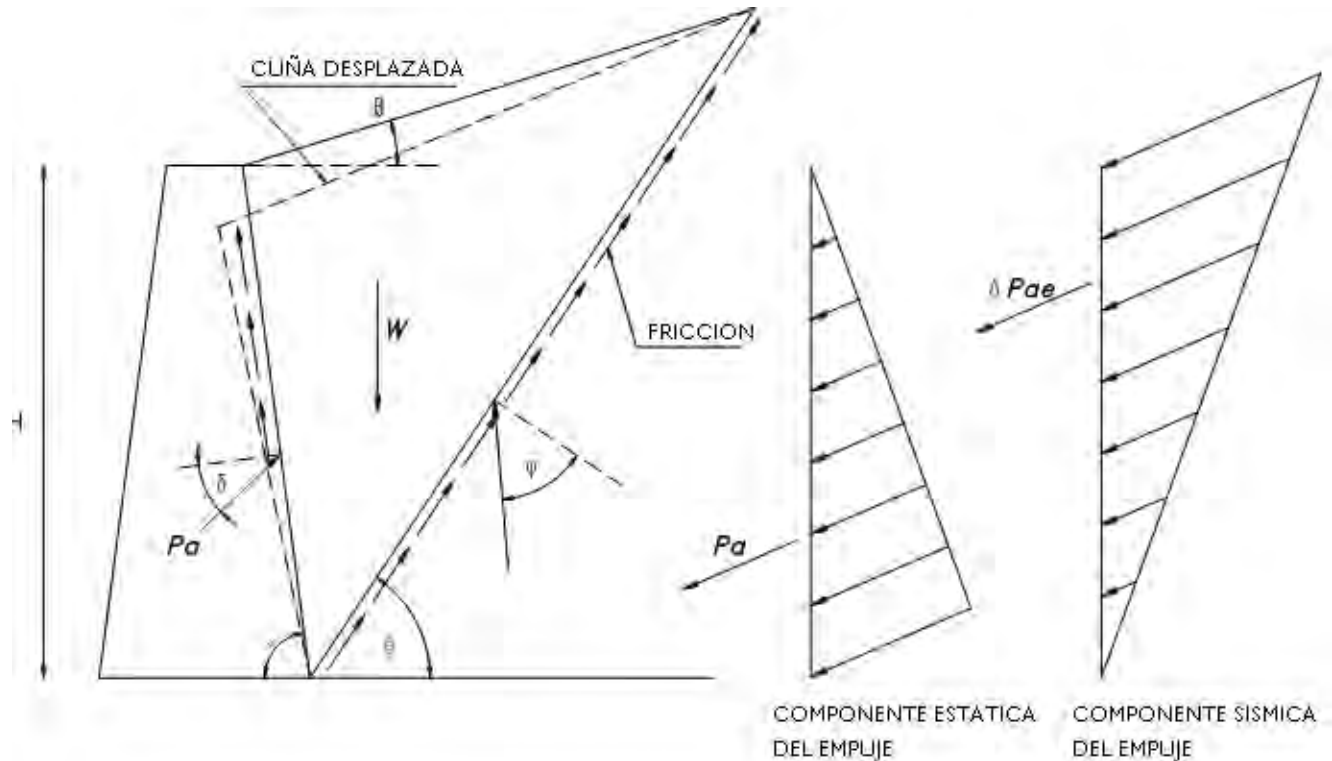
FECHA:  
2008

LAMINA Nº 20.4



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION



Método de Coulomb. Empuje activo e incremento sísmico en suelos con fricción.

$$P_a = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \cdot \frac{\text{sen}^2(\alpha + \phi)}{\text{sen}^2 \alpha \cdot \text{sen}(\alpha - \delta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \cdot \text{sen}(\phi - \beta)}{\text{sen}(\alpha - \delta) \cdot \text{sen}(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (1)$$

$$P_{aE} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_{aE} \cdot (1 - k_v) \quad (2)$$

$$K_{aE} = \frac{\cos^2(\phi - \alpha_a - \theta)}{\cos \theta \cdot \cos^2 \alpha_a \cdot \cos(\delta + \alpha_a + \theta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \cdot \text{sen}(\phi - \beta - \theta)}{\cos(\delta + \alpha_a + \theta) \cdot \cos(\beta - \alpha_a)}} \right]^2}$$

$$\Delta P_{aE} = P_a - P_{aE}$$

CONTENIDO:

METODO DE COULOMB y MONONOBE-OKABE

FECHA:

2008

LAMINA Nº 20.5



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

Con:

$\phi$  : ángulo de fricción interna.

$\beta$  : ángulo de inclinación del talud a trasdós.

$\alpha$  : ángulo de inclinación del muro a trasdós. ( $\alpha_a = 90^\circ - \alpha$ )

$\delta$  : ángulo de roce Muro – Suelo retenido.

$$\theta : \arctg\left(\frac{k_h}{1 - k_v}\right)$$

$k_h$ : aceleración sísmica horizontal. Para este capítulo se considera  $k_h = 0.20$

$k_v$ : aceleración sísmica vertical.  $k_v = \frac{2}{3}k_h$

La fórmula 1 entrega el empuje de tierras activo, obtenido mediante el método de Colulomb.

La fórmula 2 entrega el empuje total, incluyendo el empuje activo, según la fórmula de Mononobe y Okabe.

**CONTENIDO:**

**METODO DE COULOMB y MONONOBE-OKABE**

**FECHA:**

**2008**

**LAMINA Nº**

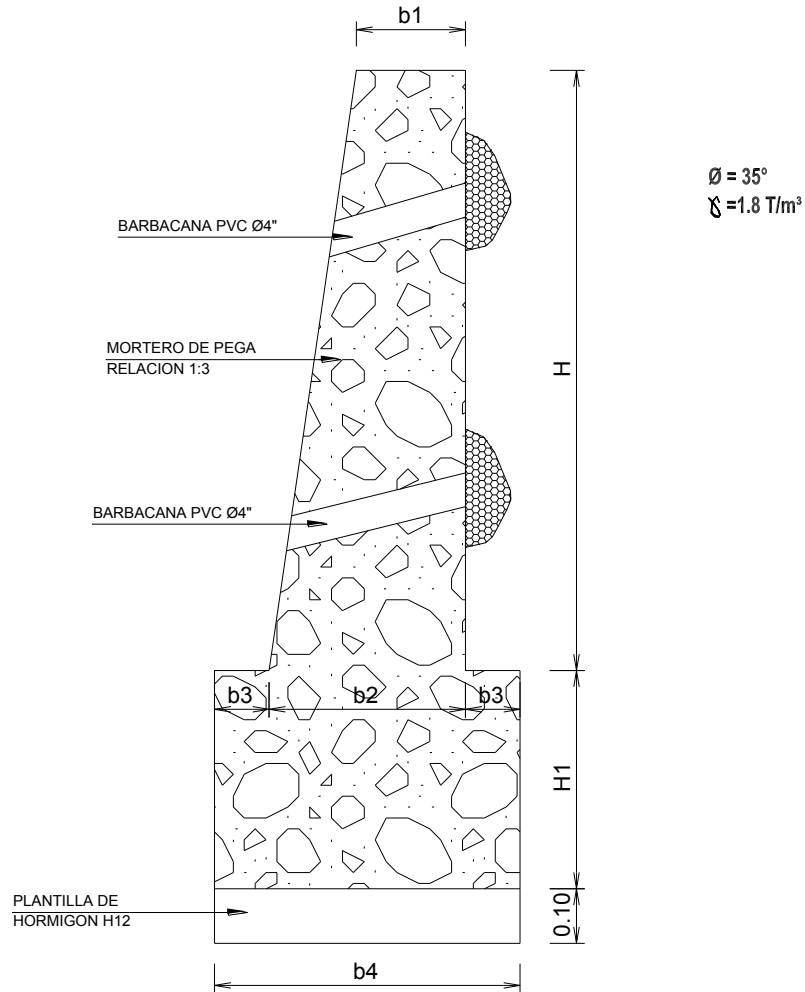
**20.6**



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

## DETALLE MURO DE MAMPOSTERIA DE PIEDRA



H	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
b1	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
b2	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,7	2,0	2,2
b3	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5
b4	0,8	1	1,35	1,7	2,1	2,5	3	3,2
H1	0,50	0,60	0,70	0,75	1,10	1,10	1,30	1,30
<b>m<sup>3</sup>/ml</b>	<b>0,85</b>	<b>1,43</b>	<b>2,20</b>	<b>3,28</b>	<b>5,16</b>	<b>6,43</b>	<b>8,90</b>	<b>10,24</b>
FS Volcamiento sin sismo	4,09	3,02	3,24	3,3	3,24	3,46	3,78	3,49
FS Volcamiento con sismo	1,94	1,44	1,54	1,56	1,54	1,64	1,79	1,66
FS Deslizamiento sin sismo	4,45	3,61	3,43	3,26	3,46	3,3	3,46	3,21
FS Deslizamiento con sismo	2,87	2,32	2,21	2,1	2,23	2,12	2,23	2,07
$\sigma_{estatico}$ :	0,49	0,76	0,84	0,96	1,26	1,25	1,37	1,54
% comprimido	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
$\sigma_{dinamico}$ :	0,87	2,17	1,90	2,03	2,87	2,50	2,50	3,00
% comprimido	66%	35%	50%	54%	48%	59%	69%	62%
$V_{base-muro}$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]	0,16	0,22	0,35	0,35	0,44	0,49	0,55	0,59

CONTENIDO:

DETALLE MURO DE MAMPOSTERIA DE PIEDRA

FECHA:

2008

LAMINA N° 20.7











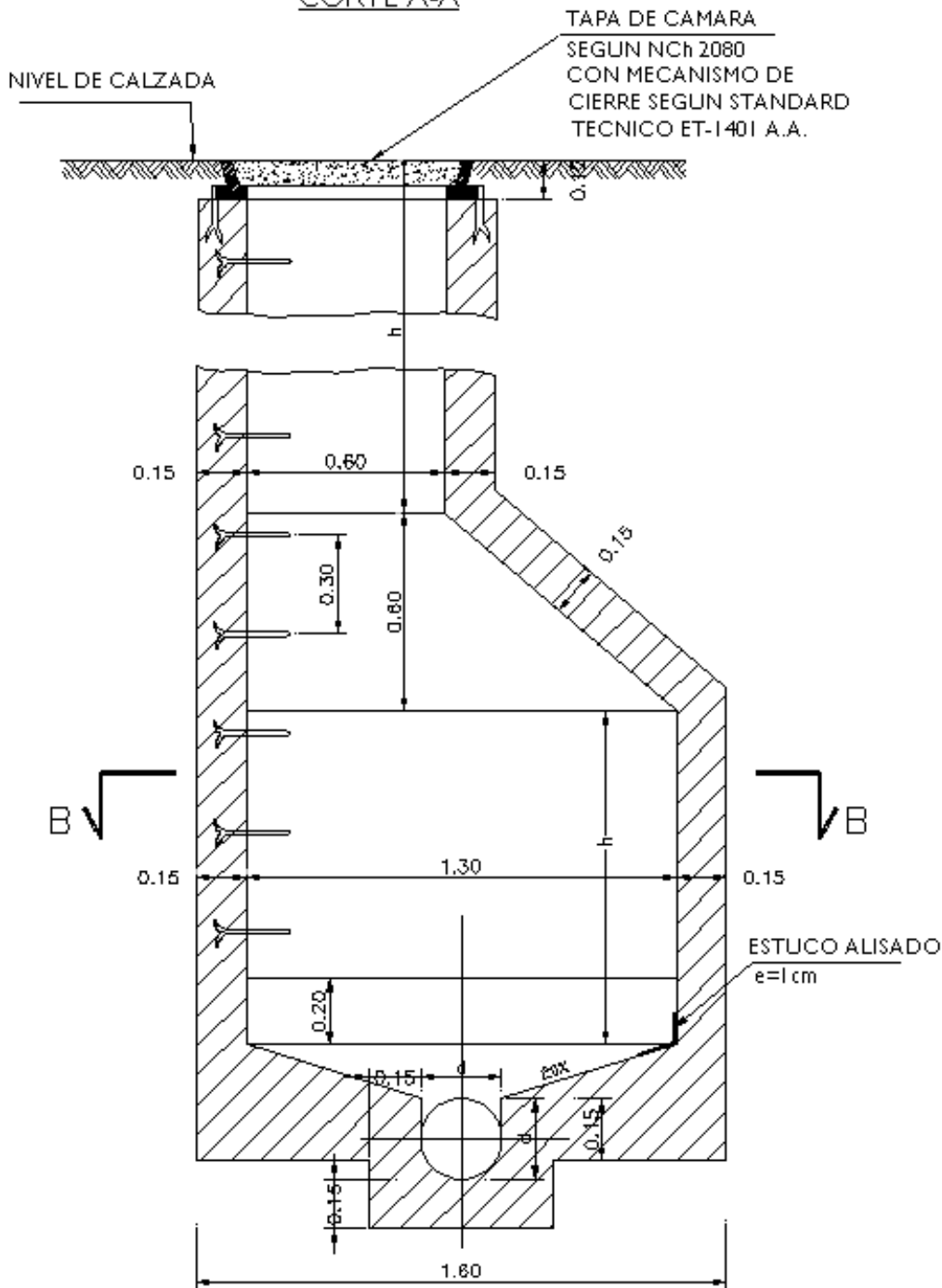


# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

## CAMARA TIPO a

CORTE A-A



CONTENIDO:  
CAMARA TIPO a

FECHA:  
2008

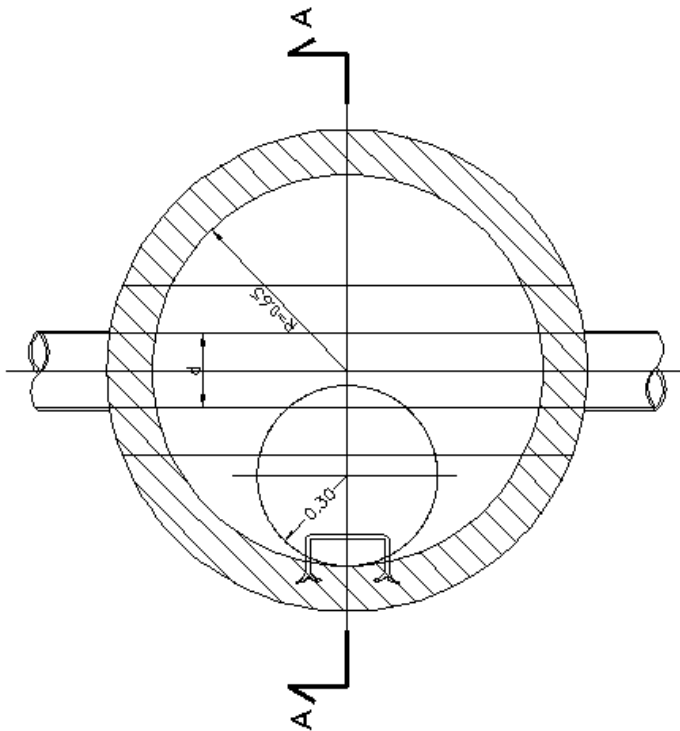
LAMINA Nº 22.2



# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

## CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

**RADIER N° 1**  
**CORTE B-B**



**CUBICACIONES**

CONCRETO DE 170 Kg. cem. / m<sup>3</sup> PARA EL CONO.

CONCRETO DE 170 Kg. cem. / m<sup>3</sup> MT LINEAL DE CHIMENEA.

CONCRETO DE 170 Kg. cem. / m<sup>3</sup> MT LINEAL DE CUERPO.

FIERRO PARA D = 130 = 21 Kg.

FIERRO PARA D = 180 = 40 Kg.

D = 1.30m	D = 1.80m
0.31m <sup>3</sup>	0.48m <sup>3</sup>
0.36m <sup>3</sup>	0.48m <sup>3</sup>
0.68m <sup>3</sup>	0.90m <sup>3</sup>

**ESPECIFICACIONES**

1.- LAS CAMARAS SE DESIGNARAN CON UNA LETRA PARA IDENTIFICAR SU TIPO Y CON UN NUMERO PARA IDENTIFICAR EL TIPO DE RADIER EJ. a-1 a-2. EL TIPO "a" SE REFIERE A CAMARAS CON CONO Y CHIMENEA.

2.- LAS CAMARAS DEL TIPO "a" SE ADOPTARAN SIEMPRE QUE LA ALTURA H DISPONIBLE DESDE EL RADIER DE LA CAMARA HASTA EL NIVEL DE LA CALZADA SEA IGUAL O SUPERIOR A LOS VALORES QUE SE INDICAN EN EL CUADRO SIGUIENTE.

H= ALTURA DISPONIBLE SOBRE EL RADIER  
d= DIAMETRO MAXIMO EN LA CANALETA

165m.	175m.
170m.	200m.
180m.	300m.
185m.	350m.
190m.	400m.
195m.	450m.
200m.	500m.

3.- EN LAS CAMARAS TIPO a EL VALOR MINIMO DE H (ALTURA DEL CUERPO DE LA CAMARA) SERA DE 0.60m Y EL MAXIMO DE 1.10m. EN LAS CAMARAS TIPO "a" SE FIJARA H DE MODO QUE SU VALOR TIENDA AL MAXIMO DE 1.10m.

4.- PARA d DIAMETRO MAXIMO EN LA CANALETA IGUAL O MENOR QUE 0.50m. SE FIJARA EL DIAMETRO D DEL CUERPO DE LA CAMARA EN 1.30m. PARA VALORES MAYORES DE d SE FIJARA D=180 SIEMPRE QUE HAYA CURVA

5.- LOS ESCALINES IRAN A 0.30 UNO DE OTRO A PARTIR DESDE EL NIVEL DE LA CALZADA, LA ALTURA MAXIMA DEL ULTIMO ESCALIN SOBRE EL RADIER DE LA

CAMARA SERA DE 0.50m. SOBRE EL RADIER Y SE REPARTIRA EL EXCESO AUMENTANDO LA DISTANCIA ENTRE LOS ESCALINES.

6.- LA DOSIS DEL CONCRETO SERA DE 170 Kg. cem/m<sup>3</sup>. CUANDO LAS CAMARAS DEBAN CONSTRUIRSE EN TERRENO SECO Y EN DOSIS DE 234 Kg. cem./m<sup>3</sup> DE CONCRETO CUANDO SE CONSTRUYAN EN TERRENO CON AGUA LA DOSIS DE LOS MORTEROS

PARA LOS ESTUCOS SERA DE 510 Kg. cem./m<sup>3</sup>. DE MORTERO EN LAS CAMARAS QUE SE CONSTRUYAN EN TERRENO SECO EL ESTUCO TENDRA 0.20 DE ALTURA SOBRE EL

PUNTO MAS ALTO DE LA BANQUETA Y SU ESPESOR SERA DE 1cm. EN LAS CAMARAS QUE VAYAN EN TERRENO CON AGUA EL ESPESOR SERA DE 2 cm. Y CUBRIRA HASTA LA

ALTURA MAXIMA DE LA NAPA.

7.- EL ESPESOR DE LA LOSA Y LA DISTRIBUCION DEL FIERRO SON IGUALES PARA D= 130 Y D= 180.

CONTENIDO:  
CAMARA TIPO a

FECHA:

2008

LAMINA N° 22.3

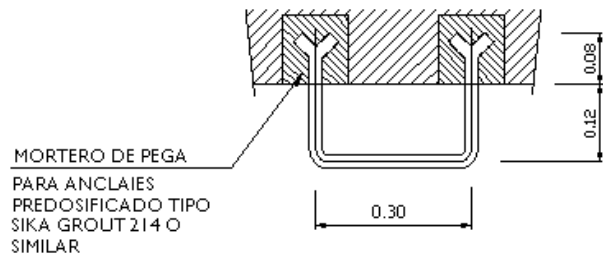




# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

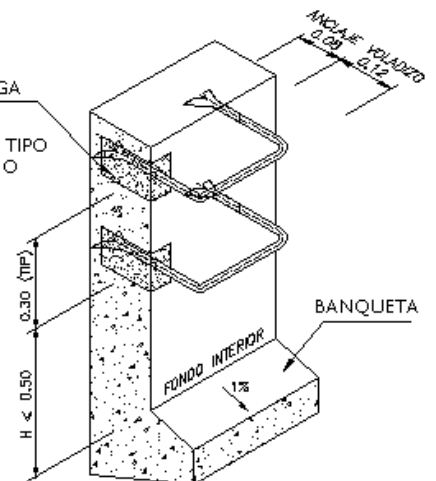
## DETALLE ESCALINALES DE FIERRO GALVANIZADO ESCALINES DE FIERRO GALVANIZADO $\varnothing 1" L= 0.80m$



### NOTA

- 1.- LOS ESCALINES DEBEN SER DE ACERO A 37- 24 ES GALVANIZADO EN BAÑO A RAZON DE 600 gr / m<sup>2</sup>
- 2.- LOS ESCALINES DEBEN TENER UN EMPOTRAMIENTO MIN. DE 8 cm Y UN VOLADIZO DE 12 cm.

MORTERO DE PEGA  
PARA ANCLAIES  
PREDESIFICADO TIPO  
SIKA GROUT 214 O  
SIMILAR



CONTENIDO:  
CAMARA TIPO a

FECHA:  
2008

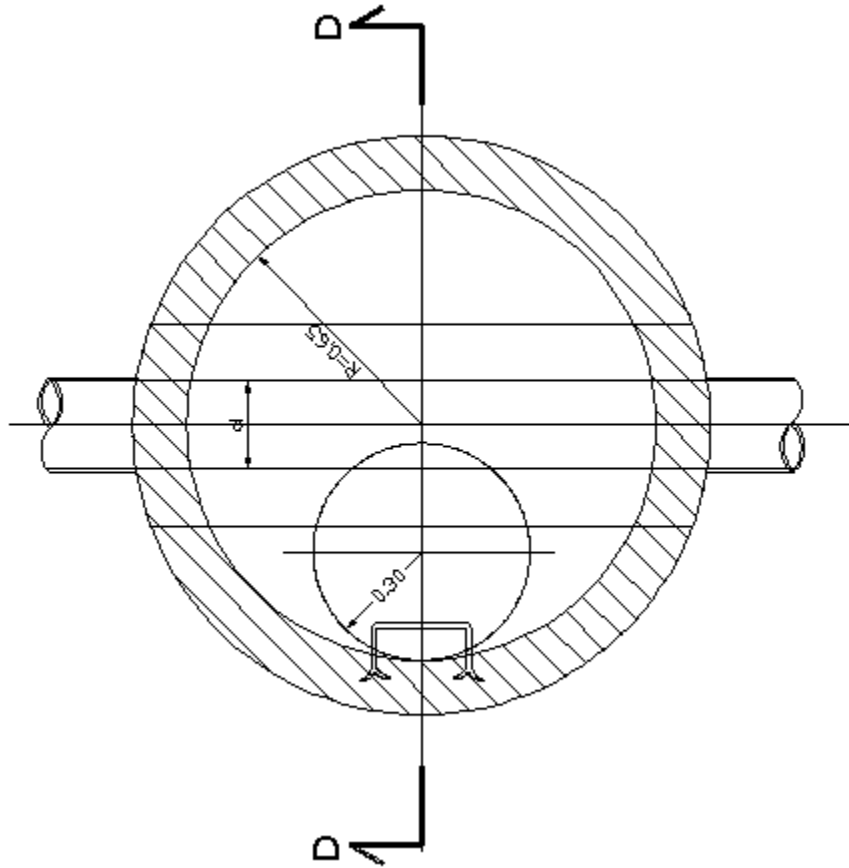
LAMINA Nº 22.4



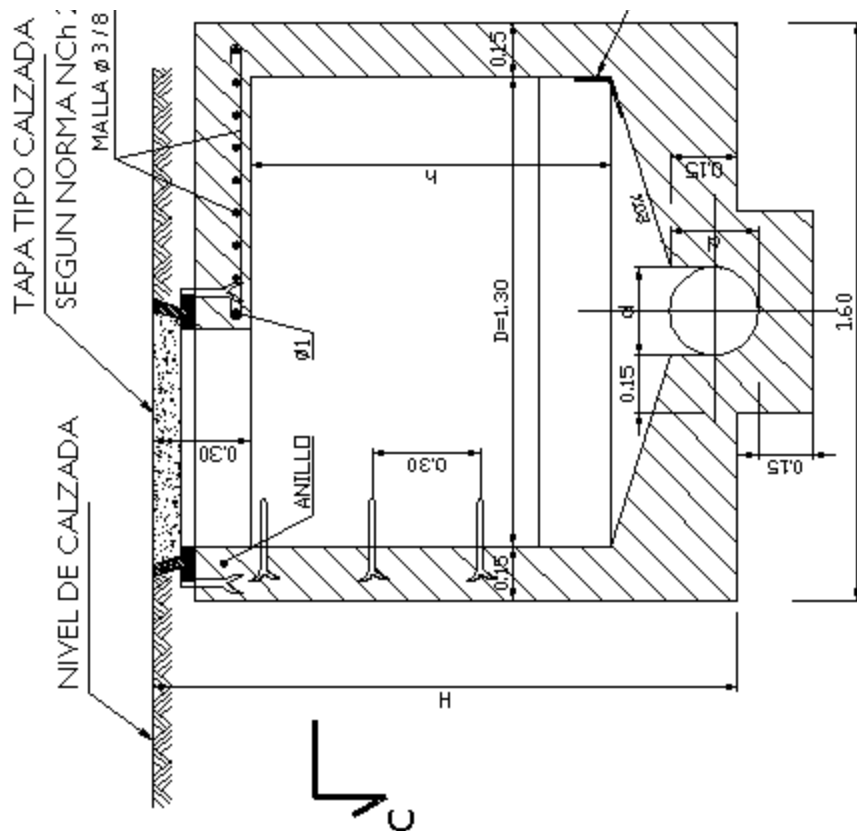
# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

RADIER N° I  
CORTE C-C



CAMARA TIPO b  
CORTE D-D



CONTENIDO:  
CAMARA TIPO b

FECHA:  
2008

LAMINA N° 22.5

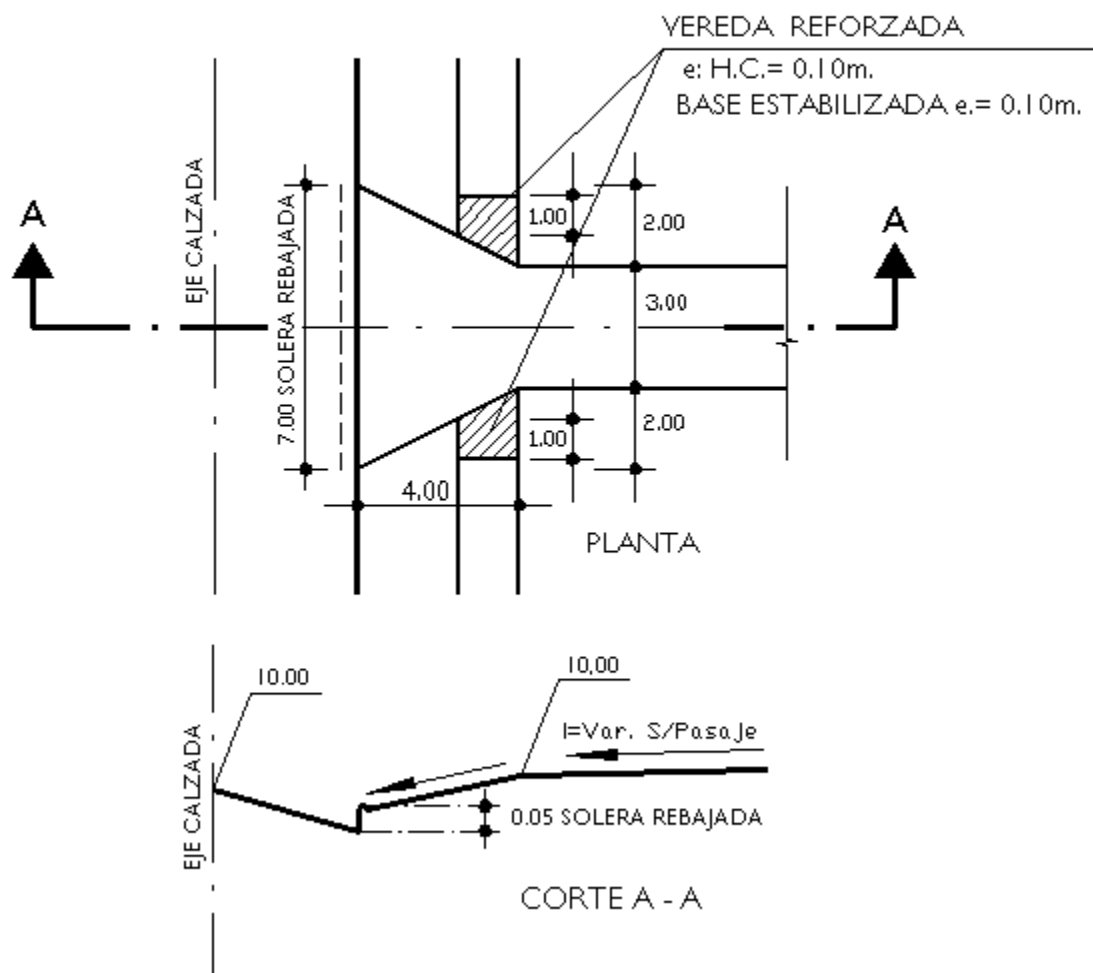


# MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO

CODIGO DE NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE OBRAS DE PAVIMENTACION

## DETALLE ENCUENTRO CALLE - PASAJE

ESCALA 1:200



CONTENIDO:  
DETALLE ENCUENTRO PASAJE CON CALLE

FECHA:  
2008

LAMINA N°  
Apéndice I.1



ANEXOS





## ANEXO SECCIÓN 2

Las especificaciones técnicas de este Anexo son una adaptación del artículo 512 de las especificaciones técnicas españolas del año 2002.

### ART. A 2.1 SUELOS DE SUBRASANTE ESTABILIZADOS EN SITIO CON CEMENTO O CAL

#### A 2.1.1. DEFINICIÓN

Se define como suelo estabilizado en sitio la mezcla homogénea y uniforme de un suelo con cal o con cemento, y eventualmente agua, en la misma obra, la cual convenientemente compactada, tiene por objeto disminuir la susceptibilidad al agua del suelo o aumentar su resistencia, para su uso en la formación de subrasantes.

La ejecución de un suelo estabilizado en sitio incluye las siguientes operaciones:

- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- Preparación de la superficie existente.
- Disgregación del suelo.
- Humectación o desecación del suelo.
- Distribución de la cal o del cemento.
- Ejecución de la mezcla.
- Compactación.
- Terminación de la superficie.
- Curado y protección superficial.

Según sus características finales se establecen tres tipos de suelos estabilizados en sitio, denominados respectivamente: S-EST1, S-EST2 y S-EST3. Los dos primeros se pueden conseguir con cal o con cemento y pueden emplearse en subrasantes para aumentar la capacidad de soporte, mientras que el tercer tipo se realizará necesariamente con cemento y puede emplearse como sub-base o base en vías de Servicio, Locales o Pasajes.

#### A 2.1.2. MATERIALES

Lo dispuesto en este artículo respeta lo establecido en la legislación vigente en materia ambiental, seguridad, salud, almacenamiento y transporte de productos de la construcción.

##### A 2.1.2.1. Cal.

Salvo justificación en contrario, para la estabilización de suelos se usan cales aéreas hidratadas de acuerdo la NCh. 2120 Of. 2004.

Las Especificaciones Técnicas Especiales, o en su defecto el ITO o Profesional Responsable, fijan la clase de cal según el tipo de suelo que se vaya a estabilizar.

#### A 2.1.2.2. Cemento.

El cemento a utilizar se emplea de acuerdo a la norma NCh. 147 Of.1969.

No se emplean cementos de aluminato de calcio, ni mezclas de cemento con adiciones que no hayan sido realizadas en la fábrica.

Si el contenido de sulfatos solubles (SO<sub>3</sub>) es superior al cinco por mil (0,5%) en masa, se emplea un cemento resistente a los sulfatos.

El fraguado no puede tener lugar antes de las dos horas (2 h). No obstante, si la estabilización se realizase con temperatura ambiente superior a treinta grados Celsius (30°C), el principio de fraguado, se determina con dicha norma, pero realizando los ensayos a una temperatura de cuarenta más menos dos grados Celsius (40 ± 2°C), y no puede tener lugar antes de una hora (1 h).

#### A 2.1.2.3. Suelo.

##### A 2.1.2.3.1. Características generales.

a.) Los materiales que se vayan a estabilizar en sitio con cal o con cemento son suelos de la subrasante u otros materiales locales que no contengan, en ningún caso, materia orgánica, sulfatos, sulfuros, fosfatos, nitratos, cloruros u otros compuestos químicos en cantidades perjudiciales (en especial para el fraguado, en el caso de que se emplee cemento).

b.) Si el contenido de sulfatos solubles (SO<sub>3</sub>) en el suelo que se vaya a estabilizar, determinado según la NCh. 1444 Of.1980, fuera superior al cinco por mil (0,5%) en masa, se emplea un cemento resistente a los sulfatos.

c.) Es necesario que los materiales que se vayan a estabilizar con cemento no presenten reactividad potencial con los álcalis de éste. En materiales sobre los que no exista suficiente experiencia en su comportamiento en mezclas con cemento, realizado el análisis químico de la concentración de SiO<sub>2</sub> y de la reducción de la alcalinidad R (según la UNE 146507-1), el material es considerado potencialmente reactivo si:

$SiO_2 > R$  cuando  $R \geq 70$ .

$SiO_2 > 35 + 0,5R$  cuando  $R < 70$ .

##### A 2.1.2.3.2. Granulometría.

Se requiere que los suelos que se vayan a estabilizar en sitio con cal, cumplan lo indicado en la Tabla A 2-1:

TABLA A 2-1: GRANULOMETRÍA DEL SUELO EN LAS ESTABILIZACIONES CON CAL

TIPO DE SUELO ESTABILIZADO	Abertura de los tamices [mm]	
	80	0,08
	% que pasa (en masa)	% que pasa (en masa)
S-EST1 y S-EST2	100	≥ 15

Por su parte, se requiere que los suelos que se vayan a estabilizar en sitio con cemento cumplan, bien en su estado natural o bien, tras un tratamiento previo con cal, lo indicado en la Tabla A 2-2:

TABLA A 2-2. GRANULOMETRÍA DEL SUELO EN LAS ESTABILIZACIONES CON CEMENTO.

TIPO DE SUELO ESTABILIZADO	Abertura de los tamices [mm]		
	80	2	0,08
	% que pasa (en masa)	% que pasa (en masa)	% que pasa (en masa)
S-EST1 y S-EST2 S-EST3	100	> 20	< 50 < 35

#### A 2.1.2.3.3. Composición química.

Es necesario que los suelos que se vayan a estabilizar in sitio con cal o cemento cumplan lo indicado en la Tabla A 2-3:

TABLA A 2-3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL SUELO

CARACTERÍSTICA	NORMA	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO		
		S-EST1	S-EST2	S-EST3
Materia Orgánica (MO) (% en masa)	ASTM C40 Of. 04.	< 2	< 1	
Sulfatos solubles (SO <sub>3</sub> ) (% en masa)	NCh. 1444 Of. 1980.	≤ 1		

#### A 2.1.2.3.4. Plasticidad.

Se requiere que los suelos que se vayan a estabilizar in sitio con cal cumplan lo indicado en la Tabla A 2-4:

TABLA A 2-4. PLASTICIDAD DEL SUELO EN LAS ESTABILIZACIONES CON CAL

TIPO DE SUELO ESTABILIZADO	INDICE DE PLASTICIDAD (IP) (UNE 103104)
S-EST1	≥ 12
S-EST2	≥ 12 y ≤ 40

Si el índice de plasticidad fuera superior a cuarenta (40), las Especificaciones Técnicas Especiales o en su defecto el ITO o Profesional Responsable, puede ordenar que la mezcla del suelo con la cal se realice en dos (2) etapas.

Por su parte, se requiere que los suelos que se vayan a estabilizar in sitio con cemento cumplan lo indicado en la Tabla A 2-5:

**TABLA A 2-5. PLASTICIDAD DEL SUELO EN LAS ESTABILIZACIONES CON CEMENTO**

CARACTERÍSTICA	NORMA	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO		
		S-EST1	S-EST2	S-EST3
LIMITE LIQUIDO (LL)	NCh 1517/10f.1979		< 40	
INDICE DE PLASTICIDAD (IP)	NCh 1517/20f.1979	< 15		

Quando interese utilizar suelos con un índice de plasticidad superior al indicado, las Especificaciones Técnicas Especiales, o en su defecto el Inspector Técnico de la Obra o el Profesional Responsable puede ordenar un tratamiento previo con cal, con una dotación mínima del uno por ciento (1%) en masa del suelo seco, de manera que el índice de plasticidad satisfaga las exigencias de la Tabla A 2-5.

**A 2.1.2.4. Agua.**

Se requiere que el agua cumpla lo estipulado en la norma chilena NCh. 1498 Of.1982.

**A 2.1.3. TIPO Y COMPOSICIÓN DEL SUELO ESTABILIZADO**

**A 2.1.3.1. Consideraciones.**

En las Especificaciones Técnicas Especiales se define el tipo y la composición del suelo estabilizado. Es recomendable que su contenido de cal o cemento y resistencia a la compresión no confinada cumplan lo indicado en la Tabla A 2-6.

Se requiere que los suelos estabilizados no sean susceptibles de ningún tipo de meteorización o de alteración física o química apreciables bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en el lugar de empleo y que tampoco den origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del pavimento o contaminar los suelos o corrientes de agua.

**TABLA A 2-6. ESPECIFICACIONES DEL SUELO ESTABILIZADO EN SITIO.**

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	NORMA	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO		
			S-EST1	S-EST2	S-EST3
Contenido de cal o cemento	% en masa del suelo seco		≥ 2	≥ 3	
Compresión simple a 7 días	Mpa	NCh 1037 Of. 1977	-	-	≥1,5; ≤ 4,5

En el caso de los suelos estabilizados con cal (las probetas fabricadas son similares a las empleadas para la realización del ensayo Proctor modificado (\*) según la NCh. 1534/2 Of.1979), entre la mezcla del suelo con cal y la compactación, transcurre un tiempo semejante al previsto entre esas mismas operaciones, en el proceso de ejecución de las obras.

El suelo estabilizado en sitio con cemento tiene un plazo de trabajabilidad tal, que permita completar la compactación de una franja, antes de que haya finalizado dicho plazo en la franja adyacente estabilizada previamente, no pudiendo ser inferior al indicado en la Tabla A 2-7:

(\*) Técnica adoptada internacionalmente para medir el comportamiento de estabilizaciones, aunque el ensayo es de suelos.

TABLA A 2-7: PLAZO MÍNIMO DE TRABAJABILIDAD ( $T_{PM}$ ) DEL SUELO ESTABILIZADO EN SITIO CON CEMENTO

TIPO DE OBRA	$t_{pm}$ [min]
Anchura completa	120
Por franjas	180

#### A 2.1.4. EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

##### A 2.1.4.1. Equipos.

Se recomienda cumplir, en todo caso, lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad, salud y de transporte, en lo referente a los equipos empleados en la ejecución de las obras.

No se utiliza en la ejecución de los suelos estabilizados en sitio con cal o con cemento ningún equipo que no haya sido previamente aprobado por el ITO o Profesional Responsable.

Para la ejecución de los suelos estabilizados en sitio se emplean equipos mecánicos. Estos son equipos independientes que realizan por separado las operaciones de disgregación, distribución de la cal o del cemento, humectación, mezcla y compactación, o bien, equipos que realizan dos o más de estas operaciones, excepto la compactación, de forma simultánea.

La mezcla en sitio del suelo con cal o con cemento se hace mediante equipos autopropulsados que permitan una suficiente disgregación de aquél hasta la profundidad establecida en los Planos. Si dicha disgregación no hubiera sido previamente obtenida por escarificación y una mezcla uniforme de ambos materiales en una sola pasada, dicho equipo cuenta con una unidad específica para realizar estas operaciones de forma secuencial, disponiendo además, de los sistemas de control y de regulación de la profundidad de mezcla y de un sistema de inyección del agua o de la lechada.

En zonas tales que por su reducida extensión, su pendiente o su proximidad a obras de paso o de drenaje, a muros o estructuras, no permitan el empleo del equipo que normalmente se esté utilizando, se emplean los medios adecuados a cada caso, de forma que las características obtenidas no difieran de las exigidas en las demás zonas.

##### A 2.1.4.2. Distribución a mano.

En zonas en que, por su reducida extensión, no se justifique el empleo de maquinaria, el cemento se puede distribuir a mano. Para ello, los sacos se colocan sobre el suelo, formando filas longitudinales y transversales, a una distancia adecuada unos de otros, según la dosificación que corresponda. La distancia entre las filas longitudinales es aproximadamente igual a la distancia entre las transversales. Las operaciones de distribución se suspenden en caso de viento fuerte. El cemento extendido que haya sido desplazado se reemplaza antes del mezclado.

Se acepta una dosificación en polvo en obras de menos de 70.000 m<sup>2</sup> o cuando sea conveniente una reducción de la humedad natural del suelo, siempre que lo autorice expresamente el Inspector Técnico de la Obra o el Profesional Responsable. En este caso y siempre que se cumplan los requisitos

de la legislación ambiental, seguridad y salud, se emplean equipos con dosificación ligada a la velocidad de avance, que pueden consistir en camiones-silo o en estanques remolcados con tolvas acopladas en la parte posterior con compuerta regulable. Si la descarga del cemento o de la cal sobre el suelo a estabilizar se realiza desde una altura superior a diez centímetros (10 cm), el dispositivo de descarga se protege con faldones cuya parte inferior diste más de diez centímetros (10 cm) de la superficie.

#### A 2.1.4.3. Dosificación.

Salvo justificación en contrario, el cemento o la cal se dosifican como lechada. Si así ocurre, el equipo para su fabricación tiene un mezclador con alimentación volumétrica de agua y dosificación ponderal del conglomerante. El equipo de estabilización está provisto de un dosificador-distribuidor volumétrico de lechada, con bomba de caudal variable y dispositivo de rociado, así como de control automático programable de dosificación, que permita adecuar las dosificaciones a la fórmula de trabajo correspondiente, según la profundidad y la anchura de la capa que se vaya a estabilizar y según el avance de la máquina, con las tolerancias fijadas en las Especificaciones Técnicas Especiales.

#### A 2.1.4.4. Compactadores.

Se recomienda que:

Todos los compactadores sean autopropulsados, tengan inversores del sentido de la marcha de acción suave y estén dotados de dispositivos para mantenerlos húmedos en caso necesario. La composición del equipo de compactación posee como mínimo un (1) compactador vibratorio de rodillo metálico y un (1) compactador de neumáticos.

El compactador vibratorio dispone de un rodillo metálico con una carga estática sobre la generatriz no inferior a trescientos newtons por centímetro (300 N/cm) y capaz de alcanzar una masa de al menos quince toneladas (15 t) con amplitudes y frecuencias de vibración adecuadas. El compactador de neumáticos es capaz de alcanzar una masa de al menos veintiún toneladas (21 t) y una carga por rueda de cinco toneladas (5 t), con una presión de inflado que pueda alcanzar al menos ocho décimas de megapascal (0,8 MPa).

Los compactadores de rodillos metálicos no presenten surcos ni irregularidades en ellos.

Los compactadores vibratorios tengan dispositivos automáticos para eliminar la vibración al invertir el sentido de la marcha.

Los de neumáticos tengan ruedas lisas, en número, tamaño y configuración tales que permitan el solape de las huellas delanteras con las huellas traseras.

El ITO o Profesional Responsable apruebe el equipo de compactación que se vaya a emplear, su composición y las características de cada uno de sus componentes, que sean las necesarias para conseguir una densidad adecuada y homogénea del suelo estabilizado en todo su espesor.

En los lugares inaccesibles para los equipos de compactación normales, se emplean otros de tamaño y diseño adecuados para la labor que se pretenda realizar.

### **A 2.1.5. EJECUCIÓN DE LAS OBRAS**

#### **A 2.1.5.1. Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.**

La estabilización de suelos en sitio con cal o con cemento no se puede iniciar en tanto que el ITO o Profesional Responsable no haya aprobado la correspondiente fórmula de trabajo, previo estudio en laboratorio inscrito en MINVU.

Se recomienda que:

La dosificación mínima de conglomerante referida a la masa total de suelo seco y, en su caso, por metro cuadrado (m<sup>2</sup>) de superficie, no sea inferior a la mínima fijada en la Tabla 2-8.

El contenido de humedad del suelo se determine inmediatamente antes de su mezcla con la cal o con el cemento, y el de la mezcla en el momento de su compactación.

La resistencia a compresión simple a la misma edad, según el tipo de suelo estabilizado, cumpla lo fijado en la Tabla 2-8.

El plazo de trabajabilidad en el caso de las estabilizaciones con cemento, cumpla lo indicado en la Tabla 2-9.

Si la marcha de los trabajos lo aconsejase, el ITO o Profesional Responsable puede modificar la fórmula de trabajo, a la vista de los resultados obtenidos de los ensayos, pero respetando la dosificación mínima de cal o de cemento, la resistencia a compresión simple a los siete días (7 d), y las demás especificaciones fijadas en este artículo para la unidad terminada. En todo caso, se estudia y aprueba otra fórmula de trabajo, de acuerdo con lo indicado en este apartado, cada vez que varíen las características del suelo a estabilizar, de alguno de los componentes de la estabilización o si varían las condiciones ambientales.

La tolerancia admisible, respecto a la fórmula de trabajo, del contenido de humedad del suelo estabilizado en el momento de su compactación, es de dos puntos ( $\pm 2\%$ ) respecto a la humedad óptima definida en el ensayo Proctor modificado.

En el caso de suelos inadecuados o marginales susceptibles de hinchamiento o colapso, la humedad de la mezcla y grado de compactación más conveniente, es objeto de estudio especial para determinar la humedad de compactación.

#### **A 2.1.5.2. Preparación de la superficie existente.**

Si se añade suelo de aportación para corregir las características del existente, se mezclan ambos en todo el espesor de la capa que se vaya a estabilizar, antes de iniciar la distribución de la cal o del cemento.

Si el suelo que se va a estabilizar fuera en su totalidad de aportación, se comprueba, antes de extenderlo, que la superficie subyacente tenga la densidad exigida y las rasantes indicadas en el Proyecto, con las tolerancias establecidas en la especificación correspondiente. Si en dicha superficie existieran irregularidades que excedan de las mencionadas tolerancias, se corrigen de acuerdo con las especificaciones de la unidad de obra correspondiente.



#### A 2.1.5.3. Disgregación del suelo.

Cuando se establezca el suelo de la subrasante de la calle, éste se disgrega en toda la anchura de la capa que se vaya a estabilizar y hasta la profundidad necesaria para alcanzar, una vez compactada, el espesor de estabilización señalado en los Planos.

El suelo que se vaya a estabilizar se disgrega hasta conseguir una eficacia mínima del cien por ciento (100%), referida al tamiz 25 mm de la NCh. 1022 Of.1976, y del ochenta por ciento (80%) en estabilizaciones para obtener S-EST-3 y S-EST-2, y del sesenta por ciento (60%) en estabilizaciones S-EST-1, referida al tamiz 5 mm de la NCh. 1022 Of.1976.

La eficacia de disgregación se define por la relación entre el tamizado en obra del material húmedo y el tamizado en laboratorio de ese mismo material desecado y desmenuzado, por el tamiz al que se refiere.

Es recomendable que el suelo disgregado no presente en ninguna circunstancia elementos ni grumos de tamaño superior a los ochenta milímetros (80 mm). La disgregación se puede hacer en una sola etapa, pero en algunos tipos de suelos puede haber dificultades para alcanzar el grado de disgregación necesario, por exceso, por defecto de humedad o por un índice de plasticidad elevado. En el primer caso se corrige el grado de humedad del suelo, según el apartado 2.10.5.4.

En los casos de estabilización con cal de suelos con índice de plasticidad elevado, en los que no se consiga la eficacia de disgregación requerida, puede ser necesario realizar la disgregación, distribución y mezcla de la cal en dos etapas, de manera que la cal añadida en la primera etapa contribuya a hacer el suelo más fiable y a conseguir el grado de finura deseado en la mezcla final. Salvo justificación en contrario, en esa primera etapa basta con que la totalidad de los grumos tengan un tamaño inferior a cincuenta milímetros (50 mm) y puede ser conveniente elevar la humedad del suelo entre dos y diez (2 a 10) puntos porcentuales por encima de la óptima de compactación.

En la mezcla inicial con cal, el material tratado se compacta ligeramente para evitar variaciones de humedad y reducir la carbonatación de la cal y se deja curar de veinticuatro a cuarenta y ocho horas (24 a 48 h). Este plazo de curado puede ser aumentado hasta siete días (7 d). Tras los 7 días (7 d), a criterio del Inspector Técnico de las Obras o Profesional Responsable, si el índice de plasticidad del suelo (NCh.1517/2Of.1978), fuera superior a cuarenta (40), transcurrido este plazo de curado inicial se procede a la realización de la segunda etapa, en la que se llevan a cabo todas las operaciones de disgregación, corrección de humedad, distribución de cal, mezcla, compactación, terminación y curado final, de manera similar a como se prescriben para las estabilizaciones convencionales realizadas en una sola etapa.

#### A 2.1.5.4. Humectación o desecación del suelo.

La humedad del suelo es tal que permite que, con el equipo que se vaya a realizar la estabilización, se consiga el grado de disgregación requerido y su mezcla con la cal o con el cemento sea total y uniforme.

En el caso de ser necesaria la incorporación de agua a la mezcla para alcanzar el valor de humedad fijado por la fórmula de trabajo, se consideran las posibles evaporaciones o precipitaciones que puedan tener lugar durante la ejecución de los trabajos. Dicha incorporación se realiza, preferentemente, por el propio equipo de mezcla.

El ITO o Profesional Responsable puede autorizar el empleo de un estanque regador independiente; en este caso, el agua se agrega uniformemente disponiéndose los equipos necesarios para asegurar la citada uniformidad e incluso realizando un desmenuzamiento previo del suelo si fuera necesario. Es recomendable evitar que el agua escurra por las roderas dejadas por el estanque regador, o se acumule en ellas. Asimismo, no se permiten paradas del equipo mientras esté regando, con el fin de evitar la formación de zonas con exceso de humedad.

Previa aceptación del ITO o Profesional Responsable los suelos cohesivos se humedecen, en su caso, el día anterior al de la ejecución de la mezcla, para que la humedad sea uniforme.

En los casos en que la humedad natural del material sea excesiva, se toman las medidas adecuadas para conseguir el grado de disgregación y la compactación previstos, pudiéndose proceder a su desecación por oreo o a la adición y mezcla de materiales secos; o se puede realizar, previa autorización del Inspector Técnico de la Obra o Profesional Responsable, una etapa previa de disgregación y mezcla con cal para la corrección del exceso de humedad del suelo, tanto si finalmente se va a estabilizar con cal o con cemento.

#### A 2.1.5.5. Distribución de la cal o del cemento.

La cal o el cemento se distribuyen uniformemente mediante equipos mecánicos con la dosificación fijada en la fórmula de trabajo, en forma de lechada y directamente en el mezclador.

Antes de iniciar el proceso en obra se purgan y ponen a punto las bombas y los dispersores de agua y de lechada, fuera del lugar de empleo, para garantizar las dotaciones establecidas en la fórmula de trabajo de manera continua y uniforme. En cada parada del equipo se realiza una limpieza de los difusores, como mínimo dos (2) veces al día.

El ITO o Profesional Responsable puede autorizar la distribución de la cal o del cemento en seco en obras de menos de 70.000 m<sup>2</sup>, o cuando sea conveniente por el exceso de humedad natural del suelo.

a.) En el caso de que la dosificación se realice en seco, se coordinan adecuadamente los avances del equipo de dosificación de conglomerante y del de mezcla, no permitiéndose que haya entre ambos un desfase superior a veinte metros (20 m). La extensión se detiene cuando la velocidad del viento fuera excesiva, a juicio del ITO o Profesional Responsable, cuando supere los diez metros por segundo (10 m/s), o cuando la emisión de polvo afecte a zonas pobladas, ganaderas o especialmente sensibles. No puede procederse a la distribución de la cal o del cemento en seco mientras queden concentraciones superficiales de humedad.

b.) Sólo en zonas de reducida extensión, no accesibles a los equipos mecánicos o bien en áreas inferiores a 70.000 m<sup>2</sup>, el ITO o Profesional Responsable puede autorizar la distribución manual. Para ello, se puede emplear sacos de cal o de cemento que se colocan sobre el suelo formando una cuadrícula de lados aproximadamente iguales, correspondientes a la dosificación aprobada. Una vez abiertos los sacos, su contenido es distribuido rápida y uniformemente mediante rastrillos manuales o rastras de púas remolcadas.

En la distribución del conglomerante se toman las medidas adecuadas para el cumplimiento de la legislación que, en materia ambiental, de seguridad laboral, de transporte y almacenamiento de materiales, estuviese vigente.

#### A 2.1.5.6. Ejecución de la mezcla.

Inmediatamente después de la distribución del conglomerante se procede a su mezcla con el suelo. Se obtiene una dispersión homogénea, lo que se reconoce por un color uniforme de la mezcla y la ausencia de grumos. Todo el conglomerante se mezcla con el suelo disgregado antes de haber transcurrido una hora (1 h) desde su aplicación.

El equipo de mezcla cuenta con los dispositivos necesarios para asegurar un amasado homogéneo en toda la anchura y profundidad del tratamiento. Si se detectaran segregaciones, partículas sin mezclar, o diferencias de contenido de cemento, de cal o de agua en partes de la superficie estabilizada, se detiene el proceso realizando las oportunas correcciones hasta solucionar las deficiencias.

El material estabilizado con cemento no puede permanecer más de media hora (1/2 h) sin que se proceda al inicio de la compactación.

#### A 2.1.5.7. Compactación.

En el momento de iniciar la compactación, la mezcla está disgregada en todo su espesor y se recomienda que su grado de humedad sea el correspondiente al de la humedad óptima, obtenida en forma similar a la del ensayo Proctor modificado, con las tolerancias admitidas en el apartado 2.10.5.1.

Se compacta en una sola vez y se continúa hasta alcanzar la densidad especificada. En el caso de las estabilizaciones con cemento, el proceso completo desde la mezcla del cemento con el agua hasta la terminación de la superficie, se realiza dentro del plazo de trabajabilidad de la mezcla.

La compactación se realiza de manera continua y uniforme. Si el proceso completo de ejecución, incluida la mezcla, se realiza por franjas, al compactar una de ellas se amplía la zona de compactación para que incluya, al menos, quince centímetros (15 cm) de la anterior. Se dispone en los bordes una contención lateral adecuada.

Los rodillos llevan su rueda motriz del lado más cercano al equipo de mezcla. Los cambios de dirección de los compactadores se realizan sobre mezcla ya compactada y los cambios de sentido se efectúan con suavidad. Los elementos de compactación se conservan siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos.

Durante la compactación, la superficie del suelo estabilizado en sitio se conforma con motoniveladora, eliminando irregularidades, huellas o discontinuidades, para lo cual el Inspector Técnico de la Obra o Profesional Responsable puede verificar, si es necesario, hacer una ligera escarificación de la superficie y su posterior recompactación, previa adición del agua necesaria, que en el caso de estabilizar con cemento tiene en cuenta el plazo de trabajabilidad.

#### A 2.1.5.8. Terminación de la superficie.

Una vez terminada la compactación no se permite aumentar el espesor. Sin embargo, siempre que esté dentro del plazo de trabajabilidad de la mezcla, se puede hacer un perfilado con motoniveladora hasta conseguir la rasante y sección definidas en los Planos del proyecto, con las tolerancias establecidas en este artículo. A continuación, se procede a eliminar de la superficie todo el material suelto, por medio de barredoras mecánicas de púas no metálicas y a la recompactación posterior del área corregida.

Los materiales procedentes del perfilado son retirados a vertedero según lo dispuesto en la legislación vigente sobre medio ambiente.

#### A 2.1.5.9. Ejecución de juntas.

Después de haber extendido y compactado una franja, se realiza la siguiente mientras el borde de la primera se encuentre en condiciones de ser compactado; en caso contrario, se ejecuta una junta longitudinal, lo cual se evita en la medida de lo posible.

Entre las sucesivas pasadas del equipo de estabilización se produce un solape transversal, con el fin de evitar la existencia de zonas insuficientemente tratadas o la acumulación de segregaciones. Este solape viene impuesto por las anchuras de las máquinas y de la franja a tratar y generalmente, esta comprendido entre quince y veinticinco centímetros (15 a 25 cm). Se recomienda que la máquina dosificadora-mezcladora tenga cerrados los difusores de cal o de cemento y de agua correspondientes a la franja de solape para evitar la producción de suelo estabilizado con dotaciones distintas de la especificada.

En estabilizaciones con cemento, se disponen juntas transversales de trabajo cuando el proceso constructivo se interrumpe más del tiempo de trabajabilidad de la mezcla. Las juntas transversales de trabajo se efectúan disgregando el material de una zona ya tratada en la longitud suficiente, en general, no menos de un diámetro del rotor-fresador, bajando hasta la profundidad especificada sin avanzar, para que pueda regularse con precisión la incorporación de la cal o del cemento en la zona no tratada.

#### A 2.1.5.10. Curado y protección superficial.

Una vez finalizada la compactación y siempre dentro de la misma jornada de trabajo, se aplica un riego de curado. Hasta la aplicación del riego de curado se mantiene la superficie constantemente húmeda, para lo cual se riega con la debida frecuencia, pero teniendo cuidado para que no se produzcan encharcamientos.

Cuando la capa de suelo estabilizado no constituya la coronación de la explanada, puede prescindirse del riego de curado siempre que se mantenga la superficie húmeda durante un periodo mínimo de tres a siete días (3 a 7 d) a partir de su terminación, y previa autorización del ITO o Profesional Responsable.

Si se prevé la posibilidad de heladas dentro de un plazo de siete días (7 d) a partir de la terminación, el suelo estabilizado se protege contra aquéllas, siguiendo las instrucciones del ITO o del Profesional Responsables.

En los suelos estabilizados con cemento mientras no se hayan finalizado la compactación, la terminación de la superficie y el curado final del suelo estabilizado en sitio con cemento, se prohíbe todo tipo de circulación que no sea imprescindible para dichas operaciones. Una vez ejecutado el riego de curado, no pueden circular sobre él, vehículos ligeros en los tres (3) primeros días, ni vehículos pesados en los siete primeros días (7d), salvo con autorización expresa del ITO o Profesional Responsable y estableciendo previamente una protección del riego de curado, mediante la extensión de una capa de árido de cobertura. Dicha protección, garantiza la integridad del riego de curado durante un período mínimo de siete días (7 d) y se barre antes de ejecutar otra unidad de obra sobre el suelo estabilizado. Se procura una distribución uniforme del tráfico de obra en toda la anchura de la vía.

En el caso de las estabilizaciones con cal y si se hubieran empleado para la compactación rodillos cuyo peso individual fuera superior a veintiún toneladas (21 t), el ITO o Profesional Responsable puede autorizar la puesta en obra de la siguiente capa de firme inmediatamente después de la terminación de la superficie, prescindiendo del curado final.

En el caso de estabilizaciones con cemento, el ITO o Profesional Responsable fija en función de los tipos, ritmos y programa de trabajo, un plazo para la extensión de la capa superior, que es el mayor posible, siempre que se impida la circulación del tráfico de obra sobre la capa estabilizada. Se recomienda que, en ningún caso, el plazo de extensión de las capas superiores, sea inferior a siete días (7 d).

#### **A 2.1.6. ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA**

##### **A 2.1.6.1. Resistencia.**

Es preciso que la resistencia a la compresión simple no confinada del suelo estabilizado en sitio con cal o cemento cumpla lo especificado en la Tabla 2-8, según el tipo de suelo y estabilización que se pretenda conseguir.

##### **A 2.1.6.2. Terminación, rasante, anchura y espesor.**

Es preciso que:

La superficie de la capa estabilizada terminada, presente un aspecto uniforme, exenta de segregaciones, de ondulaciones y con las pendientes adecuadas.

La rasante de la superficie terminada no supere a la teórica en ningún punto, ni quede por debajo de ella en más de treinta milímetros (30 mm) en estabilizaciones de fondos de desmonte y formación de núcleos, de lo especificado de acuerdo a su empleo.

En todos los semiperfiles se compruebe la anchura de la capa estabilizada, que en ningún caso sea inferior, ni supere en más de diez centímetros (10 cm), a la establecida en los Planos de secciones tipo.

El espesor de la capa no sea inferior en ningún punto al previsto para ella en los Planos de secciones tipo.

##### **A 2.1.6.3. Limitaciones de la ejecución.**

Se recomienda que salvo autorización expresa del Inspector Técnico de Obras o Profesional Responsable, no se de inicio de la estabilización en sitio:

a.) Cuando la temperatura ambiente a la sombra sea superior a los treinta y cinco grados Celsius (35°C).

b.) Cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5°C) y exista previsión de heladas, el Inspector Técnico de la Obra o Profesional Responsable puede bajar este límite, a la vista de los resultados de compactación obtenidos.

c.) Cuando se produzcan precipitaciones atmosféricas intensas.

En los casos en los que el ITO o Profesional Responsable autorice la extensión de la cal o del cemento en seco, su distribución se interrumpe cuando la fuerza del viento sea excesiva, a juicio de aquél, teniendo siempre en cuenta las medidas necesarias para el cumplimiento de la legislación que, en materia ambiental, de seguridad laboral, de transporte y almacenamiento de materiales, esté vigente.

#### A 2.1.6.4. Control.

Las Especificaciones Técnicas Especiales fijan, para cada caso, el método de control, tamaño del lote, tipo y el número de ensayos a realizar. También se establecen los métodos rápidos de control que puedan emplearse y las condiciones básicas de empleo.

La realización de los ensayos en sitio y la toma de muestras se realiza en puntos previamente seleccionados mediante muestreo aleatorio, tanto en sentido longitudinal como transversal; de tal forma que haya al menos una toma o un ensayo por cada 100 metros lineales.

##### A 2.1.6.4.1. Control de procedencia de los materiales.

a.) Cal: Se siguen las especificaciones de la NCh. 2120 Of. 2004.

b.) Cemento: Se siguen las especificaciones de la norma NCh. 147 Of. 1969.

c.) Suelo.

Antes de iniciar la estabilización, se identifica cada tipo de suelo, determinando su aptitud. El reconocimiento se realiza de la forma más representativa posible, mediante sondeos, calicatas u otros métodos de toma de muestras.

De cada tipo de suelo, y sea cual fuere la cantidad que se va a estabilizar, se toman como mínimo cuatro (4) muestras, añadiéndose una (1) más por cada cinco mil metros cúbicos (5.000 m<sup>3</sup>), o fracción, de exceso sobre veinte mil metros cúbicos (20.000 m<sup>3</sup>) de suelo.

Sobre cada muestra se realizan los siguientes ensayos:

c.1) Granulometría por tamizado, según NCh. 1533.a 1978.

c.2) Límite líquido e índice de plasticidad, según las NCh. 1517/1 Of.1979 y NCh. 1517/2 Of.1979.

c.3) Contenido de materia orgánica, según ASTM C40.Of 2004.

c.4) Contenido de sulfatos solubles (expresados en SO<sub>3</sub>), según la NCh. 1444 Of.1980.

c.5) Resistencia a la Compresión no Confinada a los 7 días. En el caso de estabilización con cemento el ensayo debe ser ejecutado de acuerdo a la Norma ASTM D1633-00, mientras que si corresponde a estabilización con cal el ensayo debe realizarse según la Norma ASTM D5102-04.

El Inspector Técnico de la Obra o Profesional Responsable puede ordenar la repetición de estos ensayos con nuevas muestras, así como la realización de ensayos adicionales. Se comprueba, además, la retirada de todo el material no apto y la exclusión de vetas no utilizables.

#### A 2.1.6.5. Control de ejecución.

Se desechan los suelos que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo admisible.

Se toma diariamente un mínimo de dos (2) muestras del suelo antes de mezclarlo con la cal o con el cemento, una por la mañana y otra por la tarde, sobre las que se determina su humedad natural, según la NCh. 1515 Of.1979.

Se comprueba la eficacia de disgregación pasando la disgregadora sin mezclar con el conglomerante del orden de veinte metros (20 m) una vez al día. Se considera que se mantienen los resultados de eficacia de disgregación mientras no cambie el tipo de suelo o el contenido de humedad de forma significativa y se mantenga la velocidad de avance y la velocidad del rotor del equipo de disgregación. La frecuencia de ensayo puede ser disminuída por el Inspector Técnico de las Obras o Profesional Responsable, si se observa que la eficacia de disgregación es correcta y no cambia de unos días a otros.

Al menos dos (2) veces al día (mañana y tarde), se controla el funcionamiento de las boquillas de inyección de la lechada de cal o de cemento. Asimismo, se controla diariamente el consumo efectivo de cal o de cemento con la información proporcionada por el equipo para el control del volumen de lechada añadido. En el caso de distribución en seco, se comprueba la dotación de cal o de cemento utilizada mediante el pesaje de bandejas metálicas u otros dispositivos similares colocados sobre la superficie.

Por cada lote de los definidos en el apartado 2.10.6.6, se toman cinco (5) muestras aleatorias del suelo recién mezclado con la cal o con el cemento, sobre las que se determina la resistencia a compresión simple, según la NCh. 1037 Of.1977 para los suelos S-EST3. Las probetas se confeccionan según un procedimiento similar al descrito según los procedimientos del Proctor modificado NCh. 1534/2 Of.1979, con la densidad exigida en obra.

Por cada diez mil metros cúbicos (10.000 m<sup>3</sup>) de suelo estabilizado en sitio con cal o con cemento o una (1) vez a la semana, si se estabiliza una cantidad menor, se realiza un ensayo de densidad de la mezcla, según la NCh. 1534/2 Of.1979.

El ITO o Profesional Responsable puede reducir la frecuencia de ensayos a la mitad (1/2) si considerase que los materiales son suficientemente homogéneos, o si en el control de recepción de la unidad terminada (apartado 2.10.6.6.) se hubiera aprobado diez (10) lotes consecutivos.

Se realizan determinaciones de humedad y de densidad en emplazamientos aleatorios, con una frecuencia mínima de siete (7) por cada lote de los definidos en el apartado 2.10.6.6. En el caso de que se empleen sondas u otros métodos rápidos de control, es preceptiva la calibración y contraste de estos equipos, con los ensayos de determinación de humedad natural, según la NCh. 1515 Of.1979, y de densidad en sitio, según la NCh. 1516 Of.1979.

En caso de que las densidades obtenidas fuesen inferiores a las especificadas, se prosigue el proceso de compactación hasta alcanzar los valores prescritos, lo que sólo sería posible en el caso de las estabilizaciones con cemento, si se estuviera dentro del plazo de trabajabilidad.

Durante la ejecución de las obras se comprueba con la frecuencia necesaria, a juicio del ITO o Profesional Responsable:

- a.) La temperatura y la humedad relativa del aire mediante un termohigrógrafo registrador.
- b.) El espesor estabilizado, mediante un punzón graduado u otro procedimiento aprobado por el ITO o Profesional Responsable.
- c.) La humedad del suelo mediante un procedimiento aprobado por el Inspector Técnico de las Obras o Profesional Responsable.
- d.) La composición y forma de actuación del equipo utilizado en la ejecución de la estabilización, verificando:
- e.) Que el número y el tipo de los equipos sean los aprobados.
- f.) En su caso, el funcionamiento de los dispositivos de disgregación, humectación, limpieza y protección.
- g.) El lastre y el peso total de los compactadores.
- h.) La presión de inflado en los compactadores de neumáticos.
- i.) La frecuencia y la amplitud en los compactadores vibratorios.
- j.) El número de pasadas de cada equipo, especialmente de los compactadores.
- k.) Se realiza como mínimo un (1) control diario de la dotación de emulsión asfáltica empleada para el riego de curado o protección.

#### A 2.1.6.6. Control de recepción de la unidad terminada.

Si durante la construcción apareciesen defectos localizados, como áreas blandas, éstas se corrigen antes de iniciar el muestreo.

Se considera como lote de recepción, que se acepta o rechaza en bloque, al menor que resulte de aplicar los siguientes criterios a una (1) sola capa de suelo estabilizado en sitio con cal o con cemento:

- a.) Doscientos metros cúbicos (200m<sup>3</sup>).
- b.) La fracción construida diariamente.



c.) La fracción construida con el mismo material, de la misma procedencia, con el mismo equipo y procedimiento de ejecución.

Se asignan a cada lote de recepción las probetas fabricadas durante el control de ejecución que le correspondan. En los puntos donde se realice el control de la compactación, se determina el espesor de la capa de suelo estabilizado en sitio con cal o con cemento.

Se compara la rasante de la superficie terminada con la teórica establecida en los Planos del Proyecto, en el eje, encuentros de peralte sin transición, si existieran, y bordes de perfiles transversales cuya separación no exceda de la mitad de la distancia entre los perfiles del Proyecto. En todos los semiperfiles se comprueba la anchura de la capa.

## **ART. A 2.2 SUELOS DE SUBRASANTE CON ESTABILIZACIÓN QUÍMICA EN SITIO**

### **A 2.2.1. DEFINICIÓN**

Se define como suelo estabilizado químicamente en sitio, la mezcla homogénea y uniforme de un suelo con algún aditivo, y eventualmente, agua con algún aditivo, en la propia subrasante, la cual convenientemente compactada, tiene por objeto disminuir la susceptibilidad al agua del suelo o aumentar su resistencia, para su uso en subrasantes.

La ejecución de un suelo estabilizado en sitio incluye las siguientes operaciones:

- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- Preparación de la superficie existente.
- Disgregación del suelo.
- Humectación o desecación del suelo.
- Distribución del estabilizador y aditivo sólido.
- Ejecución de la mezcla.
- Compactación.
- Terminación de la superficie.
- Curado y protección superficial.

Según sus características finales se establecen dos tipos de suelos estabilizados en sitio, denominados respectivamente S-EST1 y S-EST2. Pueden emplearse en subrasantes para aumentar la capacidad de soporte. Los suelos estabilizados S-EST3 se pueden emplear como bases.

Se verifica que los agentes químicos utilizados en la estabilización cumplan con las especificaciones entregadas por el fabricante o distribuidor, así como los ensayos para evaluar las propiedades de desempeño del suelo, de acuerdo a lo establecido en la Norma Chilena NCh. 2505 Of.2001.

Es preciso comprobar que las tecnologías químicas tengan un impacto neutro en los suelos tratados y en el entorno de éstos, mediante aplicar técnicas de “Difracción de Rayos X” y “Lixiviación”, a suelos en estado natural y tratados con el estabilizador químico, demostrando que no exista contaminación.

La técnica de “Lixiviación” se puede aplicar según Norma DIN 3841 I-S4 y TCLP (Procedimiento de Lixiviación Característico de Toxicidad).

#### **A 2.2.2. MATERIALES**

Lo dispuesto en este artículo se ajusta a lo ordenado en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad, salud, almacenamiento y transporte de productos de la construcción.

##### **A 2.2.2.1. Aditivo sólido del Estabilizador químico.**

Su característica se fija en las Especificaciones Técnicas Especiales del estabilizador, siempre que se requieran. Sus características se verifican según el procedimiento establecido en la NCh. 2505 Of.2001.

##### **A 2.2.2.2. Aditivo líquido del Estabilizador químico.**

Su característica se fija en las Especificaciones Técnicas Especiales del estabilizador. Sus características se verifican según el procedimiento establecido en la NCh. 2505 Of.2001.

##### **A 2.2.2.3. Propiedades de desempeño del Estabilizador.**

La efectividad de un estabilizador químico se determina mediante ensayos realizados sobre probetas estabilizadas químicamente y sobre probetas no tratadas químicamente, de manera de comprobar si las propiedades de desempeño de las primeras, mejoran con respecto a las segundas.

##### **A 2.2.2.3.1. Trabajabilidad.**

De acuerdo a la Norma NCh 2505 Of. 2001 se recomienda evaluar esta propiedad mediante uno o más de los ensayos indicados en Tabla A 2-8.

TABLA A 2-8 TRABAJABILIDAD-MÉTODOS DE ENSAYO

Propiedad	Método de ensayo
Densidad máxima en laboratorio <sup>(1)</sup>	
Relación humedad/densidad (ensayo proctor normal)	NCh 1534-1 <sup>(2)</sup>
Relación humedad/densidad (ensayo proctor modificado)	NCh 1534-2 <sup>(2)</sup>
Densidad máxima y mínima de suelos no cohesivos	NCh 1726
Densidad máxima en terreno <sup>(1)</sup>	
Densidad en terreno (método cono de arena)	NCh 1516 <sup>(3)</sup>
Humedad	NCh 1515 <sup>(4)</sup>
Densidad por métodos nucleares	ASTM D 2922 <sup>(5)</sup>
Humedad por métodos nucleares	ASTM D 3017
<p>(1) Queda a criterio del proyectista determinar que valor mínimo de incremento en el nivel de compactación se puede considerar satisfactorio.</p> <p>(2) Para suelos con partículas de tamaño superior a 3/4" y hasta un 30% de partículas retenidas en el tamiz, se debe realizar una corrección de los pesos unitarios y humedades de acuerdo a ASTM D 4914.</p> <p>(3) Si se tienen partículas con tamaño máximo superior a 2", se deben usar aparatos con mayores dimensiones y perforaciones de mayor volumen, tal como se indica en ASTM D4914.</p> <p>(4) Se deben considerar las cantidades mínimas de muestra, que permitan obtener resultados representativos, de acuerdo a lo indicado en ASTM D2216.</p> <p>(5) Para ensayos con retrodispersión el volumen de suelo a ensayar es del orden de 2800 cm<sup>3</sup>, y para ensayos con transmisión directa, del orden de 5700 cm<sup>3</sup>. Esto se debe tomar en cuenta al ensayar suelos cuyas partículas tengan un tamaño máx. no representativo de la masa del suelo.</p>	

Fuente: Norma Chilena NCh 2505 Of.2001.

#### A 2.2.2.3.2. Capacidad de Soporte

De acuerdo a la Norma NCh 2505 Of. 2001 se recomienda evaluar esta propiedad mediante uno o más de los ensayos indicados en Tabla A 2-9.

TABLA A 2-9 CAPACIDAD DE SOPORTE-MÉTODOS DE ENSAYO

Propiedad	Método de ensayo
En suelos finos	
Efectividad en suelos finos	ASTM D 4669
Resistencia a la compresión no confinada	ASTM D 2166 <sup>(1)</sup>
Compresión triaxial consolidado	ASTM D 4767
Placa de carga <sup>(2)</sup>	
Carga estática repetitiva	ASTM D 1195
Carga estática no repetitiva	ASTM D 1196
Módulo resiliente	AASHTO T-294
Deflectometría de impacto	ASTM D 4694
Valor de impacto	ASTM D 5874
En suelos granulares	
Resistencia a la compresión no confinada	ASTM D 2166 <sup>(1)</sup>
	ASTM D 5102
Placa de carga <sup>(2)</sup>	
Carga estática repetitiva	ASTM D 1195
Carga estática no repetitiva	ASTM D 1196
Módulo resiliente	AASHTO T-294
Deflectometría de impacto	ASTM D 4694
(1) El procedimiento y tiempo de curado debe ser el especificado por el productor del estabilizador químico.	
(2) Queda a elección de proyectista la elección del método más adecuado a utilizar.	

Fuente: Norma Chilena 2505 Of. 2001.

#### A 2.2.2.4. Suelo.

##### A 2.2.2.4.1. Características generales.

Los materiales que se vayan a estabilizar, son suelos de la subrasante u otros materiales locales que no contengan, en ningún caso, materia orgánica, sulfatos, sulfuros, fosfatos, nitratos, cloruros u otros compuestos químicos en cantidades perjudiciales (en especial para el fraguado).

##### A 2.2.2.4.2. Granulometría.

Se recomienda que los suelos que se vayan a estabilizar, cumplan, lo indicado en la Tabla A 2-10:

TABLA A 2-10. GRANULOMETRÍA DEL SUELO

TIPO DE SUELO ESTABILIZADO	Abertura de los tamices [mm]		
	80	2	0,08
	% que pasa (en masa)	% que pasa (en masa)	% que pasa (en masa)
S-EST1 y S-EST2	100	-	> 15
S-EST3		≥ 20	≤ 35

A 2.2.2.4.3. Ensayos de Caracterización del suelo.

Previo a la evaluación de las propiedades de desempeño del suelo, se determinan las características del mismo, según lo indicado en Tabla A 2-11.

TABLA A 2-11 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO-MÉTODOS DE ENSAYO

Propiedad	Método de ensayo
Tamaño de partículas	ASTM D 422
Límites de consistencia:	
Límite líquido	NCh 1517-1
Límite plástico	NCh 1517-2
Límite de contracción	NCh 1517-3
Clasificación de suelos	ASTM D 2487

A 2.2.2.4.4. Composición química.

Se recomienda que los suelos que se vayan a estabilizar cumplan lo indicado en la Tabla A 2-12.

TABLA A 2-12: COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL SUELO.

CARACTERÍSTICA	NORMA	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO		
		S-EST1	S-EST2	S-EST3
Matéria Orgánica (MO) (% en masa)	ASTM C40 Of. 04.	< 2	< 1	
Sulfatos solubles (SO <sub>3</sub> ) (% en masa)	NCh. 1444 Of. 1980.	< 1		

A 2.2.2.4.5. Plasticidad.

Se recomienda que los suelos que se vayan a estabilizar cumplan lo indicado en la Tabla A 2-13.

TABLA A 2-13: PLASTICIDAD DEL SUELO.

TIPO DE SUELO ESTABILIZADO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP) [Norma NCh. 1517 Of. 1979]
S-EST1	= 12
S-EST2	= 12 y = 40

Para índice de plasticidad superior a cuarenta (40), las Especificaciones Técnicas Especiales entregan el procedimiento.

A 2.2.2.5. Agua.

Se requiere que el agua cumpla lo estipulado en la norma chilena NCh 1498 Of.1982.

### A 2.2.3. TIPO Y COMPOSICION DEL SUELO ESTABILIZADO

#### A 2.2.3.1. Especificaciones Técnicas Especiales.

Esta define el tipo y la composición del suelo estabilizado, el contenido del estabilizador químico y de aditivo sólido.

Se recomienda que la capacidad de soporte, densidad y resistencia a la compresión no confinada, cumplan lo indicado en la Tabla A 2-14.

TABLA A 2-14. ESPECIFICACIONES DEL SUELO ESTABILIZADO EN SITIO.

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	NORMA	TIPO DE SUELO ESTABILIZADO		
			S-EST1	S-EST2	S-EST3
Compresión simple a 7 días	Mpa	NCh 1037 Of. 1977	-	-	≥1,5; ≤ 4,5

#### A 2.2.3.2. Alteración.

Es preciso que los suelos estabilizados no sean susceptibles de ningún tipo de meteorización, de alteración física o química apreciables, bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en el lugar de empleo. Tampoco pueden dar origen, con el agua, a disoluciones que causen daños a estructuras, a otras capas del firme, contaminar los suelos o corrientes de agua.

#### A 2.2.3.3. Probetas.

En el caso de los suelos estabilizados químicamente, para la fabricación de las probetas (similares a las empleadas para la realización del ensayo Proctor Modificado según la NCh. 1534/2 Of.1979), entre la mezcla del suelo con estabilizador y la compactación transcurre un tiempo semejante al previsto entre esas mismas operaciones en el proceso de ejecución de las obras.

#### A 2.2.3.4. Trabajabilidad.

Es recomendable que el suelo estabilizado en sitio, tenga un plazo de trabajabilidad tal, que permita completar la compactación de una franja, antes de que haya finalizado dicho plazo en la franja adyacente estabilizada previamente, el que se fija en las Especificaciones Técnicas Especiales.

### A 2.2.4. EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

Se recomienda dar cumplimiento a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad, salud y transporte, en lo referente a los equipos empleados en la ejecución de las obras.

#### A 2.2.4.1. Equipos.

Se recomienda no emplear en la ejecución de los suelos estabilizados en sitio algún equipo que no haya sido previamente aprobado por el ITO o el Profesional Responsable.

Se recomienda que:

Para la ejecución de los suelos estabilizados en sitio se empleen equipos mecánicos. Estos pueden ser equipos independientes que realicen por separado las operaciones de disgregación, distribución del estabilizador y su aditivo, humectación, mezcla y compactación, o bien equipos que realicen dos o más de estas operaciones, excepto la compactación, de forma simultánea.

La mezcla en sitio del suelo con el estabilizador se realice mediante equipos autopropulsados que permitan una suficiente disgregación de aquél hasta la profundidad establecida en los Planos, si dicha disgregación no hubiera sido previamente obtenida por escarificación y una mezcla uniforme de ambos materiales en una sola pasada. Además, es aconsejable que dicho equipo cuente con una unidad específica para realizar estas operaciones de forma secuencial, disponga de los sistemas de control, de regulación de la profundidad de mezcla y de un sistema de inyección del agua o de la lechada.

En zonas tales que por su reducida extensión, su pendiente o proximidad a obras de paso o de drenaje, a muros o estructuras, no permitan el empleo del equipo que normalmente se esté utilizando, se empleen los medios adecuados a cada caso, de forma que las características obtenidas no difieran de las exigidas en las demás zonas.

#### A 2.2.4.2. Distribución a mano.

Se recomienda que:

En zonas en que, por su reducida extensión, no se justifique el empleo de maquinaria, el aditivo sólido pueda distribuirse a mano. Para ello, los sacos se colocan sobre el suelo, formando filas longitudinales y transversales, a una distancia adecuada unos de otros, según la dosificación que corresponda. La distancia entre las filas longitudinales es aproximadamente igual a la distancia entre las transversales. Las operaciones de distribución se suspenden en caso de viento fuerte. El aditivo sólido extendido que haya sido desplazado se reemplaza antes del mezclado.

Se pueda dosificar en polvo en obras pequeñas de menos de 70.000 m<sup>2</sup> o cuando sea conveniente una reducción de la humedad natural del suelo, siempre que lo autorice expresamente el Inspector Técnico de la Obra o el Profesional Responsable, en este caso, y siempre que se cumplan los requisitos de la legislación ambiental, de seguridad y salud, se emplean equipos con dosificación ligada a la velocidad de avance, que pueden consistir en camiones-silo o en estanques remolcados con tolvas acopladas en la parte posterior con compuerta regulable. Si la descarga del aditivo sobre el suelo a estabilizar se realiza desde una altura superior a diez centímetros (10 cm), el dispositivo de descarga se protege con faldones, cuya parte inferior no diste más de diez centímetros (10 cm) de la superficie.

#### A 2.2.4.3. Dosificación como lechada.

Se recomienda que:

Salvo justificación en contrario, aditivo sólido y líquido se dosifiquen como lechada, y que el equipo necesario para su fabricación tenga un mezclador con alimentación volumétrica de agua y dosificación ponderal del conglomerante.

El equipo de estabilización esté provisto de un dosificador-distribuidor volumétrico de lechada, con bomba de caudal variable y dispositivo de rociado, así como de control automático programable de dosificación, que permita adecuar las dosificaciones a la fórmula de trabajo correspondiente, según la profundidad y la anchura de la capa que se vaya a estabilizar, el avance de la máquina, con las tolerancias fijadas en las Especificaciones Técnicas.

#### A 2.2.4.4. Compactadores.

Se recomienda que:

Todos los compactadores sean autopropulsados, tengan inversores del sentido de la marcha de acción suave y estén dotados de dispositivos para mantenerlos húmedos, en caso necesario.

El equipo de compactación esté compuesto como mínimo de un (1) compactador vibratorio de rodillo metálico y de un (1) compactador de neumáticos.

El compactador vibratorio disponga de un rodillo metálico con una carga estática sobre la generatriz no inferior a trescientos Newtons por centímetro (300 N/cm) y capaz de alcanzar una masa de al menos quince toneladas (15 t) con amplitudes y frecuencias de vibración adecuadas. El compactador de neumáticos sea capaz de alcanzar una masa no inferior a veintiún toneladas (21 t), con una presión de inflado que pueda alcanzar como mínimo ocho décimas de Mega Pascal (0,8 MPa).

Los compactadores de rodillos metálicos no presenten surcos ni irregularidades en ellos.

Los compactadores vibratorios tengan dispositivos automáticos para eliminar la vibración al invertir el sentido de la marcha.

Los de neumáticos tengan ruedas lisas, en número, tamaño y configuración tales que permitan el solape de las huellas delanteras con las huellas traseras.

El ITO o Profesional Responsable apruebe el equipo de compactación que se vaya a emplear, su composición y las características de cada uno de sus componentes, que sean las necesarias para conseguir una densidad adecuada y homogénea del suelo estabilizado en todo su espesor, sin producir arrollamientos.

En los lugares inaccesibles para los equipos de compactación normales, se empleen otros de tamaño y diseño adecuados para la labor que se pretenda realizar.



### **A 2.2.5. EJECUCIÓN DE LAS OBRAS**

#### **A 2.2.5.1. Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.**

Se recomienda que:

La estabilización de suelos en terreno no se inicie en tanto que el ITO o Profesional Responsable no haya aprobado la correspondiente fórmula de trabajo, previo estudio en laboratorio inscrito en el MINVU.

Se determine el contenido de humedad, según la NCh. 1515 Of.1979, del suelo inmediatamente antes de su mezcla con el aditivo sólido y líquido, y agua en el momento de su compactación.

La resistencia a compresión simple se debe verificar a los 7 días de acuerdo a la norma ASTM D 2166, según el tipo de suelo estabilizado, cuyos valores cumplan lo fijado en la Tabla 2-16.

El plazo de trabajabilidad en el caso de las estabilizaciones química, sea el fijado por la Especificación Técnica Especial.

Si la marcha de los trabajos lo aconsejase, el ITO o Profesional Responsable puede modificar la fórmula de trabajo, con la Asesoría Técnica del fabricante del estabilizador, a la vista de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión simple a los siete días (7 d) y las demás especificaciones fijadas en este artículo para la unidad terminada.

En todo caso, se estudie y apruebe otra fórmula de trabajo, de acuerdo con lo indicado en este apartado, cada vez que varíen las características del suelo a estabilizar, de alguno de los componentes de la estabilización o si varían las condiciones ambientales.

La tolerancia admisible, respecto a la fórmula de trabajo, del contenido de humedad del suelo estabilizado en el momento de su compactación, sea de dos puntos ( $\pm 2\%$ ) respecto a la humedad óptima definida.

En el caso de suelos inadecuados o marginales susceptibles de hinchamiento o colapso, la humedad de la mezcla y compactación más conveniente sean objeto de estudio especial para determinar la humedad de compactación.

#### **A 2.2.5.2. Preparación de la superficie existente.**

Se recomienda que:

Si se añade suelo de aportación para corregir las características del existente, se mezclen ambos en todo el espesor de la capa que se vaya a estabilizar, antes de iniciar la distribución del estabilizador y sus aditivos.

Si el suelo que se va a estabilizar fuera en su totalidad de aportación, se compruebe, antes de extenderlo, que la superficie subyacente tenga la densidad exigida y las rasantes indicadas en los Planos, con las tolerancias establecidas en la especificación correspondiente. Si en dicha superficie existieran irregularidades que excedan de las mencionadas tolerancias, se corrigen de acuerdo al proyecto.

#### A 2.2.5.3. Disgregación del suelo.

Se recomienda que:

Cuando se estabilice el suelo de la subrasante, éste se disgregue en toda la anchura de la capa que se vaya a estabilizar y hasta la profundidad necesaria para alcanzar, una vez compactada, el espesor de estabilización señalado en los Planos.

El suelo que se vaya a estabilizar se disgregue hasta conseguir una eficacia mínima del cien por ciento (100%), referida al tamiz 25 mm de la norma NCh. 1533.a1978, del ochenta por ciento (80%) en estabilizaciones para obtener SEST-3 y SEST-2 y del sesenta por ciento (60%) en estabilizaciones SEST-I, referida al tamiz 5 mm de la norma NCh. 1533.a1978. La eficacia de disgregación se define por la relación entre el cernido en obra del material húmedo y el cernido en laboratorio de ese mismo material desecado y desmenuzado, por el tamiz al que se refiere.

El suelo disgregado no presente en ninguna circunstancia elementos ni grumos de tamaño superior a los ochenta milímetros (80 mm). La disgregación se puede hacer en una sola etapa, pero en algunos tipos de suelos puede haber dificultades para alcanzar el grado de disgregación necesario, por exceso o por defecto de humedad o por un índice de plasticidad elevado. En el primer caso se corrige el grado de humedad del suelo, según lo indicado en el apartado 2.10.5.4.

En los casos de estabilización de suelos con índice de plasticidad elevado, en los que no se consiga la eficacia de disgregación requerida, se realice la disgregación, distribución y mezcla del estabilizador en dos etapas, de manera que el estabilizador añadido en la primera etapa, contribuya a hacer el suelo más fiable y a conseguir el grado de finura deseado en la mezcla final. Salvo justificación en contrario, en esa primera etapa basta con que la totalidad de los grumos tengan un tamaño inferior a cincuenta milímetros (50 mm) y puede ser conveniente elevar la humedad del suelo entre dos y diez (2 y 10) puntos porcentuales por encima de la óptima de compactación.

#### A 2.2.5.4. Humectación o desecación del suelo.

Se recomienda que:

La humedad del suelo sea tal que permita que, con el equipo que se vaya a realizar la estabilización, se consiga el grado de disgregación requerido, la mezcla con el estabilizador y su aditivo sea total y uniforme.

En el caso de ser necesaria la incorporación de agua a la mezcla, para alcanzar el valor de humedad fijado por la fórmula de trabajo, se tenga en cuenta las posibles evaporaciones o precipitaciones que puedan tener lugar durante la ejecución de los trabajos y que dicha incorporación se realice, preferentemente, por el propio equipo de mezcla.

El ITO o Profesional Responsable autorice el empleo de un estanque regador independiente, en este caso, el agua se agrega uniformemente, disponiéndose los equipos necesarios para asegurar la citada uniformidad, e incluso, realizando un desmenuzamiento previo del suelo, si fuera necesario. Así se evita que el agua escurra por las huellas dejadas por el estanque regador o se acumule en ellas.

Asimismo, no se permitan paradas del equipo mientras esté regando, con el fin de evitar la formación de zonas con exceso de humedad.

Previa aceptación del ITO o Profesional Responsable, los suelos cohesivos se humedezcan, en su caso, el día anterior al de la ejecución de la mezcla, para que la humedad sea uniforme.

En los casos en que la humedad natural del material sea excesiva, se tomen las medidas adecuadas para conseguir el grado de disgregación y la compactación previstos, pudiéndose proceder a su desecación por: aireación, a la adición y mezcla de materiales secos, se pueda realizar, previa autorización del ITO o Profesional Responsable, una etapa previa de disgregación y mezcla con cal para la corrección del exceso de humedad del suelo.

#### A 2.2.5.5. Distribución del estabilizador.

Se recomienda que:

El estabilizador y sus aditivos se distribuyan uniformemente mediante equipos mecánicos con la dosificación fijada en la fórmula de trabajo, en forma de lechada y directamente en el mezclador.

Antes de iniciar el proceso en obra, se purguen y coloquen a punto las bombas y los dispersores de agua y de lechada, fuera del lugar de empleo, para garantizar las dotaciones establecidas en la fórmula de trabajo de manera continua y uniforme. En cada parada del equipo se realiza una limpieza de los difusores y como mínimo dos (2) veces al día.

El ITO o Profesional Responsable autorice la distribución del aditivo sólido en seco en obras pequeñas (menos de 70.000 m<sup>2</sup>) o cuando sea conveniente, por el exceso de humedad natural del suelo.

a.) En el caso de que la dosificación se realice en seco, se coordinen adecuadamente los avances del equipo de dosificación de conglomerante y del de mezcla, no permitiéndose que haya entre ambos un desfase superior a veinte metros (20 m). La extensión se detiene cuando la velocidad del viento fuera excesiva a juicio del ITO o Profesional Responsable, cuando supere los diez metros por segundo (10 m/s), cuando la emisión de polvo afecte a zonas pobladas, ganaderas o especialmente sensibles.

b.) No se proceda a la distribución del aditivo sólido en seco, mientras queden concentraciones superficiales de humedad.

c.) Sólo en zonas de reducida extensión, no accesibles a los equipos mecánicos, o bien en áreas inferiores a 70.000 m<sup>2</sup>, el ITO o Profesional Responsable autorice la distribución manual. Para ello, se emplean sacos de aditivo sólido que se colocan sobre el suelo formando una cuadrícula de lados aproximadamente iguales, correspondientes a la dosificación aprobada. Una vez abiertos los sacos, su contenido se distribuye rápida y uniformemente mediante rastrillos manuales o rastras de púas remolcadas. El aditivo líquido puede disolverse y distribuirse con el agua.

En la distribución del conglomerante se tomen las medidas adecuadas para el cumplimiento de la legislación que, en materia ambiental, de seguridad laboral, de transporte y almacenamiento de materiales, estuviese vigente.

#### A 2.2.5.6. Ejecución de la mezcla.

Se recomienda que:

Inmediatamente después de la distribución del conglomerante se proceda a su mezcla con el suelo y se obtenga una dispersión homogénea, lo que se reconoce por un color uniforme de la mezcla y la ausencia de grumos.

Todo el conglomerante se mezcle con el suelo disgregado antes de haber transcurrido una hora (1 h) desde su aplicación.

El equipo de mezcla cuente con los dispositivos necesarios para asegurar un amasado homogéneo en toda la anchura y profundidad del tratamiento.

Si se detectan segregaciones, partículas sin mezclar o diferencias de contenido de aditivo, de agua, se detenga el proceso y se realicen las oportunas correcciones hasta solucionar las deficiencias.

#### A 2.2.5.7. Compactación.

Se recomienda que:

En el momento de iniciar la compactación, la mezcla esté disgregada en todo su espesor y su grado de humedad sea el correspondiente al de la humedad óptima., con las tolerancias admitidas en el apartado 2.11.5.1.

Se compacte en una vez y se continúe hasta alcanzar la densidad especificada.

La compactación se realice de manera continua y uniforme. Si el proceso completo de ejecución, incluida la mezcla, se realiza por franjas, al compactar una de ellas se amplía la zona de compactación para que incluya, al menos, quince centímetros (15 cm) de la anterior o se disponga en los bordes una contención lateral adecuada.

Los rodillos lleven su rueda motriz del lado más cercano al equipo de mezcla. Los cambios de dirección de los compactadores se realizan sobre mezcla ya compactada y los cambios de sentido se efectúan con suavidad.

Los elementos de compactación estén siempre limpios, si fuera preciso, húmedos.

Durante la compactación, la superficie del suelo estabilizado en sitio se conforme mediante perfilado con motoniveladora, eliminando irregularidades, huellas o discontinuidades, para lo cual el ITO o Profesional Responsable puede aprobar la realización de una ligera escarificación de la superficie y su posterior recompactación, previa adición del agua necesaria, que en el caso de estabilizar con estabilizador químico, tiene en cuenta el plazo de trabajabilidad.

#### A 2.2.5.8. Terminación de la superficie.

Se recomienda que:

Una vez terminada la compactación no se permita el aumento de espesor. Sin embargo, para el suelo estabilizado químicamente, siempre que esté dentro del plazo de trabajabilidad de la mezcla, se puede hacer un perfilado con motoniveladora hasta conseguir la rasante y sección definidas en los Planos

de proyecto, con las tolerancias establecidas en este artículo. A continuación, se procede a eliminar de la superficie todo el material suelto, por medio de barredoras mecánicas de púas no metálicas, y a la recompactación posterior del área corregida.

Los materiales procedentes del perfilado se retiren a vertedero según lo dispuesto en la legislación vigente sobre medio ambiente.

#### A 2.2.5.9. Ejecución de juntas.

Se recomienda que:

Después de haber extendido y compactado una franja, se realice la siguiente, mientras el borde de la primera se encuentre en condiciones de ser compactado. En caso contrario, se ejecuta una junta longitudinal, lo cual se evita en la medida de lo posible.

Entre las sucesivas pasadas del equipo de estabilización se produzca un solape transversal con el fin de evitar la existencia de zonas insuficientemente tratadas o la acumulación de segregaciones.

Este solape venga impuesto por las anchuras de las máquinas y de la franja a tratar y generalmente, está comprendido entre quince y veinticinco centímetros (15 a 25 cm). La máquina dosificadora-mezcladora tenga cerrados los difusores de aditivo y de agua correspondientes a la franja de solape, para evitar la producción de suelo estabilizado con dotaciones distintas de la especificada.

En estabilizaciones con aditivos, se dispongan juntas transversales de trabajo donde el proceso constructivo se interrumpe más del tiempo de trabajabilidad de la mezcla.

Las juntas transversales de trabajo se efectúen disgregando el material de una zona ya tratada en la longitud suficiente, en general, no menos de un diámetro del rotor-fresador, bajando hasta la profundidad especificada sin avanzar, para que pueda regularse con precisión la incorporación del agente en la zona no tratada.

#### A 2.2.5.10. Curado y protección superficial.

Se recomienda que:

Una vez finalizada la compactación, y siempre dentro de la misma jornada de trabajo, se aplique un riego de curado. Hasta la aplicación de dicho riego se mantiene la superficie constantemente húmeda, para lo cual se riega con la debida frecuencia, pero teniendo cuidado para que no se produzcan encharcamientos. Puede prescindirse del riego de curado siempre que se mantenga la superficie húmeda durante un período mínimo de tres a siete días (3 a 7 d) a partir de su terminación y previa autorización del ITO o Profesional Responsable.

Si se prevé la posibilidad de heladas dentro de un plazo de siete días (7 d) a partir de la terminación, el suelo estabilizado se proteja contra aquéllas, siguiendo las instrucciones del ITO o Profesional Responsable

En los suelos estabilizados, mientras no se haya finalizado la compactación, la terminación de la superficie y el curado final del suelo estabilizado, se prohíba todo tipo de circulación que no sea imprescindible para dichas operaciones. Una vez ejecutado el riego de curado, no pueden circular sobre él vehículos ligeros en los tres (3) primeros días, ni vehículos pesados, en los siete primeros días

(7 d), salvo con autorización expresa del ITO o Profesional Responsable y estableciendo previamente una protección del riego de curado, mediante la extensión de una capa de árido de cobertura. Dicha protección, que garantiza la integridad del riego de curado durante un periodo mínimo de siete días (7 d), se barre antes de ejecutar otra unidad de obra sobre el suelo estabilizado.

Se procure una distribución uniforme del tráfico de obra en toda la anchura de la traza.

El ITO o Profesional Responsable fije en función de los tipos, ritmos y programa de trabajo, el plazo para la extensión de la capa superior, de manera que sea el mayor posible, siempre que se impida la circulación del tráfico de obra sobre la capa estabilizada.

### **A 2.2.6. ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA**

#### **A 2.2.6.1. Resistencia.**

Es preciso que la resistencia a la compresión simple del suelo estabilizado cumpla lo especificado en la Tabla 2-16, según el tipo de suelo y estabilización que se pretenda conseguir.

#### **A 2.2.6.2. Terminación, rasante, anchura y espesor.**

Es preciso que:

La superficie de la capa estabilizada terminada, presente un aspecto uniforme, exenta de segregaciones y de ondulaciones y con las pendientes adecuadas.

La rasante de la superficie terminada no supere a la teórica en ningún punto, ni quede por debajo de ella, en más de treinta milímetros (30 mm).

En todos los semiperfiles se compruebe la anchura de la capa estabilizada y que en ningún caso sea inferior, ni superior en más de diez centímetros (10 cm), a la establecida en los Planos de secciones tipo.

El espesor de la capa no sea inferior en ningún punto, al previsto para ella en los Planos de secciones tipo.

#### **A 2.2.6.3. LIMITACIONES DE LA EJECUCIÓN**

Salvo autorización expresa del Inspector Técnico de obras o el Profesional Responsable, no se permite la ejecución de la estabilización en sitio cuando:

- a.) La temperatura ambiente a la sombra sea superior a los treinta y cinco grados Celsius (35° C).
- b.) La temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5° C) y exista previsión de heladas. El ITO o Profesional Responsable puede bajar este límite, a la vista de los resultados de compactación obtenidos.
- c.) Se produzcan precipitaciones atmosféricas intensas.

En los casos en los que el ITO o Profesional Responsable autorice la extensión de aditivo en seco, su distribución se interrumpe cuando la fuerza del viento sea excesiva, a juicio de aquél, teniendo siempre en cuenta las medidas necesarias para el cumplimiento de la legislación que, en materia ambiental, de seguridad laboral, de transporte y almacenamiento de materiales, estén vigentes.

#### A 2.2.6.4. Control.

Se recomienda que las Especificaciones Técnicas Especiales fijen, para cada caso, el método de control, tamaño del lote, el tipo y número de ensayos a realizar. También, se establecen los métodos rápidos de control que pueden emplearse y las condiciones básicas de empleo.

La realización de los ensayos en sitio y la toma de muestras se realizan en puntos previamente seleccionados, mediante muestreo aleatorio, tanto en sentido longitudinal como transversal, de tal forma, que haya al menos una toma o un ensayo por cada 100 metros lineales.

##### A 2.2.6.4.1. Control de procedencia de los materiales.

###### a.) Estabilizador químico.

Es de exclusiva responsabilidad del fabricante y sus características quedan establecidas de acuerdo a la NCh. 2505 Of.2001: "Estabilización química de suelos - Caracterización del producto y evaluación de propiedades de desempeño del suelo".

###### b.) Aditivos sólidos.

Es de exclusiva responsabilidad del fabricante.

###### c.) Suelo.

Antes de iniciar la estabilización, se identifica cada tipo de suelo, determinando su aptitud. El reconocimiento se realiza de la forma más representativa posible, mediante sondeos, calicatas u otros métodos de toma de muestras.

De cada tipo de suelo, sea cual fuere la cantidad que se va a estabilizar, se toman como mínimo cuatro (4) muestras, añadiéndose una (1) más por cada cinco mil metros cúbicos (5.000 m<sup>3</sup>), o fracción, de exceso sobre veinte mil metros cúbicos (20.000 m<sup>3</sup>) de suelo.

Sobre cada muestra se realizan los siguientes ensayos:

c.1) Granulometría por tamizado, según la NCh. 1533 Of.1978.

c.2) Límite líquido e índice de plasticidad, según las NCh. 15717/1 Of.1979 y NCh. 1571/2 Of.1979, respectivamente.

c.3) Contenido de materia orgánica, según la ASTM C40 Of.2004.

c.4) Contenido de sulfatos solubles (expresados en SO<sub>3</sub>), según la NCh. 1498 Of.1980.

El ITO o Profesional Responsable puede ordenar la repetición de estos ensayos con nuevas muestras, así como la realización de ensayos adicionales.

#### A 2.2.6.4.2. Control de ejecución.

Se recomienda que:

Se desechen los suelos que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo admisible.

Se tome diariamente un mínimo de dos (2) muestras del suelo antes de mezclarlo con el estabilizador, una por la mañana y otra por la tarde, sobre las que se determine su humedad natural, según la NCh. 1515 Of.1979.

Se compruebe la eficacia de disgregación pasando la disgregadora sin mezclar con el conglomerante, del orden de veinte metros (20 m) una vez al día. Se considera que se mantienen los resultados de eficacia de disgregación mientras no cambie el tipo de suelo o el contenido de humedad de forma significativa y se mantengan la velocidad de avance como la velocidad del rotor del equipo de disgregación.

La frecuencia de ensayo sea disminuida por el ITO o Profesional Responsable si se observa que la eficacia de disgregación es correcta y no cambia de unos días a otros.

Al menos dos (2) veces al día (mañana y tarde), se controle el funcionamiento de las boquillas de inyección de la lechada del estabilizador.

Asimismo, se controle diariamente el consumo efectivo de estabilizador, con la información proporcionada por el equipo para el control del volumen de lechada añadido. En el caso de distribución en seco, se compruebe la dotación del aditivo químico utilizada mediante el pesaje de bandejas metálicas u otros dispositivos similares colocados sobre la superficie.

Por cada lote de los definidos en el apartado 2.11.6.5, se tomen cinco (5) muestras aleatorias del suelo recién mezclado con el estabilizador sobre las que se determine la resistencia a compresión simple, según la NCh. 1037 Of.1977 para los suelos S-EST3. Las probetas se confeccionan según el procedimiento descrito en la NCh. 1534/2 Of.1979, con la densidad exigida en obra.

Por cada diez mil metros cúbicos (10.000 m<sup>3</sup>) de suelo estabilizado en sitio con estabilizador químico o una (1) vez a la semana, si se estabiliza una cantidad menor, se realice un ensayo.

El ITO o Profesional Responsable reduzca la frecuencia de ensayos a la mitad (1/2), si considerase que los materiales son suficientemente homogéneos, o si en el control de recepción de la unidad terminada se hubieran aprobado diez (10) lotes consecutivos.

Se realicen determinaciones de humedad y de densidad en emplazamientos aleatorios, con una frecuencia mínima de siete (7) por cada lote. En el caso de que se empleen otros métodos rápidos de control, éstos son convenientemente contrastados y calibrados en la realización del tramo de prueba, con los ensayos de determinación de humedad natural, según la NCh. 1515 Of.1979 y de densidad en sitio según la NCh. 1516 Of.1979. En caso de que las densidades obtenidas fuesen inferiores a las especificadas, se prosigue el proceso de compactación hasta alcanzar los valores prescritos, lo que sólo es posible, si se está dentro del plazo de trabajabilidad del aditivo.



Durante la ejecución de las obras se compruebe con la frecuencia necesaria:

- a.) La temperatura y la humedad relativa del aire mediante un termohigrógrafo registrador.
- b.) El espesor estabilizado, mediante un punzón graduado u otro procedimiento aprobado por el ITO o Profesional Responsable.
- c.) La humedad del suelo mediante un procedimiento aprobado por el ITO o Profesional Responsable.
- d.) La composición y forma de actuación del equipo utilizado en la ejecución de la estabilización, verificando:

Que el número y el tipo de los equipos sean los aprobados.

En su caso, el funcionamiento de los dispositivos de disgregación, humectación, limpieza y protección.

El lastre y el peso total de los compactadores.

La presión de inflado en los compactadores de neumáticos.

La frecuencia y la amplitud en los compactadores vibratorios.

El número de pasadas de cada equipo, especialmente de los compactadores.

Se realiza como mínimo un (1) control diario de la dotación de emulsión asfáltica empleada para el riego de curado o protección.

#### A 2.2.6.5. Control de recepción de la unidad terminada.

Si durante la construcción apareciesen defectos localizados, tales como blandones, se corrigen antes de iniciar el muestreo.

Se considera como lote de recepción, que se acepta o rechaza en bloque, al menor que resulte de aplicar los criterios siguientes a una (1) sola capa de suelo estabilizado en sitio con estabilizador químico:

- a.) Doscientos metros cúbicos (200 m<sup>3</sup>).
- b.) La fracción construída diariamente. Se construye con el mismo material, de igual procedencia, con el mismo equipo y procedimiento de ejecución.

Se asignan a cada lote de recepción las probetas fabricadas durante el control de ejecución que le correspondan. En los puntos donde se realice el control de la compactación, se determina el espesor de la capa de suelo estabilizado.

Se compara la rasante de la superficie terminada con la teórica establecida en los Planos del Proyecto, en el eje, quiebros de peralte si existieran, y bordes de perfiles transversales, cuya separación no exceda de la mitad de la distancia entre los perfiles del Proyecto. En todos los semiperfiles se comprueba la anchura de la capa.

## ANEXO SECCIÓN 5

### ART. A.5.1. RECICLADO EN PLANTA EN CALIENTE DE CAPAS ASFÁLTICAS

#### A.5.1.1. DEFINICIÓN

Se define como reciclado en planta en caliente de capas asfálticas, la técnica consistente en la utilización del material resultante de la disgregación controlada (mediante fresado o demolición y trituración) de capas de mezcla asfáltica de pavimentos envejecidos, en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente.

A los efectos de la aplicación de este artículo, una mezcla asfáltica reciclada, es aquella cuya proporción en masa del material asfáltico a reciclar, está comprendida entre el diez (10) y el cincuenta por ciento (50%) de la masa total de la mezcla.

La ejecución de una mezcla asfáltica reciclada en planta en caliente incluye las siguientes operaciones:

- Acopio del material procedente de pavimentos asfálticos envejecidos.
- Tratamiento y clasificación del material asfáltico a reciclar en bruto.
- Caracterización y acopio del material asfáltico a reciclar tratado.
- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- Fabricación de la mezcla de acuerdo con la fórmula de trabajo.
- Transporte de la mezcla al lugar de empleo.
- Preparación de la superficie sobre la que se va a extender la mezcla.
- Extensión y compactación de la mezcla.

#### A.5.1.2. MATERIALES

Se recomienda su ajuste, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad, salud, de almacenamiento y transporte de productos de la construcción.

##### A.5.1.2.1. Asfalto.

Es recomendable que el ligante se seleccione en función de la proporción y las características del ligante procedente del material asfáltico a reciclar de forma que al combinarse con éste se obtenga un ligante con características similares a las que correspondería a un ligante nuevo, a emplearse en la vía en proyecto.

El tipo y proporción del ligante de aportación necesario se define en función de la viscosidad del ligante final y de las propiedades que indique el especialista.

Para obras de más de setenta mil metros cuadrados (70.000 m<sup>2</sup>) o cuando las mezclas asfálticas

recicladadas contengan más del veinticinco por ciento (25%) de material asfáltico a reciclar respecto de la masa total de la mezcla, se sugiere hacer un estudio completo del ligante procedente del material asfáltico a reciclar y del ligante final. En ese estudio se analizan, además de la viscosidad, la penetración, los valores del punto de reblandecimiento, del punto de fragilidad, de la ductilidad y del índice de penetración, de forma que se asegure que el ligante final presente unas características similares a las del ligante convencional correspondiente.

El fabricante de la mezcla, puede establecer el empleo de aditivos, tales como activantes o agentes rejuvenecedores, que recompongan y aporten las fracciones que hayan desaparecido o se encuentren en proporciones menores a las necesarias en el ligante envejecido.

#### A.5.1.2.2. Áridos.

Es recomendable que los áridos a utilizar cumplan las correspondientes especificaciones de los áridos de las mezclas asfálticas nuevas.

#### A.5.1.2.3. Material asfáltico a reciclar y su tratamiento.

Se entiende por material asfáltico a reciclar el material procedente de la disgregación, por fresado o trituración, de capas de mezcla asfáltica. Este material está compuesto por áridos de buena calidad y bien graduados cubiertos por betún asfáltico envejecido. También, pueden incluirse dentro de este material los excedentes de fabricación de cualquier tipo de mezcla asfáltica, que sin presentar problemas de calidad, en cuanto a sus componentes y envuelta, no haya sido colocada en obra (material sobrante, material rechazado en la extensión por baja temperatura, etc.).

A la planta de fabricación pueden llegar materiales asfálticos procedentes de pavimentos de distintas características, que se acopian, constituyendo el material asfáltico a reciclar en bruto. En todo caso, el material asfáltico a reciclar no puede contener más del veinte por ciento (20%) de mezclas asfálticas distintas de los tipos en uso.

En principio, todos los materiales recuperados de mezclas asfálticas son susceptibles de ser reciclados, excepto, los que hayan presentado deformaciones plásticas. Sobre los que contengan en su composición original adiciones modificadoras de la reología del ligante asfáltico o del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica (fibras, caucho., etc.), debido a la posible emisión de contaminantes a la atmósfera, durante el proceso de fabricación de la nueva mezcla, se requiere un estudio especial.

Es recomendable que el material que se incorpora al proceso de producción sea homogéneo, no contenga contaminantes y esté totalmente caracterizado y referenciado, por lo que el material asfáltico a reciclar en bruto se someta en la planta, a un tratamiento previo de trituración, eliminación de contaminantes y homogeneización. El proceso anterior, convierte el material asfáltico a reciclar en bruto, en material asfáltico a reciclar tratado.

El material asfáltico a reciclar tratado, una vez disgregado pasa, en todo caso, por el tamiz 25 mm.

Las propiedades del material asfáltico a reciclar tratado, es aconsejable que cumplan, en cualquier caso, con las características señaladas en los apartados siguientes:

#### A.5.1.2.3.1. Homogeneidad del material asfáltico a reciclar.

Se recomienda que para la utilización de cualquier acopio de material asfáltico a reciclar, la granulometría de los áridos tras la extracción del ligante y el contenido de éste cumplan, respecto a los valores especificados en la fórmula de trabajo, las tolerancias indicadas en la Tabla A.5-1.

TABLA A.5-1. TOLERANCIAS SOBRE LA FÓRMULA DE TRABAJO DEL MATERIAL ASFÁLTICO A RECICLAR.

CARACTERÍSTICAS		UNIDAD	TOLERANCIA
Abertura tamices	> 2 mm	% en masa del material a reciclar seco.	±5
	> 0,063 mm y ? 2 mm		±3
	0,063 mm		±1,5
Contenido de ligante			±0,4
Penetración del ligante recuperado		0,1 mm	±4

#### A.5.1.2.3.2. Contaminantes.

Es recomendable que el material asfáltico a reciclar tratado esté exento de materiales contaminantes: hormigones, morteros, ladrillos, cemento, metales, maderas, materiales sintéticos, etc., y especialmente de aquellos, que en la fabricación de la mezcla reciclada, puedan producir contaminación atmosférica.

#### A.5.1.2.3.3. Ligante hidrocarbonado del material asfáltico a reciclar.

Es recomendable que el cemento asfáltico procedente del material a reciclar, sea susceptible de mezclarse homogéneamente con el cemento asfáltico de aportación, y dé lugar a un producto de características similares a los especificados para la vía en proyecto.

#### A.5.1.2.3.4. Árido del material asfáltico a reciclar.

Es recomendable que los áridos procedentes del material asfáltico a reciclar no presenten signos de meteorización, posean unas propiedades de dureza y calidad similares a los áridos nuevos de aportación, cumpliéndose las especificaciones para áridos de mezcla nueva.

Estas propiedades pueden ser evaluadas directamente con los ensayos establecidos para los áridos nuevos.

Se puede aceptar como evaluación indirecta de dichas propiedades los ensayos mecánicos a realizar sobre la mezcla asfáltica reciclada, en particular, la resistencia conservada en el ensayo de inmersión-compresión, según la NLT-162, la cual sugiere sea como mínimo del setenta y cinco por ciento (75%).

El fabricante de la mezcla fija los aditivos que puedan utilizarse, estableciendo las especificaciones que tengan que cumplir tanto el aditivo como las mezclas asfálticas resultantes, de acuerdo al tipo y composición de la mezcla especificada para el proyecto.

El tipo y características de la mezcla asfáltica en caliente reciclada se fija por las Especificaciones Técnicas Especiales y las Especificaciones Complementarias siguientes:

- a.) Se sugiere no emplear mezclas asfálticas recicladas en caliente para la fabricación de mezclas de alto módulo (MAM) con características asociadas de mayor capacidad estructural respecto a mezclas asfálticas en caliente tradicionales.
- b.) La denominación del tipo de mezcla asfáltica en caliente reciclada se compone, añadiendo a la denominación del tipo de mezcla correspondiente la letra "R" y dos dígitos que indiquen la proporción de material asfáltico reciclado empleado en la mezcla (Por ejemplo: IV12-R35).
- c.) Se recomienda que la dotación total de cemento asfáltico (el de aportación más el procedente del material asfáltico a reciclar) no sea inferior, expresada en proporción en masa sobre el total de los áridos en seco de la mezcla (incluido el polvo mineral y los áridos procedentes del material asfáltico a reciclar), al cuatro por ciento (4%) en capas intermedias y al tres y medio por ciento (3,5%) en capas de base, incluidas las tolerancias.
- d.) Se sugiere que la dotación de ligante de aportación sea como mínimo el sesenta por ciento (60%) de la dotación total del asfalto de la mezcla reciclada.
- e.) Se recomienda que la razón entre la estabilidad Marshall y la deformación Marshall sea inferior a ocho kilonewton por milímetro (8 kN/mm).

### **A.5.1.3. EQUIPO NECESARIO PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS**

Es recomendable que el equipo necesario para la ejecución de las obras cumpla las especificaciones establecidas para las mezclas asfálticas en caliente, teniendo en cuenta las siguientes Especificaciones adicionales.

#### **A.5.1.3.1. Planta de trituración.**

Cuando el material asfáltico a reciclar presente problemas de homogeneidad o un tamaño excesivo se sugiere proceder a su trituración y mezcla.

Para la trituración se pueden usar instalaciones de trituración que proporcionen un producto granular uniforme. En el caso de que haya contaminantes de tipo metálico se aconseja dotar a la planta de trituración de un dispositivo para su detección y eliminación.

#### **A.5.1.3.2. Planta de fabricación.**

Es recomendable que las plantas de fabricación sean capaces de adicionar, durante el proceso de mezcla en caliente, el material asfáltico a reciclar sin deterioro de los materiales.

En las plantas de fabricación continua con tambor secador-mezclador el sistema de dosificación sugiere ser ponderal, para el material asfáltico a reciclar, y teniendo en cuenta la humedad de éste, para corregir la dosificación en función de ella. Se recomienda que la planta disponga de un dispositivo

que permita la incorporación del material asfáltico a reciclar tras la llama, de forma que no exista riesgo de contacto con ella. Los gases producidos en el calentamiento del material asfáltico a reciclar pueden ser quemados durante el proceso, debiendo evitarse en todo momento su emisión a la atmósfera.

Las plantas de fabricación de tambor secador-mezclador, en las que el flujo de áridos coincide con el del tiro del humo, pueden no ser empleadas si las cantidades de material asfáltico a reciclar superan el veinticinco por ciento (25%).

De las plantas de fabricación continuas de tambor secador-mezclador se pueden emplear preferentemente, aquellas en las que el flujo de áridos va en contra del tiro del humo o las que tengan doble tambor, que eviten la exposición directa a la llama del material asfáltico a reciclar.

Se recomienda que las plantas de fabricación discontinua estén provistas de un tambor secador independiente para el material asfáltico a reciclar. Los gases producidos en su calentamiento se aconseja, sean recogidos y quemados durante el proceso de fabricación de la mezcla, evitándose en todo momento su emisión a la atmósfera. Además, se sugiere, estas plantas estén provistas de silos para almacenar en caliente el material asfáltico a reciclar, y un sistema de dosificación ponderal del material asfáltico a reciclar.

#### **A.5.1.4. EJECUCIÓN DE LAS OBRAS**

##### **A.5.1.4.1. Acopio del material asfáltico a reciclar en bruto.**

Es recomendable que el material asfáltico a reciclar pueda emplearse en la misma obra de la que procede o acopiarse, para su posterior utilización, en otro lugar. Se sugiere que los acopios estén cubiertos y el tiempo de almacenamiento se reduzca al mínimo posible, para evitar que el contenido de humedad del material asfáltico a reciclar aumente excesivamente. Cuando se prevean temperaturas superiores a los treinta grados Celsius (30 °C), se sugiere que los acopios no superen los tres metros (3 m) de altura, para evitar que el material asfáltico a reciclar, se aglomere.

Se recomienda examinar la descarga al acopio, desechando los materiales que a simple vista presenten contaminaciones.

Se aconseja llevar un registro de la procedencia del material asfáltico a reciclar, identificando y acopiando aparte los materiales provenientes de mezclas distintas de los tipos usuales.

Se recomienda acopiar aparte los materiales, para los que sea necesario realizar un estudio especial, hasta la decisión de su aceptación o rechazo.

##### **A.5.1.4.2. Tratamiento del material asfáltico a reciclar bruto.**

El material asfáltico a reciclar bruto se trata y mezcla para su homogeneización y descontaminación.

Para ello se trituran todos los bloques y bolos con objeto de que todo el material pase por el tamiz 25 mm.

Se procede también a la eliminación de cualquier contaminante, y en especial se usa un procedimiento de detección y eliminación de elementos metálicos.

Posteriormente el material se mezcla hasta obtener un producto homogéneo, que no presente segregaciones.

#### A.5.1.4.3. Caracterización y acopio del material asfáltico a reciclar tratado.

Es recomendable que una vez tratado el material asfáltico a reciclar, se disponga en acopios homogéneos.

Para que un acopio se considere homogéneo, realizados los ensayos, se sugiere que los valores de los resultados cumplan las tolerancias establecidas en la Tabla A.5-1.

Los materiales que cumplan los criterios de homogeneidad se pueden acopiar juntos.

Cada acopio homogéneo queda identificado y caracterizado por los resultados de los ensayos realizados, según la normativa nacional, y puede emplearse en la fabricación de mezcla asfáltica reciclada en caliente, con una misma fórmula de trabajo.

Los acopios de material asfáltico a reciclar tratado se consideran como lotes aislados, evitando que se mezclen y contaminen entre ellos. El volumen de cada uno de estos acopios es el suficiente para garantizar, al menos, el trabajo de un día o la producción requerida si ésta es menor, con objeto de no cambiar la fórmula de trabajo y poder controlar e identificar adecuadamente la mezcla fabricada.

Los acopios se pueden situar en una zona bien drenada y sobre una superficie revestida. Si se dispusieran en terreno natural, se recomienda no utilizar los quince centímetros (15 cm) inferiores de los acopios. Los cuales se forman por capas.

Se aconseja vigilar la altura de los acopios para evitar que el material asfáltico se aglomere, especialmente, con temperaturas altas, limitándose aquélla a tres metros (3 m) cuando se prevean temperaturas superiores a los treinta grados Celsius (30 °C).

Se sugiere tener los acopios a cubierto y el tiempo de almacenamiento se reduzca al mínimo posible para evitar que el contenido de humedad aumente excesivamente.

#### A.5.1.4.4. Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.

Es recomendable que la fórmula de trabajo fije, además de las características establecidas para el tipo de mezcla nuevo, lo siguiente:

Proporción en masa del material asfáltico a reciclar, referido a la masa total de áridos nuevos de aportación, más el material asfáltico a reciclar.

- Granulometría del árido contenido en el material asfáltico a reciclar, por los tamices ; 25; 20; 12,5; 10; 5; 2,5; 1,25; 0,630; 0,315; 0,160; y 0,08 (NCh 1022 .Of1976), y contenido de ligante hidrocarbonado del material asfáltico a reciclar, referido a la masa total del material asfáltico a reciclar.
- La identificación y proporción de cada fracción del árido nuevo de aportación (incluido el polvo mineral de aportación) en la alimentación y, en su caso, después de su clasificación en caliente, referidas a la masa total de los áridos nuevos de aportación más el material asfáltico a reciclar.

- La granulometría de los áridos de la mezcla asfáltica reciclada, resultado de la combinación de los áridos aportados más los procedentes del material asfáltico a reciclar, por los tamices ; 25; 20; 12,5; 10; 5; 2,5; 1,25; 0,630; 0,315; 0,160; y 0,08 (NCh 1022.Of1976).
- Tipo y características del ligante hidrocarbonado de aportación.
- La dosificación de ligante hidrocarbonado de aportación, referida a la masa total de los áridos nuevos de aportación más el material asfáltico a reciclar.
- En su caso, el tipo y la dotación de las adiciones, referida a la masa total del árido combinado.
- La densidad mínima a alcanzar.

También se señala:

- Los tiempos a exigir para la mezcla de los áridos nuevos con el material asfáltico a reciclar y de ésta con el ligante.
- Las temperaturas máxima y mínima y la humedad máxima del material asfáltico a reciclar en la tolva y en la báscula de dosificación a la entrada del mezclador (se sugiere, en ningún caso, calentar el material asfáltico a reciclar a una temperatura superior a la del ligante de aportación).

Los tiempos para la mezcla en caliente de los áridos y para la mezcla con el ligante vienen determinados por la homogeneidad de la mezcla, la total desintegración de los nódulos de material asfáltico a reciclar y la incorporación del ligante, y en su caso del aditivo rejuvenecedor, con el ligante del material a reciclar.

#### A.5.1.4.5. Fabricación de la mezcla.

Es recomendable que los dosificadores de áridos en frío y del material asfáltico a reciclar se regulen de forma que se obtenga la granulometría de la fórmula de trabajo, su caudal se ajuste a la producción prevista, se mantenga constante la alimentación del secador de áridos y del calentador de material asfáltico a reciclar.

Se recomienda que los gases desprendidos al calentar el material asfáltico a reciclar se recojan y quemem durante el proceso, evitando su vertido a la atmósfera.

En planta, cuyo secador no sea a la vez mezclador, si la alimentación fuese continua, los áridos calentados, en su caso, clasificados, se aconseja pesarlos y transportarlos al mezclador, incorporando el material asfáltico a reciclar en la zona de pesaje en caliente a la salida del secador. Si la alimentación de éste fuese discontinua, después de haber introducido los áridos en el mezclador, se aconseja pesar e introducir el material asfáltico a reciclar junto al polvo mineral, después de un tiempo de disgregación, calentamiento y mezcla, se puede agregar el ligante, y en su caso los aditivos, para cada amasada, se puede continuar la operación de mezcla durante el tiempo especificado en la fórmula de trabajo.

En la planta de mezcla continua, con tambor secador-mezclador se aporta el material asfáltico a reciclar tras la llama, de forma que no exista riesgo de contacto con ella.



#### **A.5.1.5. ESPECIFICACIONES DE LA UNIDAD TERMINADA**

Se sugiere cumplir las especificaciones establecidas para mezclas en caliente nuevas.

#### **A.5.1.6. CONTROL DE CALIDAD**

Se sugiere cumplir las especificaciones establecidas para mezclas en caliente nuevas.

##### **A.5.1.6.1. Control de procedencia del material asfáltico a reciclar.**

Es recomendable que se tomen muestras del material asfáltico a reciclar tratado con objeto de analizar su homogeneidad y caracterizar los acopios.

Para ello, por cada quinientas toneladas (500 t) de acopio de material tratado, si se va a emplear en la fabricación de la mezcla un porcentaje de material asfáltico reciclado inferior al veinticinco por ciento (25%), y por cada doscientas toneladas (200 t) de acopio, si se va a emplear un porcentaje de material asfáltico superior a esa cantidad, se recomienda tomar cinco (5) muestras y de cada una de ellas se sugiere determinar:

- Granulometría del material disgregado, según norma NLT-165 (Con la salvedad de que el secado a masa constante es a  $50 \pm 5^\circ \text{C}$ ).
- Recuperación del ligante, según norma NLT-353.
- Contenido de ligante, según norma NLT-164.
- Granulometría de los áridos recuperados, según norma NLT-165.

Además, de dos (2) de ellas se sugiere determinar también:

- Penetración del ligante recuperado, según NCh 2340.Of1999.
- Punto de ablandamiento anillo y bola del ligante recuperado, según NCh 2337.Of1998.
- Índice de penetración del ligante recuperado, según NCh 2340.Of1999.
- Ensaye Los Ángeles del árido recuperado, según NCh 1369.Of1978.
- Densidad real y absorción del árido recuperado, según NCh 1117.E Of1977 para las Gravas y NCh 1239.Of1977 para las Arenas.

Para obras de más de setenta mil metros cuadrados (70.000 m<sup>2</sup>) o mezclas asfálticas recicladas que contengan más del veinticinco por ciento (25%) de material asfáltico a reciclar respecto de la masa total de la mezcla, se sugiere determinar además:

- Punto de fragilidad Fraass, según NCh 2344.Of1999.
- Ductilidad, según NCh 2342.Of1999.

#### A.5.1.6.2. Control de calidad del material asfáltico a reciclar.

Es recomendable que se examine cada acopio de material asfáltico a reciclar, desechando los que no cumplan con los límites de tolerancias de granulometría y de contenido de ligante establecidos en la Tabla A.5-1.

Se sugiere vigilar la altura de los acopios, el estado de sus elementos separadores y de los accesos.

Sobre cada acopio que se utilice se recomienda hacer los siguientes ensayos:

Al menos dos veces al día (2/d):

- Granulometría del material disgregado, según NCh 165.Of1977 (Con la salvedad de que el secado a masa constante es a  $50 \pm 5^\circ \text{C}$ ).
- Contenido de ligante, según norma NLT-164.
- Granulometría de los áridos recuperados, según norma NLT-165.

Al menos una (1) vez a la semana, o cuando se cambie de procedencia:

- Recuperación del ligante, según norma NLT-353.
- Penetración del ligante recuperado, según NCh 2340.Of1999.
- Punto de ablandamiento anillo y bola del ligante recuperado, según NCh 2337.Of1998.
- Índice de penetración del ligante recuperado, según NCh 2340.Of1999.
- Densidad real y absorción del árido recuperado, según NCh 1117.E Of.1977 para las Gravas y NCh 1239 Of.1977 para las Arenas.

Al menos una (1) vez al mes, o cuando se cambie de procedencia:

- Punto de fragilidad Fraass del ligante recuperado, según NCh 2344.Of1999.
- Ductilidad del ligante recuperado, según la NCh 2342 Of.1999.

#### A.5.1.6.3. Control de ejecución.

##### A.5.1.6.3.1. Fabricación.

Es recomendable que al comenzar la fabricación y al menos dos veces al día o cuando se produzcan precipitaciones atmosféricas cada hora, se determine la humedad, según NCh 1515 Of.1979 (Con la salvedad de que el secado a masa constante sea a  $50 \pm 5^\circ \text{C}$ ), del material asfáltico a reciclar, en la tolva o cinta de carga desde el acopio y en la descarga de la tolva de dosificación y alimentación al mezclador.

**A.5.1.6.4. Control de recepción de la unidad terminada.**

Es recomendable que para obras de más de setenta mil metros cuadrados (70.000 m<sup>2</sup>), mezclas asfálticas recicladas que contengan más del veinticinco por ciento (25%) de material asfáltico a reciclar respecto de la masa total de la mezcla o cuando existan dudas razonables sobre la calidad de la misma, se pueda exigir de los testigos extraídos de acuerdo con lo especificado, la determinación, además de su densidad y de su espesor, la resistencia a tracción indirecta, según la NLT-346, a la temperatura de cinco grados Celsius (5°C), empleando los dispositivos de carga (barras) recogidos en el apartado 2.2 de la norma NLT-360 para la determinación del módulo resiliente.

La resistencia a tracción se puede determinar tanto en seco, directamente sobre los testigos extraídos, como en húmedo, sobre testigos que hayan permanecido sumergidos durante veinticuatro horas (24 h) en agua a la temperatura de sesenta grados Celsius (60 °C).

**A.5.1.7. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO**

Es recomendable que se cumplan las especificaciones establecidas para mezclas nuevas y las siguientes especificaciones adicionales.

**A.5.1.7.1. Resistencia a tracción indirecta en seco y en húmedo.**

Es recomendable que la resistencia media a tracción indirecta, según la NLT-346, a la temperatura de cinco grados Celsius (5 °C), empleando los dispositivos de carga (barras) recogidos en el apartado 2.2 de la norma NLT-360 para la determinación del módulo resiliente, sea superior a los valores indicados en la Tabla A.5-2:

TABLA A.5-2. RESISTENCIA MÍNIMA A TRACCIÓN INDIRECTA DE LOS TESTIGOS.

TIPO DE MEZCLA	ACEPTACIÓN		RECHAZO	
	Seco(1)(MPa)	Húmedo(2)(MPa)	Seco(1)(MPa)	Húmedo(2)(MPa)
<b>Densa (D) y Semidensa (S)</b>	2,5	1,9	2,1	1,6
<b>Gruesa (G)</b>	2,0	1,5	1,6	1,2

(1) Directamente sobre los testigos extraídos.

(2) Sobre testigos que hayan permanecido sumergidos durante veinticuatro horas (24 h) en agua a la temperatura de sesenta grados Celsius (60 °C).

No más del veinte por ciento (20%) de los valores individuales de la muestra sean inferiores a los valores prescritos en la Tabla anterior para los casos de penalización.

Además, la resistencia media de los testigos en húmedo sea superior al setenta y cinco por ciento (75%) de la resistencia en seco.

## **ART. A.5.2. ENSAYES Y MÉTODOS PARA ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS EMPLEADOS EN PAVIMENTOS**

### **A.5.2.1. ENSAYE DE MUESTREO MÉTODO NCh 2332.Of1998.**

Este ensaye establece los procedimientos para realizar muestreos de asfaltos líquidos, semisólidos o sólidos, utilizados en obras de pavimentación. Se aplica en el lugar de producción, en el terminal de abastecimiento, en el lugar de acopio o entrega del producto.

### **A.5.2.2. ENSAYE PARA DETERMINAR LA DENSIDAD MÉTODO NCh 2333.Of1998.**

Este ensaye establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso de picnómetro a la temperatura requerida.

### **A.5.2.3. ENSAYE DE PENETRACIÓN MÉTODO NCh 2340.Of1999.**

Este ensaye describe un procedimiento para determinar la dureza, mediante penetración, de materiales asfálticos sólidos y semisólidos.

El ensaye de penetración se usa como una medida de consistencia; valores altos de penetración indican consistencias más blandas.

### **A.5.2.4. ENSAYE DE DESTILACIÓN PARA ASFALTOS CORTADOS MÉTODO NCh 2347.Of1999.**

Este ensaye define la destilación de productos asfálticos cortados.

### **A.5.2.5. ENSAYE PARA EMULSIONES MÉTODO NCh 2348.Of1998.**

Los ensayos que se describen con los títulos: Composición, Consistencia, Estabilidad y Examinación del Residuo, se refieren al examen de asfaltos emulsificados compuestos principalmente de bases asfálticas líquidas o semisólidas, agua y un agente emulsificante.

### **A.5.2.6. ENSAYE DE LA MANCHA MÉTODO NCh 2343.Of1999.**

Este ensaye es aplicable solamente a productos asfálticos derivados del petróleo, no se aplica a asfaltos naturales que contienen materias no asfálticas insolubles en xileno.

A los materiales, que mediante el uso del solvente normal, se clasifican como positivos, se le puede determinar su grado de positividad por medio del "Equivalente de Xileno". El equivalente de xileno es el menor porcentaje por volumen de xileno en un solvente compuesto de xileno y nafta normal o xileno y heptano normal, como se especifique, el cual produce una mancha "negativa" para el material en cuestión. Este se conoce como equivalente nafta xileno y heptano xileno, respectivamente. El porcentaje de xileno en los solventes se va agregando en incrementos de 5% respecto de la mezcla. Cuando no se especifica equivalente xileno, se usa solamente el solvente nafta normal.

**A.5.2.7. ENSAYE PARA DETERMINAR LA DUCTILIDAD MÉTODO NCh 2342.Of1999.**

La ductilidad de un material asfáltico es la longitud, medida en cm, a la cual se alarga (elonga) antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra descrita, se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas. A menos que otra condición se especifique, el ensaye se efectúa a una temperatura de  $25 \pm 0,5$  °C y a una velocidad de 5 cm/min  $\pm$  5%. Para otras temperaturas puede especificarse la velocidad.

**A.5.2.8. ENSAYE PARA DETERMINAR LOS PUNTOS DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND MÉTODO NCh 2338.Of1998.**

Este ensaye define la determinación de los Puntos de Inflamación y Combustión por medio de la copa abierta de Cleveland, para productos del petróleo y otros líquidos, excepto aceites combustibles y materiales que tienen un punto de inflamación por debajo de 79°C determinado por medio de este método de ensaye.

Si el Punto de Inflamación está por debajo de 79°C., emplee el método del Punto de Inflamación mediante la Copa Abierta Tag (método NCh 2339.Of1999).

**A.5.2.9. ENSAYE PARA DETERMINAR EL PUNTO DE INFLAMACIÓN MEDIANTE LA COPA ABIERTA TAG. MÉTODO NCh 2339.Of1999.**

Este ensaye define el procedimiento para determinar el punto de inflamación por el aparato Copa Abierta Tag, de asfaltos cortados que tienen punto de inflamación menores que 93°C.

Las especificaciones prescriben comúnmente el método de la copa abierta Cleveland para cementos asfálticos y asfaltos cortados que tienen punto de inflamación sobre 80°C.

**A.5.2.10. ENSAYE PARA DETERMINAR LA SOLUBILIDAD EN SOLVENTES ORGÁNICOS MÉTODO NCh 2341.Of1999.**

Este ensaye se aplica para determinar el grado de solubilidad en solventes orgánicos de materiales asfálticos usados en calles, tales como alquitrán y asfalto de petróleo, tengan o no una pequeña cantidad de materia mineral. También, se incluye el procedimiento para calcular la proporción de ligante asfáltico en tetracloruro de carbono.

**A.5.2.11. ENSAYE PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD SAYBOLT MÉTODO NCh 2334.Of1998.**

Este ensaye describe el procedimiento para la medida empírica de la viscosidad Saybolt de productos del petróleo a temperaturas especificadas entre 20 y 100°C.

**A.5.2.12. ENSAYE PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA MÉTODO NCh 2335.Of1998.**

Este ensaye abarca los procedimientos para determinar la viscosidad cinemática de asfaltos líquidos, aceites de calles y residuos destilados de asfaltos líquidos, todos a 60°C, y de cementos asfálticos

a 135°C, en el rango de 30 a 100.000 cSt .Los resultados de este método pueden usarse para calcular la viscosidad cuando la densidad del material a la temperatura de ensaye es conocida o puede determinarse.

**A.5.2.13. ENSAYE PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD MEDIANTE VISCOSÍMETROS CAPILARES DE VACÍO MÉTODO NCh 2336.Ofi 1998.**

Este ensaye describe los procedimientos para determinar la viscosidad de los asfaltos por viscosímetros capilares de vacío a 60° C. Es aplicable a materiales que tengan viscosidades en el rango de 0,036 a 5.800.000 poises.

**A.5.2.14. ENSAYE PARA DETERMINAR EL PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON EL APARATO DE ANILLO Y BOLA MÉTODO NCh 2337.Ofi 1998.**

Este ensaye describe un procedimiento para determinar el punto de ablandamiento de materiales asfálticos, cuyo valor se encuentre en el rango de 30 a 200°C, por medio del aparato de anillo y bola.

**A.5.2.15. ENSAYE PARA DETERMINAR EL PUNTO DE FRAGILIDAD FRAASS MÉTODO NCh 2344.Ofi 1999.**

Este ensaye describe el procedimiento para determinar el punto de fragilidad de los materiales asfálticos de consistencia sólida o semisólida, por medio del aparato Fraass. En el ensaye, una película del material se somete, en condiciones especificadas, a ciclos sucesivos de flexión a temperaturas decrecientes. Se define como Punto de Fragilidad Fraass la temperatura a la cual, debido a la consistencia adquirida por el material asfáltico, se observa la primera fisura o rotura en la superficie de la película.

**A.5.2.16. ENSAYE DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN PARA ASFALTOS MODIFICADOS MÉTODO NORMA NLT-329**

Este ensaye se utiliza en los asfaltos modificados, comprenden los cementos y emulsiones asfálticas modificadas. Se efectúa a 25°C y 40°C.

**A.5.2.17. ENSAYE PARA EMULSIONES MODIFICADAS MEDIANTE PLACA VIALIT MÉTODO NORMA NLT- 313.**

Este ensaye describe el procedimiento que se sigue para valorar la adhesividad, así como la resistencia al desprendimiento existente entre los áridos y el residuo asfáltico de una emulsión asfáltica elastomérica, mediante la placa Vialit. El procedimiento se aplica fundamentalmente a los materiales empleados en tratamientos superficiales, mediante riegos con gravilla, en los que se utiliza como ligante una emulsión asfáltica elastomérica. También se puede aplicar para evaluar emulsiones asfálticas convencionales.

**A.5.2.18. ENSAYE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL MÉTODO NORMA AASHTO TP 48.**

Este ensaye entrega un procedimiento para medir la viscosidad aparente del asfalto a temperaturas desde 60 a 200°C, usando un Viscosímetro Rotacional equipado con Thermosel. La viscosidad del asfalto a altas temperaturas se mide para determinar si un asfalto puede ser manejado y bombeado en la refinería, terminal o planta asfáltica. Los valores medidos mediante este procedimiento se pueden utilizar para desarrollar diagramas temperatura-viscosidad, los que se utilizan para estimar las temperaturas de mezclado y compactación a utilizar durante el diseño de las mezclas asfálticas en caliente.

**A.5.2.19. ENSAYE DE MUESTREO DE MEZCLAS MÉTODO NORMA NLT-348.**

Este ensaye describe el procedimiento para muestrear mezclas de materiales asfálticos con agregado mineral usadas en pavimentos. Las muestras pueden usarse para cualquiera de los dos siguientes propósitos:

- Representar un promedio de la mezcla asfáltica.
- Determinar la variación periódica en las características de la mezcla con el propósito de controlar uniformidad.

**A.5.2.20. ENSAYE PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS PROVENIENTES DE EXTRACCIÓN MÉTODO NORMA NTL-165.**

Este ensaye describe el procedimiento para determinar la distribución de tamaños de las partículas de agregado grueso y fino, extraídos de muestras asfálticas. Sirve para verificar el cumplimiento de la granulometría con la banda de trabajo y además, entrega antecedentes para el control de calidad de las mezclas asfálticas.

**A.5.2.21. ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA MÉTODO NCh 2346.Of1999.**

Este ensaye se usa para medir el efecto de calor y aire en una película en movimiento de materiales asfálticos semisólidos en forma rutinaria y para los otros tipos, sólo en caso de investigación. Los efectos de este tratamiento se determinan en base a mediciones de las propiedades del asfalto antes y después del ensaye.

**A.5.2.22. ENSAYE ABSON PARA LA RECUPERACIÓN DE ASFALTO MÉTODO NORMA AASHTO T 170-82.**

Este ensaye describe el procedimiento para recuperar por el Método de Abson, el material asfáltico en el líquido extraído de las mezclas asfálticas, utilizando diclorometano. El material asfáltico se recupera con propiedades que son sustancialmente las mismas que posee en la mezcla asfáltica y en cantidad suficiente para ensayos posteriores. Es preferible no emplear este método y reemplazarlo por el rotovapor.

**A.5.2.23. ENSAYE PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE LIGANTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POR CENTRIFUGACIÓN - ENSAYE DE EXTRACCIÓN MÉTODO NORMA NLT-164.**

Este ensaye describe los procedimientos para determinar cuantitativamente el contenido de ligante asfáltico en una mezcla, mediante el proceso de centrifugación. Como solventes en el proceso de centrifugación se puede emplear tricloroetileno, cloruro de metileno o tricloroetano. A los agregados recuperados se le puede efectuar análisis granulométrico, de acuerdo a la norma NLT-165.

**A.5.2.24. ENSAYE PARA DETERMINAR LA DENSIDAD MÁXIMA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SIN COMPACTAR MÉTODO NORMA ASTM D 2041-95.**

Este ensaye permite determinar la densidad máxima teórica de mezclas asfálticas sin compactar, a 25°C, así como el porcentaje de ligante absorbido por los agregados de la mezcla, de modo de cuantificar la cantidad total o efectiva de asfalto requerida por la misma.

**A.5.2.25. ENSAYE PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS METODO NORMA NLT-168.**

Este ensaye establece procedimientos para determinar la densidad real de mezclas asfálticas compactadas.

**A.5.2.26. ENSAYE PARA DETERMINAR LA HUMEDAD O VOLÁTILES EN MEZCLAS ASFÁLTICAS MÉTODO NORMA AASHTO T 110-70.**

Este ensaye describe un procedimiento para determinar, por medición directa, la humedad o fracciones volátiles del asfalto en mezclas de pavimentos asfálticos.

**A.5.2.27. ENSAYE PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL MÉTODO NORMA ASTM D-1559.**

Este ensaye describe la medición de la resistencia a la deformación plástica de probetas cilíndricas de mezclas asfálticas, cargadas sobre su manto lateral, usando el aparato Marshall. Este método es aplicable a mezclas asfálticas con agregado pétreo de tamaño máximo 25 mm.

**A.5.2.28. ENSAYE PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE MUESTRAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS MÉTODO NORMA NLT-168.**

Este ensaye permite determinar el espesor o altura de probetas y testigos confeccionados con mezclas asfálticas. El espesor de un pavimento asfáltico se controla mediante testigos, para verificar que el volumen de mezcla estipulado ha sido efectivamente colocado en obra. La altura de las probetas confeccionadas en laboratorio se utiliza para corregir los valores de estabilidad Marshall.



**A.5.2.29. ENSAYE PARA DETERMINAR IN SITU LA PERMEABILIDAD DE PAVIMENTOS DRENANTES MÉTODO NORMA NLT-327.**

Este ensaye describe el procedimiento que se sigue para la realización de medidas de permeabilidad in situ en mezclas drenantes utilizadas en capas de rodadura y aceras.

**A.5.2.30. ENSAYE DE ABRASIÓN EN MEDIO HÚMEDO PARA LECHADAS MÉTODO ISSA 100**

Este ensaye se utiliza para determinar la resistencia al desgaste por abrasión bajo agua de probetas de lechada asfáltica. Es una simulación que correlaciona el comportamiento en laboratorio con el desempeño a escala real de las lechadas asfálticas.

Mediante este procedimiento se determina el contenido mínimo de ligante necesario para obtener una lechada con la cohesión suficiente para resistir la acción abrasiva producida por el tránsito.

**A.5.2.31. MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL MÉTODO NORMA ASTM D-1559.**

Este procedimiento es aplicable a mezclas en caliente con cementos asfálticos que contengan agregados con tamaño máximo absoluto igual o inferior a 25 mm. Se puede usar tanto para el diseño en laboratorio como en el control de terreno y describe una metodología para determinar el óptimo de asfalto en las mezclas.

**A.5.2.32. MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO CON EMULSIÓN MÉTODO NORMA ASTM D-1560.**

Esta especificación describe el método de diseño para mezclas asfálticas en frío con emulsión. El procedimiento está orientado a mezclas para calles de bajo volumen de tránsito, con agregados densamente graduados con tamaño máximo menor o igual a 25 mm (1 pulg). Es aplicable a mezclas producidas tanto in situ como en laboratorio, a temperaturas ambiente. El método comprende la realización de las siguientes etapas:

- Contenido inicial de emulsión.
- Contenido de agua de premezcla.
- Contenido óptimo de agua de compactación.
- Contenido óptimo de asfalto residual.

**A.5.2.33. MÉTODO DE DISEÑO DE LECHADAS ASFÁLTICAS MÉTODO ISSA N°111.**

Este método define un procedimiento para el diseño de lechadas asfálticas y describe una metodología para determinar el contenido óptimo de ligante.

**A.5.2.34. ENSAYE PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE MÁXIMO DE LIGANTE EN LECHADAS ASFÁLTICAS USANDO LA RUEDA DE CARGA MÉTODO NORMA ASTM C 778-97.**

Este ensaye se utiliza para establecer el límite máximo del contenido de ligante en lechadas asfálticas mediante el procedimiento de la rueda de carga.

**A.5.2.35. ENSAYE PARA CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE MÉTODO NORMA NLT- 352.**

Esta norma describe el procedimiento de ensayo que se sigue para la determinación de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas, empleando la máquina de los Ángeles. El procedimiento puede emplearse tanto en el proyecto de mezclas en laboratorio, como para el control en obra de las mismas. El procedimiento se aplica a mezclas asfálticas de granulometría abierta fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño máximo sea inferior a 25 mm. El ensayo permite valorar indirectamente la cohesión, la trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

**A.5.2.36. ENSAYE PARA DETERMINAR EL EFECTO DEL AGUA SOBRE LA COHESIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA, MEDIANTE EL ENSAYO CÁNTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE MÉTODO NLT- 352.**

Esta norma describe el procedimiento de ensayo que se sigue para determinar la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua sobre las mezclas asfálticas compactadas de granulometría abierta, de utilización en la construcción de vías y calles.

El procedimiento se aplica a mezclas asfálticas de granulometría abierta fabricadas en frío o en caliente, con ligantes asfálticos modificados o sin modificar, cuyo tamaño máximo de las partículas de árido sea menor a 25 mm.

Con el método se obtiene un índice numérico del aumento de pérdida de masa, como consecuencia de comparar los resultados del ensayo entre series duplicadas de probetas, unas mantenidas al aire y otras sometidas a la acción del agua, en las condiciones que se prescriben en esta norma.

**A.5.2.37. ENSAYE PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ASFALTO POR IGNICIÓN NORMA AASHTO 308-99.**

Este ensayo cubre la determinación del contenido de ligante asfáltico de Mezclas de Asfalto en Caliente (MAC) por ignición del ligante asfáltico a 538 °C (1000 °F) o menos en un horno. El agregado que queda después de la ignición puede usarse para análisis granulométrico de agregados provenientes de extracción.

**A.5.2.38. ENSAYE PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE VACÍOS DE AGREGADOS FINOS NO COMPACTADOS NORMA AASHTO T 304-96.**

Este ensayo describe la determinación del contenido de vacíos sueltos no compactados de agregados finos. Cuando se mide sobre cualquier agregado de graduación conocida, el contenido de vacíos da una indicación de la angularidad, esfericidad, y textura superficial del agregado, comparado con otro agregado fino, ensayado con la misma graduación. Cuando el contenido de vacíos se mide sobre un agregado fino tal como se recibe, puede ser un indicador del efecto del agregado fino sobre la trabajabilidad de una mezcla en la cual se puede usar.

Se incluyen tres procedimientos para la medida del contenido de vacíos. Dos usan agregados finos graduados (graduación normal o tal como se recibe), y la otra usa varias fracciones de tamaños individuales para determinación de contenido de vacíos.

**A.5.2.39. ENSAYE DE RECUPERACIÓN DEL LIGANTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA SU CARACTERIZACIÓN MÉTODO NLT- 353.**

Este ensaye describe el procedimiento que se sigue para la recuperación y posterior caracterización del ligante de las mezclas asfálticas. Para ello, el proceso de recuperación indicado en esta norma asegura una alteración mínima de sus propiedades.

**ART. A.5.3. ENSAYOS PARA AGREGADOS PÉTREOS.**

**A.5.3.1. ENSAYE PARA EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS MÉTODO NCh 164. Of1976.**

Este método establece la forma de extracción y preparación desde los acopios y/o canteras de los agregados gruesos, finos e integrales para fines de ensaye en laboratorio. Estas muestras son representativas del acopio de los agregados, homogenizados y reducidos de tamaño mediante cuarteo. Las muestras son enviadas a laboratorio debidamente identificadas y tomando las precauciones necesarias para el transporte, evitando toda pérdida de material.

**A.5.3.2. ENSAYE PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA MÉTODOS NCh 165.Of1977 (TAMIZADO) Y AASHTO T 37 - 77. (FÍLLER).**

La granulometría es una distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un pétreo. Para realizar el ensaye se acondiciona una muestra de material seco a masa constante determinando su masa, se tamiza y se determinan los pesos retenidos en cada tamiz normalizado. El juego de tamices depende del tipo de material a analizar, ya sea un agregado grueso o un agregado fino. La granulometría se realiza a agregados gruesos, finos y filler.

**A.5.3.3. ENSAYE PARA LA OBTENCIÓN DEL MATERIAL FINO MENOR QUE 0,080MM MÉTODO NCh 1223.Of1977.**

Se acondiciona el material determinando su masa inicial en estado seco, este material retenido en el tamiz 0,08 mm se lava y tamiza, extrayéndose todo el fino inferior a 0,08 mm. El material que queda retenido en el tamiz 0,08 mm se pesa obteniéndose por diferencia el “fino por lavado”.

**A.5.3.4. ENSAYE PARA DETERMINAR LA CUBICIDAD DE LAS PARTÍCULAS MÉTODO NLT- 358.**

Este método determina en forma porcentual la cantidad de partículas chancadas, lajeadas y rodadas, retenidas en el tamiz 5 mm, siendo el agregado chancado el que posee dos o mas caras fracturadas; el agregado lajeado es aquel en que el cociente entre las dimensiones máximas y mínimas, referidas a un prisma rectangular circunscrito, es mayor que cinco; y el agregado rodado es aquel que no posee aristas.

**A.5.3.5. ENSAYE PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE LAJAS MÉTODO NLT-354.**

El índice de lajas es el porcentaje en peso de partículas que tienen un espesor (dimensión mínima), inferior a 0,6 veces la dimensión media de la fracción de agregado considerado, aplicándose a áridos de tamaño máximo absoluto iguales o mayores a 6,3 mm.

**A.5.3.6. ENSAYE PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE TRITURACIÓN MÉTODO UNE-EN 933-5.**

Este método determina la resistencia a la desintegración física de los agregados gruesos y finos. En el caso del agregado grueso se determina por compresión en un molde confinado sometido a la acción de una carga gradual. Los agregados finos, en cambio, se someten a impactos repetidos en situación de confinamiento.

**A.5.3.7. ENSAYE PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA MÉTODO NCh 1325.Of1978.**

Con este ensaye se determinan las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los pétreos que pasan por tamiz de 5 mm. Se calcula el porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas, húmicas y eventualmente ferruginosas. Para realizar este ensaye se prepara una solución base, compuesta con los siguientes reactivos: cloruro de calcio anhidro, glicerina farmacéutica y formaldehído.

**A.5.3.8. ENSAYE PARA DETERMINACIÓN DE HUECOS MÉTODO NCh 1326.Of1977.**

Con este ensaye se determina el contenido de huecos (espacios vacíos entre las partículas de un pétreo) en los agregados mediante la determinación de la densidad real seca y la densidad aparente del árido.

**A.5.3.9. ENSAYE PARA DETERMINAR EL DESGASTE MEDIANTE ENSAYO LOS ÁNGELES MÉTODO NCh 1369.Of1978.**

Este método determina la resistencia al desgaste de los agregados pétreos mayores a 2,5 mm mediante la máquina de Los Ángeles, con una relación porcentual entre la masa de la muestra antes del desgaste y después del desgaste; éste es producido por esferas de acero en un tambor que gira con los agregados dentro del tambor.

**A.5.3.10. ENSAYE PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE VOLUMÉTRICO MEDIO DE LOS PÉTREOS GRUESOS MÉTODO NCh 1511.Of1980.**

Procedimiento por el cual se determinan la suma de los volúmenes reales que componen a un agregado pétreo. Este coeficiente se calcula mediante el cociente entre los volúmenes reales del agregado y el volumen de una esfera de diámetro igual a la mayor dimensión del agregado.

**A.5.3.11. ENSAYE PARA DETERMINAR SALES SOLUBLES MÉTODO NLT- 114.**

Este ensaye determina la cantidad de cloruros y sulfatos de los agregados pétreos que son solubles en agua. Los agregados pétreos son sometidos a continuos lavados con agua destilada a la temperatura de ebullición, hasta la extracción total de las sales. La presencia de sales es detectada mediante reactivos químicos. Del agua utilizada para lavar los agregados, se toma una muestra y se deja cristalizar, para determinar la cantidad de sales totales presentes.

**A.5.3.12. ENSAYE PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE PARTÍCULAS DESMENUZABLES MÉTODO NCh 1327.Of1977.**

Las partículas desmenuzables son aquellas que se desmenuzan con la presión de los dedos. Se eliminan de la muestra mediante inmersión, compresión y lavado.

**A.5.3.13. ENSAYE DE LOS SULFATOS PARA DETERMINAR LA DESINTEGRACIÓN MÉTODO NCh 1328.Of1977.**

Este método mide la desintegración de los agregados mediante sucesivas inmersiones en sulfato de sodio o sulfato de magnesio y secados al horno. Al completar el ciclo, la muestra se pesa y se compara con la masa inicial.

**A.5.3.14. ENSAYE PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CLORUROS Y SULFATOS MÉTODO NCh 1444/I.Of1980.**

Método por el cual se determinan la cantidad de cloruros y sulfatos en los agregados pétreos, mediante la utilización de reactivos como el ácido clorhídrico y el ácido nítrico, entre otros.

**A.5.3.15. ENSAYE PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE MÉTODO NCh 1116E.Of1977.**

Densidad que considera el volumen macizo de las partículas de un pétreo más el volumen de los poros y de los huecos. Corresponde a la capacidad de la medida que lo contiene.

**A.5.3.16. ENSAYE PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, DENSIDAD NETA Y ABSORCIÓN DE AGUA EN PÉTREOS GRUESOS MÉTODO NCh 1117E.Of1977.**

*Densidad real:* densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.

*Densidad neta:* densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo mas el volumen de los poros inaccesibles.

*Absorción de Agua:* masa de agua necesaria para llevar un material pétreo del estado seco al estado saturado superficialmente seco.

**A.5.3.17. ENSAYE PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, DENSIDAD NETA Y ABSORCIÓN DE AGUA EN PÉTREOS FINOS MÉTODO NCh 1239.Of1977.**

Se acondiciona la muestra de pétreo fino para determinar su masa en condiciones seca y saturada superficialmente seca. Luego se calcula la masa de agua desplazada por el pétreo fino sumergido en un matraz aforado. Con los valores obtenidos, se calculan la densidad real, densidad neta y absorción de agua.

**A.5.3.18. MÉTODO PARA CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE MÉTODO NLT- 352.**

Este método describe el procedimiento de ensayo que se sigue para la determinación de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas, empleando la máquina del ensayo Desgaste Los Ángeles. El procedimiento puede emplearse, tanto en el proyecto de mezclas en laboratorio, como para el control en obra, de las mismas.

**A.5.3.19. MÉTODO PARA DETERMINAR EL LÍMITE PLÁSTICO MÉTODO NCh 1517/2.Of1978.**

Para determinar el Índice de Plasticidad, se requiere conocer el Límite Plástico y el Límite Líquido, donde  $IP = LL - LP$ . El Límite Plástico corresponde a la humedad expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plástico y semisólido. El Límite Líquido corresponde a la humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido y plástico.



## ANEXO SECCIÓN 12

### ART. A 12.1 PLASTICIDAD

Dentro de los límites que se da a este término en Mecánica de Suelos, la plasticidad puede definirse como la propiedad de un material, por la cual puede soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.

Esta propiedad no es general de todos los suelos, no la poseen los suelos gruesos, en cuanto a los suelos finos, no constituye una propiedad permanente, sino circunstancial y que depende de su contenido de agua.

De acuerdo a este contenido de agua, si este es decreciente, un suelo con propiedades plásticas puede presentar distintos estados de consistencia, que fueron definidos por Atterberg:

- a.) Estado líquido.
- b.) Estado semilíquido.
- c.) Estado plástico.
- d.) Estado semisólido.
- e.) Estado sólido.

Los límites entre estos estados del suelo han sido fijados convencionalmente, de acuerdo a determinadas pruebas de laboratorio. En esta forma se tienen: el Límite Líquido entre estado semilíquido y el plástico; el Límite Plástico entre el estado plástico y el semisólido; el Límite de Contracción, entre los estados semisólido y sólido. Se usa mucho como parámetro de plasticidad el llamado Índice Plástico:

$$I_p = LL - LP$$

Siendo LL el límite líquido, y LP el límite plástico.





## ANEXO SECCIÓN 13

### ART. A 13.1. ESTIMACIÓN DEL TMDA A PARTIR DE MUESTRAS

Si se desea determinar el tránsito medio diario anual (TMDA) de una vía, se toman en cuenta todas las variaciones cíclicas de todo un año. Obviamente, es imposible contar el número total de vehículos que pasan por la vía y dividirlo por los 365 días. Aunque este procedimiento encierra dentro de sí el flujo vehicular anual, hacerlo anticipadamente para cualquier tipo de investigación normal, es claramente antieconómico e impropio.

A consecuencia de las limitaciones ya mencionadas, diversos métodos se han desarrollado involucrando períodos de conteo mucho más cortos, basados en las variaciones cíclicas.

Se requiere que los períodos de conteo muestren la variabilidad del tránsito en las proporciones correctas de las fluctuaciones mensual (estacional), semanal y diaria. Mientras las características del tránsito sean menores y más variables, mayor es el tamaño de la muestra requerida, o inversamente, para un número determinado de horas de conteo, es menor la confianza de que los conteos estén cercanos a los valores reales.

Cada método se presenta en el siguiente orden:

- Descripción de las características del método.
- Requerimientos indispensables para su aplicación.

#### A 13.1.1. MÉTODO “ DOS MUESTRAS SEMANALES “ (G. WELL)

El método plantea determinar el tránsito medio diario anual TMDA tomando en cuenta las fluctuaciones del tránsito anual, concretamente, a partir del promedio de dos muestras semanales. Este procedimiento puede proporcionar una buena aproximación del TMDA, siempre y cuando estas dos muestras estén separadas en seis meses una de la otra. O sea, muestras semanales de dos extremos, como por ejemplo: Enero y Julio, Marzo y Septiembre, etc.

Por lo tanto, se puede deducir un TMDA razonablemente preciso, teniendo presente que el conteo en ambos meses contempla el comportamiento de las fluctuaciones diarias de 24 horas y las fluctuaciones semanales de los 7 días. En la siguiente ecuación se sintetiza el procedimiento:

$$TMDA = \frac{(TDS_{mes1} + TDS_{mes2})}{14}$$

Donde:

$TMDA$ : Tránsito medio diario anual.

$TDS_{mes1}$ : Tránsito diario de 24 hrs., durante una semana de 7 días del primer mes.

$TDS_{mes2}$ : Tránsito diario de 24 hrs., durante una semana de 7 días del segundo mes.

### A 13.1.2. MÉTODO “TRES MUESTRAS DE 24 HORAS/DÍA”

Esta metodología consiste básicamente en la toma de muestras diarias, en períodos de flujo máximo, medio, y bajo de un año. Para identificar estos períodos, es necesario previamente tener conocimiento de las variaciones cíclicas del flujo vehicular anual en la vía de estudio o en una aledaña a ella de similar característica. Por lo general, estas muestras se toman en un día laboral (DL), preferiblemente un miércoles.

El TMDA estimado se obtiene del promedio de las tres muestras diarias de 24 horas cada una. El resultado se corrige por un coeficiente estacional que permita ajustar el resultado obtenido, pero a falta de estos coeficientes, se utiliza la siguiente ecuación:

$$TMDA = \frac{(TD_{mes A} + TD_{mes M} + TD_{mes B})}{3}$$

Donde:

$TMDA$  : Tránsito diario medio anual.

$TD_{mes A}$  : Tránsito diario de 24 horas, correspondiente al mes de flujo máximo.

$TD_{mes M}$  : Tránsito diario de 24 horas, correspondiente al mes de flujo medio.

$TD_{mes B}$  : Tránsito diario de 24 horas, correspondiente al mes de flujo bajo.

### A 13.1.3. MÉTODO “UNA O TRES MUESTRAS DE 16 HORAS/DÍA” G. WELLS

Por lo general, muy rara vez se toman muestras de flujos semanales de 7 días y de 24 horas cada una, tal como lo requerido en la propuesta anterior del mismo autor. En este caso, se propone otro método alternativo, el cual consiste en usar muestreos tomados en cualquier época del año y a partir de estos datos, estimar un tránsito medio diario anual (TMDA). Para ello, se requiere tener conocimiento claro de las variaciones cíclicas del flujo vehicular mensual, al menos más de uno o dos períodos anuales de 12 meses cada uno (estos flujos pueden ser de la vía en estudio o una de similar característica). Por otra parte, se ha comprobado que cuando las muestras son tomadas en los meses punta (flujo máximo) o meses promedio (flujo promedio mensual) del flujo vehicular anual, los errores en tales cálculos son menores.

También se ha comprobado que el movimiento de tránsito en las 16 horas, entre 6:00 a.m. y 10:00 p.m. de un día, representa aproximadamente el 93 % del flujo diario de 24 horas y que los flujos diarios de Lunes a Viernes son relativamente constantes. Por otra parte, G.Wells recomienda que en vías urbanas sólo se requiera el conteo del flujo vehicular de 16 horas de un día laboral cualquiera. En el caso de estudios en vías interurbanas se requiere de tres muestras diarias de 16 horas, las cuales se toman los días Viernes, Sábado y Domingo.

Concretamente, en vías interurbanas el procedimiento que se sigue para obtener el tránsito semanal a partir de tres muestras, es el siguiente: se toman 3 muestras diarias del flujo vehicular, cada una de 16 horas entre 6:00 a.m. y 10:00 p.m., los días: viernes (día laboral DL), sábado y domingo (fin de semana WE). Luego la muestra del (DL) se considera constante, por lo tanto, con el producto de esta

muestra por los demás 5 días (DL), y sumado a las 2 muestras (WE), se obtiene el flujo semanal de 7 días correspondiente a 16 horas/día. Por último, para convertir este flujo semanal a uno de 7 días de 24 horas/día, se divide por la proporción 0,93, tal como se ve en la ecuación que se presenta a continuación:

$$TS_{24} = \frac{(TD_{v16} \cdot 5 + TD_{s16} + TD_{d16})}{0,93}$$

Donde:

$TS_{24}$  :Tránsito semanal de 7 días de 24 hrs., expandido desde 3 días c/u de 16 hrs./día.

$TS_{24}$  :Tránsito diario del día viernes de 16 horas medidas.

$TD_{v16}$  :Tránsito diario del día sábado de 16 horas medidas.

$TD_{s16}$  :Tránsito diario del día domingo de 16 horas medidas.

En el caso de vías urbanas, el tránsito semanal se obtiene sólo con el producto de la muestra diaria de 16 horas por 7 días y dividido por 0,93.

A continuación, para obtener el TMDA se utiliza el tránsito semanal ajustado de 7 días de 24 horas/día “ $TS_{24}$ ” calculado anteriormente, y se aplica el porcentaje mensual correspondiente al mes en el cual se obtuvieron las muestras. Este último valor, representa la relación del flujo de tránsito mensual respecto al flujo de tránsito promedio mensual de todo el año. Para determinar el TMDA se sugiere utilizar la siguiente ecuación:

$$TMDA = \frac{\left( \frac{TS_{24} \cdot 100}{PM} \right)}{7}$$

Donde:

$TMDA$  :Tránsito medio diario anual.

$PM$  :Porcentaje mensual del mes en el cual se obtiene la muestra (obtenida del cociente: flujo mensual/flujo promedio mensual).

$TS_{24}$  :Tránsito semanal de 7 días de 24 hrs., expandido desde 3 días c/u de 16 hrs./día.

#### A 13.1.4. MÉTODO “ UNA MUESTRA HORARIA “ F. D. HOBBS

El método que propone F.D. Hobbs, también permite determinar el tránsito medio diario anual (TMDA), pero a partir de una muestra horaria en cualquier época del año. Este método también se caracteriza por considerar las típicas variaciones cíclicas del flujo vehicular diario, semanal y anual, que han sido expresadas como un porcentaje horario del flujo diario, porcentaje diario del flujo semanal y porcentaje mensual del flujo anual, respectivamente.

Los volúmenes estimados basados en muestras horarias de conteo vehicular, son más confiables si los conteos se toman en los períodos en los cuales las variaciones cíclicas muestran la máxima consistencia. Habiendo sido examinados conteos vehiculares de 50 estaciones de control permanente en Inglaterra, Scotland, Walles y Garwood se ha demostrado que:

- a.) Para la predicción de volúmenes diarios desde volúmenes horarios, la máxima consistencia ocurre entre las 9:00 a.m. y las 7:00 p.m.
- b.) La transformación de volúmenes diarios a volúmenes semanales cualquier día de la semana, a excepción del domingo, es razonablemente consistente, dado que el día lunes presenta una mínima variación.
- c.) Para una estimación de volúmenes anuales, los mejores resultados pueden obtenerse basados en conteos realizados en los meses de abril y septiembre.

En este estudio también se han examinado los volúmenes anuales registrados por las estaciones de control permanente en las vías urbanas. A partir de este análisis local, se puede afirmar que la predicción más confiable del tránsito anual, a partir de una muestra horaria de conteo vehicular, se hace si la muestra se toma entre las 9:00 a.m. y las 7:00 p.m. en un día martes o jueves, entre los meses de marzo, agosto o noviembre.

La expansión de una muestra horaria de conteo vehicular a volúmenes diario, mensual y anual, se basa fundamentalmente en las variaciones cíclicas del flujo vehicular establecidas para una determinada vía o para otras dentro de un área de similar característica socio económica. Si estas variaciones cíclicas provistas son confiables, se puede utilizar una muestra horaria de conteo vehicular.

El TMDA estimado se puede determinar aplicando la siguiente ecuación, para lo cual se requiere de una muestra de conteo vehicular correspondiente a una hora de medición.

$$TMDA = \frac{(30 \times 10^6 \cdot MH)}{PH_{hora} \cdot PD_{dia} \cdot PM_{mes} \cdot 7 \cdot 365}$$

Donde:

- $TMDA$  : Tránsito diario medio anual.
- $MH$  : Muestra de conteo vehicular, correspondiente a una hora de medición.
- $PH_{hora}$  : Porcentaje horario del flujo vehicular diario.
- $PD_{dia}$  : Porcentaje diario flujo vehicular semanal igual a 14,29 %.
- $PM_{mes}$  : Porcentaje mensual flujo vehicular anual igual a 8,33 %.

#### **A 13.1.5. MÉTODO “TRES MUESTRAS HORARIAS/DÍA”**

Este método permite determinar el tránsito medio diario anual TMDA a partir de tres muestras de una hora cada una, tomadas en un día laboral (DL) entre martes, miércoles o jueves y preferible en los meses donde el flujo vehicular mensual sea igual o superior al flujo promedio mensual en un año.

Antes de seguir con la descripción del método, se recuerda que el tránsito en las 16 horas, entre 6:00 a.m. y 10:00 p.m. de un día, representa aproximadamente el 93 % del flujo diario de 24 horas, y que los flujos diarios de Lunes a Viernes son relativamente constantes. Teniendo en cuenta estos antecedentes, a continuación, en la Tabla 13-1 se muestran los períodos dentro los cuales se toman las muestras, así como las horas efectivas por día laboral (DL) y semana compuesta por los cinco días laborales.

TABLA A 13-1: HORARIOS DE LOS PERÍODOS POR DÍA Y SEMANA EN 16 HORAS/DÍA

PERÍODOS PARA UN DÍA LABORAL ENTRE 06:00 - 22:00	TOTAL DE HORAS EFECTIVAS		
	Período	Día	Semana
Punta mañana 07:00 - 09:00	2	2	10
Fuera de punta 10:00 - 12:00	2	12	60
Punta tarde 17:30 - 19:30	2	2	10

Otro dato importante requerido para estimar el TMDA, es la relación existente entre el flujo diario de 16 horas de los 5 días laborales de la semana y el flujo diario de 24 horas de una semana de siete días. Con esta relación es posible obtener el flujo equivalente semanal de 7 días y de 24 horas/día. Sin embargo, cuando no se disponga de las magnitudes requeridas para obtener esta relación, se podría adoptar el valor 0.75, con el cual se puede obtener una buena aproximación del flujo semanal. Para sintetizar el procedimiento se presenta la siguiente ecuación:

$$TMDA = \frac{[(PM \cdot 10) + (FP \cdot 60) + (PT \cdot 10) \cdot 52]}{\left[ \frac{F_{16}}{F_{24}} \right] \cdot 365}$$

Donde:

- TMDA* : Tránsito medio diario anual.  
*PM* : Muestra horaria de conteo vehicular en el período Punta mañana.  
*FP* : Muestra horaria de conteo vehicular en el período Fuera de punta.  
*PT* : Muestra horaria de conteo vehicular en el período Punta tarde.  
*F<sub>16</sub>* : Flujo diario de 16 hrs. de 5 días laborales de la semana.  
*F<sub>24</sub>* : Flujo diario de 24 hrs. de 7 días de la semana.

## ART. A 13.2. CLASIFICACIÓN DE VÍAS URBANAS

Existen dos grandes grupos de vías urbanas: el primero corresponde a las Vías Expresas, Vías Troncales y Vías Colectoras, el segundo a las Vías de Servicio, Vías Locales y Pasajes.

Las características que permiten identificar las vías antes señaladas se describen a continuación:

### **A 13.2.1. VÍA EXPRESA**

- Su rol principal es establecer las relaciones intercomunales entre las diferentes áreas urbanas a nivel regional.
- Sus calzadas permiten desplazamientos a grandes distancias, con una recomendable continuidad funcional en una distancia mayor de 8 [km]. Velocidad de Diseño entre 80 y 100 [km/hr].
- Tiene gran capacidad de desplazamiento de flujos vehiculares, mayor a 4000 [veh/hr] considerando ambos sentidos.
- Flujo predominante de automóviles, con presencia de locomoción colectiva y vehículos de carga. Prohibición de circulación para vehículos de tracción animal y humana.
- Sus cruces con otras vías o con circulaciones peatonales son preferentemente a distintos niveles.
- Sus cruces con otras vías están a distancias no menores a 1000 [m], debiendo contar a lo menos con enlace controlado.
- Segregación funcional selectiva y física del entorno. Servicios anexos prohibidos sin accesos especiales.
- Prohibición absoluta y permanente del estacionamiento y la detención de cualquier tipo de vehículo sobre la calzada de circulación.
- La distancia entre líneas oficiales no puede ser inferior a 50 [m].
- El ancho mínimo de sus calzadas pavimentadas no puede, en conjunto, ser inferior a 21 [m].
- Puede estar conformada por un solo cauce, bidireccional, debidamente canalizado y dispone de una mediana de ancho mínimo de 2 [m], pudiendo contar además, si ello es necesario, con calles de tránsito local.
- En general, pueden consultar vías locales, que están provistas de aceras en su lado exterior, de un ancho mínimo de 4 [m].
- No se contempla en ellas la existencia de ciclovías.

### **A 13.2.2. VÍA TRONCAL**

- Su rol principal es establecer la conexión entre las diferentes zonas urbanas de una intercomuna.
- Sus calzadas permiten desplazamientos a grandes distancias, con una recomendable continuidad funcional en una distancia mayor de 6 [km]. Velocidad de Diseño entre 50 y 80 [km/hr].
- Tiene alta capacidad de desplazamiento de flujos vehiculares, mayor a 2000 [veh/hr] considerando ambos sentidos.
- Flujo predominante de locomoción colectiva y automóviles. Restricción para vehículos de tracción animal y humana.

- Sus cruces con otras vías o con circulaciones peatonales pueden ser a cualquier nivel, manteniéndose la preferencia de esta vía sobre las demás, salvo que se trate de cruces con vías expresas, las cuales siempre son preferenciales. Sus cruces a nivel con otras vías troncales son controlados.
- Los cruces, paraderos de locomoción colectiva, servicios anexos y otros elementos singulares, preferentemente están distanciados a más de 500 [m] entre sí.
- Presenta una segregación funcional parcial con su entorno. Servicios anexos sólo con accesos normalizados.
- Prohibición absoluta y permanente del estacionamiento y la detención de cualquier tipo de vehículo en su calzada.
- La distancia entre líneas oficiales no puede ser inferior a 30 [m].
- El ancho mínimo de sus calzadas pavimentadas no puede, en conjunto, ser inferior a 14 [m].
- Puede estar conformada por un solo cauce, bidireccional, con o sin mediana, o bien, puede constituirse un Sistema Troncal conformado por un par de vías con distinto sentido de tránsito, en que cada una de ellas cumpla los siguientes requisitos mínimos:
  - Distancia entre líneas oficiales no inferior a 20 [m].
  - Ancho de calzada pavimentada no inferior a 7 [m].
  - Pueden existir aceras a ambos costados, cada una de ellas de 3.5 [m] de ancho mínimo, en su condición más desfavorable.
  - En el caso de existir ciclovías, es recomendable que ellas sean ciclistas.

### **A 13.2.3. VÍA COLECTORA**

- Su rol principal es de corredor de distribución entre la residencia y los centros de empleo y de servicios, y de repartición y/o captación hacia o desde la trama vial de nivel inferior.
- Sus calzadas atienden desplazamientos a distancia media, con una recomendable continuidad funcional en una distancia mayor de 3 [km]. Velocidad de Diseño entre 40 y 50 [km/hr].
- Tiene capacidad de desplazamiento de flujos vehiculares mayor a 1500 [veh/hr] considerando ambos sentidos.
- Flujo predominante de automóviles. Restricciones para vehículos de tracción animal.
- Sus cruces con otras vías o con circulaciones peatonales pueden ser a cualquier nivel, manteniéndose la preferencia de esta vía sobre las demás, salvo que se trate de cruces con vías expresas o troncales, los cuales son controlados.
- No hay limitación para establecer el distanciamiento entre sus cruces con otras vías.
- Ausencia de todo tipo de segregación con el entorno. Servicios anexos sólo con accesos normalizados.
- Puede prohibirse el estacionamiento de cualquier tipo de vehículo en ella.



- La distancia entre líneas oficiales no puede ser inferior a 20 [m].
- El ancho mínimo de sus calzadas pavimentadas no puede, en conjunto, ser inferior a 14 [m].
- Puede estar conformada por un solo cauce, bidireccional, con o sin mediana, o bien, puede constituirse un sistema colector conformado por un par de vías con distinto sentido de tránsito, en que cada una de ellas cumpla los siguientes requisitos mínimos:
- Distancia entre líneas oficiales no inferior a 15 [m].
- Ancho de calzada pavimentada no inferior a 7 [m].
- Pueden existir aceras a ambos costados, cada una de ellas de 3 [m] de ancho mínimo.
- Puede o no existir ciclovías.

#### **A 13.2.4. VÍA DE SERVICIO**

- Vía central de centros o subcentros urbanos que tiene como rol permitir la accesibilidad a los servicios y al comercio emplazado en sus márgenes.
- Sus calzadas atienden desplazamientos a distancia media, con una recomendable continuidad funcional en una distancia mayor de 1 [km]. Velocidad de Diseño entre 30 y 40 [km/hr].
- Tiene capacidad media de desplazamiento de flujos vehiculares, aproximadamente 600 [veh/hr], considerando toda su calzada.
- Flujo predominante de locomoción colectiva. Restricción para vehículos de tracción animal.
- Sus cruces pueden ser a cualquier nivel, manteniéndose la preferencia de esta vía sólo respecto a las vías locales y pasajes, los cuales pueden ser controlados.
- No hay limitación para establecer el distanciamiento entre sus cruces con otras vías. La separación entre paraderos de locomoción colectiva preferentemente es mayor de 300 [m].
- Ausencia de todo tipo de segregación con el entorno.
- Permite el estacionamiento de vehículos, para lo cual cuenta con banda especial, la que tiene un ancho consistente con la disposición de los vehículos que se adopte.
- La distancia entre líneas oficiales no puede ser inferior a 15 [m].
- El ancho mínimo de su calzada pavimentada no es inferior a 7 [m], tanto si se trata de un solo sentido de tránsito o doble sentido de tránsito.
- Conformada por un solo cauce.
- Con aceras a ambos costados, cada una de ellas de 2.5 [m] de ancho mínimo, en su condición más desfavorable.
- Puede no existir ciclovías.

### **A 13.2.5. VÍA LOCAL**

- Su rol es establecer las relaciones entre las Vías Troncales, Colectoras y de Servicio y de acceso a la vivienda.
- Su calzada atiende desplazamientos a corta distancia. Ausencia de continuidad funcional para servicios de transporte. Velocidad de Diseño entre 20 y 30 [km/hr].
- Tiene capacidad media o baja de desplazamiento de flujos vehiculares.
- Flujo de automóviles y vehículos de tracción animal y humana, excepcionalmente locomoción colectiva.
- Sus cruces pueden ser a cualquier nivel, manteniéndose la preferencia de esta vía sólo respecto a los pasajes.
- No hay limitación para establecer el distanciamiento entre sus cruces con otras vías.
- Presenta alto grado de accesibilidad con su entorno.
- Permite el estacionamiento de vehículos en su calzada.
- La distancia entre líneas oficiales no es inferior a 11 [m].
- El ancho mínimo de su calzada no es inferior a 6,5 [m], si se trata de un solo sentido de tránsito o 7[m], si es doble sentido de tránsito.
- Cuando este tipo de vía cuente con acceso desde un solo extremo, la mayor distancia entre el acceso de un predio y la vía vehicular continua más cercana es de 100 [m], debiendo contemplar en su extremo opuesto un área pavimentada que permita el giro de vehículos livianos. Puede prolongarse dicha longitud hasta un máximo de 200 [m], si cuenta con un tramo inicial equivalente, como mínimo al 50% de la longitud total, de 15 [m] de ancho entre líneas oficiales y un ancho de calzada pavimentada no inferior a 7 [m], que permita el estacionamiento adicional de vehículos en uno de sus costados a lo menos en 2 [m] de ancho. Cuando su longitud sea inferior a 50 [m] pueden tener hasta 1[m] menos las medidas contempladas en los puntos precedentes.
- Con aceras a ambos costados, cada una de ellas de 2 [m] de ancho mínimo.
- No se contempla en ella la presencia de ciclovías.

### **A 13.2.6. PASAJES EN GENERAL**

- Están destinados a la circulación de peatones y al tránsito eventual de vehículos.
- Su longitud máxima entre vías de circulación vehicular permanente es de 200 [m], o de 100 [m] cuando sólo tienen acceso a una de ellas.
- Consultan un ancho de al menos 8 [m] entre líneas oficiales, con una franja pavimentada de un ancho no inferior a 3.5 [m] y antejardines de al menos 2 [m] de ancho, salvo cuando tienen un ancho de 10 [m] o más entre líneas oficiales.



## ANEXO SECCIÓN 15

### ART. A.15.1. DESARROLLO DEL MÉTODO AASHTO 98

Este modelo fue desarrollado empleando las mismas aproximaciones usadas en la extensión del modelo empírico original durante 1961. A continuación, se describen diferentes aspectos del Método AASHTO 1998.

#### A.15.1.1. MODELO EMPÍRICO ORIGINAL

La prueba AASHTO proporcionó relaciones empíricas entre el espesor de losa, magnitud de la carga por eje, número de repeticiones de carga y pérdida de serviciabilidad del pavimento para las condiciones específicas (por ejemplo factores climáticos y materiales) de dicha prueba. El modelo original 100% empírico derivado de la prueba AASHTO se muestra a continuación, el cual tiene la misma forma funcional para pavimentos de hormigón.

$$\log W = \log R + \frac{G}{Y} \quad (1)$$

donde:

$W$  : Número de repeticiones de carga para alcanzar el índice de serviciabilidad final,  $P_2$ .

$R$  : Función de las variables de diseño y de carga que denotan el número esperado de repeticiones de carga para llegar a un índice de serviciabilidad final,  $P_2$  de 1,5.

$G$  : Función de la razón entre la pérdida de serviciabilidad alcanzada en el instante final y la pérdida potencial para llegar a un índice de serviciabilidad de 1,5.

$Y$  : Función de las variables de diseño y de carga que influyen en el comportamiento de la curva de serviciabilidad  $P$  v/s  $W$ .

Los términos R, G e Y se obtienen a partir de las siguientes expresiones:

$$\log R = 5,85 + 7,35 \times \log\left(\frac{D}{25,4} + 1\right) - 4,62 \times \log\left(\frac{L_1}{4,45} + L_2\right) + 3,28 \times \log(L_2) \quad (2)$$

$$Y = 1,00 + \frac{3,63 \times \left(\frac{L_1}{4,45} + L_2\right)^{5,2}}{\left(\frac{D}{25,4} + 1\right)^{8,46} \times L_2^{3,52}} \quad (3)$$

$$G = \log\left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 - 1,5}\right) \quad (4)$$

donde:

$D$ : espesor de la losa de hormigón, mm.

$L_1$ : carga de eje simple o eje doble, kN.

$L_2$ : código de eje; 1 para eje simple y 2 para eje doble.

$P_1$ : índice de serviciabilidad inicial.

$P_2$ : índice de serviciabilidad final.

#### A.15.1.2. MODELO TEÓRICO-EMPÍRICO

En este modelo se desarrolló una relación mecánico-empírica entre el número de cargas por eje, la resistencia a la flexotracción del hormigón y el nivel tensional de la losa, para así extender los resultados de la prueba AASHO a condiciones distintas de suelos y hormigones.

Al graficar el  $\log(W)$  versus  $\log\left(\frac{S_c}{\sigma_t}\right)$  se obtiene una relación lineal que fue modelada como sigue:

$$\log(W) = A + B \log\left(\frac{S_c}{\sigma_t}\right) \quad (5)$$

donde:

$W$ : Número de repeticiones de cargas de eje para llegar a un índice de serviciabilidad final,  $P_2$ .

$A$ : constante de regresión.

$B$ : pendiente de la curva graficada.

$S_c$ : resistencia media a la flexotracción del hormigón a los 28 días, con carga en los tercios, obtenida para la Prueba AASHO (4,75 MPa).

$\sigma_l$ : tensión máxima de tracción para carga de borde, calculada mediante resultados del programa computacional de elementos finitos 3DPAVE, considerando una carga de 80 kN en las condiciones de la Prueba AASHO. Esta tensión considera el efecto del diferencial de temperatura a través de la losa y la tensión debido a carga.

### A.15.1.3. DESARROLLO DE TENSIONES EN LA LOSA

En el desarrollo del modelo de tensión se utilizaron principios mecanicistas, análisis dimensional y regresión, cubriendo un gran número de datos.

El modelo de tensión de tracción máxima considerando carga de borde y efectos de temperatura se presenta en la siguiente ecuación:

$$\sigma_l = \sigma_l \cdot TB \cdot F \cdot \left( 1,0 + \left( \frac{5}{9} \right) \cdot b \cdot \Delta T(+ ) \right) \text{ [MPa]} \quad (6)$$

donde:

$\sigma_l$ : tensión de tracción máxima en la losa de hormigón para una condición de carga de borde, en MPa, dada por la ecuación que se presenta a continuación:

$$\sigma_l = \frac{80012743}{D^2} \cdot \left[ 4,227 - 4,547 \cdot \left( \frac{180}{l} \right)^{0,2} - 0,00158 \cdot \left( \frac{E_b \cdot H_b}{k} \right)^{0,5} - 0,0308 \cdot \left( H_b \cdot \left( \frac{E_b}{E_c} \right)^{0,3} \right)^{0,5} \right] \quad (7)$$

Además el término  $l$  se calcula de la siguiente manera:

$$l = 5,622 \cdot \sqrt[4]{\frac{E_c \cdot D^3}{12 \cdot (1 - \mu^2) k}} \text{ [mm]} \quad (8)$$

donde:

$D$ : espesor de losa, mm.

$E_c$ : Módulo de elasticidad del hormigón, MPa.

$E_b$ : Módulo de elasticidad de la base, MPa.

$H_b$ : Espesor de la base, mm.

$k$ : Módulo de reacción de la subrasante, MPa/m.

$\mu$ : razón de Poisson para el hormigón.

$TB$ : Factor de ajuste por tipo de confinamiento, el cual es presentado en la siguiente Tabla A 15-1:

TABLA A 15-1: FACTOR DE AJUSTE POR CONFINAMIENTO AASHTO 1998

TIPO DE SOLERA	FACTOR DE AJUSTE POR TIPO DE SOLERA TB
Solera de hormigón amarrada	0,94

$F$  : Factor de ajuste por fricción, calculado a partir de la siguiente expresión:

$$F = 1,117 - 2,457 \cdot 10^{-7} \cdot D \cdot E_b - 4,549 \cdot 10^{-4} \cdot D + 9,100 \cdot 10^{-5} \cdot E_b - 0,000315 \cdot f \quad (9)$$

$f$  : coeficiente de fricción entre la losa y la base, el cual se obtiene a partir de la Tabla 15-10.

$b$  : Factor de ajuste por longitud de losa, calculado como se muestra a continuación:

$$\log b = -1,944 + 2,279 \cdot \frac{D}{l} + 91,7 \cdot \frac{L}{l} - 75718996,95 \cdot \frac{D^2}{k \cdot l^4} + \left( \frac{0,731}{l} \right) \cdot \left( \frac{E_b \cdot H_b^{1,5}}{k} \right)^{0,5} - 118,872 \cdot \frac{D^2}{k \cdot l^2} - 8,711 \cdot 10^{10} \cdot \frac{D^3 \cdot L}{k \cdot l^6} \quad (10)$$

$\Delta T(+)$  : Diferencial efectivo de temperatura positivo. Se define como la diferencia entre la temperatura de la fibra superior e inferior de la losa, en °C, y se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\Delta T(+)= 12,33 - \frac{2385,715}{D} + 0,707 \cdot WIND + 0,596 \cdot TEMP - 5,924 \cdot 10^{-4} \cdot PRECIP \quad (11)$$

donde:

$WIND$  = Velocidad media anual del viento, nudos.

$TEMP$  = Temperatura media anual del ambiente, °C.

$PRECIP$  = Precipitación anual, mm.

Además, para el diferencial efectivo de temperatura negativo se determinó la siguiente expresión:

$$\Delta T(-)= -28,62 + \frac{2377,897}{D} + 0,817 \cdot WIND + 0,227 \cdot TEMP + 2,884 \cdot 10^{-4} \cdot PRECIP \quad (12)$$

Cabe mencionar que el análisis anterior asume que si no existe diferencial de temperatura a través del espesor de la losa, entonces la losa se encuentra totalmente plana. Notar que la máxima tensión,  $\sigma_t$ , corresponde a la tensión combinada de una carga de borde y un diferencial positivo de temperatura.

#### A.15.1.4. EXTENSIÓN TEÓRICA

Con la incorporación de este modelo se han generado tres rectas  $\log(W)$  versus  $\log\left(\frac{S_c}{\sigma_t}\right)$  para valores terminales de serviciabilidad  $P_2 = 1.5, 2.5, \text{ y } 3.5$ , determinándose valores para la pendiente de la recta (B).

Posteriormente se desarrollaron ecuaciones para B (pendiente) y para la constante A (no fue usada directamente), las cuales se presentan a continuación:

$$B = 5,065 - 0,03295 \times P_2^{2,4} \quad (13) \quad ; \quad A = 5,102 - 0,00713 \times P_2^{2,4} \quad (14)$$

Al combinar las ecuaciones (13) y (14) en la ecuación (1) se origina una relación mecánico-empírica entre el número de cargas de eje aplicados para alcanzar una serviciabilidad final  $P_2$ , y la razón entre la resistencia a la flexotracción del hormigón a los 28 días y el nivel tensional de la losa. Dicha expresión es la que se presenta a continuación:

$$\partial \log(W) = B \times \partial \left( \log \left( \frac{S_c}{\sigma_t} \right) \right) \quad (15)$$

La idea de aplicar el diferencial apunta a poder relacionar los resultados obtenidos para un tipo de pavimento y un tipo de condiciones, con otros diferentes. Esto significa que la diferencia de aplicaciones de carga entre un pavimento de la prueba AASHO de características descritas por  $\left(\frac{S_c}{\sigma_t}\right)$  y uno de características de diseño distintas  $\left(\frac{S_c'}{\sigma_t'}\right)$ , queda en la siguiente relación:

$$\log(W') - \log(W) = B \times \left( \log \left( \frac{S_c'}{\sigma_t'} \right) - \log \left( \frac{S_c}{\sigma_t} \right) \right) \quad (16)$$

Reemplazando la ecuación (13) en la ecuación (16) se obtiene la diferencia entre número de repeticiones de carga entre un pavimento de la prueba AASHO y otro con características distintas:

$$\log(W') - \log(W) = (5,065 - 0,03295 \times P_2^{2,4}) \times \left( \log \left( \frac{S_c'}{\sigma_t'} \right) - \log \left( \frac{S_c}{\sigma_t} \right) \right) \quad (17)$$

donde:

$W'$  = Número de repeticiones de cargas de eje para alcanzar un nivel de serviciabilidad final  $P_2$  en un pavimento similar al de la prueba AASHO pero con propiedades físicas descritas por  $(S_c' / \sigma_t')$ .

$W$  = Número de repeticiones de cargas de eje para alcanzar un nivel de serviciabilidad final  $P_2$  en un pavimento de la prueba AASHO con propiedades físicas descritas por  $(S_c / \sigma_t)$ .



$(S'_c / \sigma'_t)$  = razón de resistencia para pavimentos con propiedades modificadas.

$(S_c / \sigma_t)$  = razón de resistencia para pavimentos de la prueba AASHO.

#### A.15.1.5. VARIABLES PARA LA PRUEBA AASHO

Los parámetros que representan a la prueba AASHO son:

$$S_c = 4,75 \text{ MPa.}$$

$$E_c = 28940 \text{ MPa.}$$

$$\mu = 0,20$$

$k = 30 \text{ MPa/m}$ , módulo de reacción de la subrasante ajustado estacionalmente, obtenido de la siguiente tabla:

TABLA A 15-2: DETERMINACIÓN DE K PARA LAS CONDICIONES DE LA PRUEBA AASHO

Estación	Módulo de reacción de la subrasante, k (Mpa)
Primavera	21
Verano	27
Otoño	30
Invierno	16
Valor efectivo	30

$$L = 4572 \text{ mm.}$$

$$E_b = 172 \text{ MPa.}$$

$$H_b = 152 \text{ mm.}$$

$$TB = 1,00.$$

$$f = 1,4 \text{ (base granular).}$$

$\Delta T(+)$ <sub>AASHO</sub> : diferencial efectivo de temperatura positivo para las condiciones de la prueba AASHO, °C, el cual viene dado por la siguiente ecuación:

$$\Delta T(+)$$
<sub>AASHO</sub> = 25,308 -  $\frac{2527,859}{D}$  (18)

### A.15.1.6. ECUACIÓN DE DISEÑO

Reemplazando las variables obtenidas de la Prueba AASHO, se obtiene la ecuación final para un 50% de confiabilidad, dada por la siguiente ecuación:

$$\log(W') = \log(W) - (5,065 - 0,03295 \times P_2^{2,4}) \times \left( \log \left( \frac{S'_c}{\sigma'_t} \right) - \log \left( \frac{S_c}{\sigma_t} \right) \right) \quad (19)$$

donde:

$W'$  = Número de ejes equivalentes estimados para la vida de diseño.

$W$  = Número de ejes equivalentes estimados por la ecuación (1).

$\sigma_t$  = tensión calculada por la ecuación (6) para las constantes de la prueba AASHO.

$\sigma'_t$  = tensión calculada por la ecuación (6) para pavimentos en diseño.

La confiabilidad en el diseño es incorporada de la siguiente manera:

$$W'_R = 10^{(\log W' + Z_R \times S_0)} \quad (20)$$

donde:

$W'_R$  = Ejes equivalentes estándar de 80 kN acumulados durante la vida de diseño para un nivel de confiabilidad R.

$Z_R$  = coeficiente estadístico asociado al nivel de confiabilidad R en una curva de distribución normal estándar.

$S_0$  = desviación estándar de la combinación de errores de predicción de tránsito y de predicción del comportamiento general del pavimento para un nivel de tránsito dado.

### A.15.1.7. VERIFICACIÓN DE CARGA CRÍTICA PARA PAVIMENTOS DE HORMIGÓN SIMPLE CON JUNTAS SIN DISPOSITIVOS DE TRANSFERENCIA DE CARGA

El método en estudio supone que la carga crítica es aquella ubicada en el borde de la mitad de la losa, puesto que ésta fue la ubicación de las mayores tensiones durante la realización de la prueba AASHO. Esto se debió a que todas las juntas tenían barras de traspaso de carga, por lo tanto, no se presentó agrietamiento de esquina. Resultados similares se obtuvieron utilizando el programa computacional 3DPAVE en pavimentos de hormigón con barras de traspaso de carga.

Es posible que bajo ciertas condiciones climáticas y de construcción, una carga de esquina pueda producir tensiones de tracción más altas que aquellas producidas por una condición de carga de borde. Estas altas tensiones de tracción en vecindades de la esquina de losa pueden desarrollar grietas de esquina, u oblicuas a poca distancia de la junta. Para pavimentos con buena transferencia de carga estas tensiones son reducidas sustancialmente.

Es difícil cuantificar la tensión producto del alabeo de construcción y del alabeo por gradiente de humedad en forma separada. Sin embargo, ambos efectos pueden ser considerados conjuntamente como el diferencial positivo de temperatura que se requiere para llevar la losa a la posición plana (AASHTO, 1998).

El método AASHTO 1998 propone, para considerar el efecto del alabeo por humedad y construcción, utilizar un gradiente de temperatura equivalente (negativo). A continuación, se muestran los intervalos recomendados en función del tipo de clima:

TABLA A 15-3: GRADIENTES DE TEMPERATURA EQUIVALENTE

CLIMA	PRECIP. MEDIA ANUAL [mm]	GRADIENTE DE TEMPERATURA EQUIVALENTE (negativo) [° C/mm de losa]
Seco	< 762	0,022 - 0,066
Húmedo	≥ 762	0 - 0,044

El método AASHTO 1998 recomienda una verificación de tensión crítica en los pavimentos de hormigón sin barras de traspaso de carga, la que consiste en comparar la tensión debida a una condición de carga de borde, con la tensión máxima en la losa debida a una carga de esquina. Si la tensión por carga de esquina es mayor que la tensión por carga de borde, podría desarrollarse agrietamiento oblicuo y de esquina.

Mediante la utilización del programa computacional 3DPAVE, se calcularon las tensiones máximas originadas por una carga de esquina y temperatura, considerando borde libre. Las tensiones máximas obtenidas se muestran en el Anexo Art. A 15.4.

A continuación, se describen los pasos a seguir en la verificación de tensión crítica para pavimentos de hormigón simple sin dispositivos de transferencia de carga:

a.) Determinar el espesor de losa requerido, asumiendo que la carga crítica es aquella ubicada en el borde de la losa.

b.) Calcular la tensión de borde. Esta tensión se calculó previamente en la letra a) para la obtención del espesor de la losa.

c.) Estimar el diferencial negativo total equivalente de temperatura, mediante la superposición de los siguientes diferenciales negativos:

c.1) Diferencial efectivo de temperatura negativo.

Se calcula a partir de la siguiente relación:

$$\Delta T(-) = -28,62 + \frac{2377,897}{D} + 0,817 \times WIND + 0,227 \times TEMP + 2,884 \times 10^{-4} \times PRECIP \quad (21)$$

donde:

$\Delta T(-)$ : Diferencial efectivo de temperatura negativo. Se define como la diferencia entre la temperatura de la fibra superior e inferior de la losa, en °C.

*D* : espesor de losa, mm.

*WIND* : Velocidad media anual del viento, nudos.

*TEMP* : Temperatura media anual del ambiente, °C.

*PRECIP* : Precipitación anual, mm.

c.2.) Gradiente negativo de temperatura equivalente, debido a curvatura por construcción y humedad.

Su valor es presentado en la Tabla A 15-3 para cada tipo de clima.

d.) Estimar la tensión crítica en la fibra superior de la losa producto de la acción combinada de una carga de esquina y de un diferencial negativo de temperatura. Esta tensión se estima a partir de los gráficos que se presentan en el Anexo Art.A 15.4. Dichos gráficos están referidos para dos tipos de base y tres tipos de subrasante y asumen losa totalmente adherida a la base, por lo tanto, se multiplica por un factor de ajuste para considerar este efecto (Anexo Art.A 15.4).

e.) Comparar la tensión producto de una carga de borde de la mitad de la losa y la tensión producida por una carga de esquina.

Si la tensión, producto de una carga en la junta combinada, con un gradiente negativo de temperatura es mayor que aquella que produce una carga ubicada en la mitad de la losa combinada con un gradiente positivo de temperatura, entonces se rediseña la junta para reducir la tensión por condición de carga de esquina. Este rediseño puede incluir el uso de barras de traspaso de carga, ensanche de pista (berma de pista ensanchada), el uso de bermas amarradas, modificar la longitud de la losa, cambiar tipo de base, etc. Un efecto secundario al mejorar la transferencia de carga, es la reducción de las deflexiones en las esquinas.

Cabe recordar que esta verificación no es necesaria si el diseño incluye barras de transferencia de carga en las juntas.

#### **A.15.1.8. VERIFICACIÓN POR ESCALONAMIENTO**

Durante la prueba AASHO todos los pavimentos poseían dispositivos de transferencia de carga y por lo tanto, no se observaron problemas importantes de escalonamiento durante los dos años de prueba.

Si las juntas no poseen un adecuado sistema de transferencia de carga se podrían presentar problemas de un escalonamiento importante. El escalonamiento es uno de los más serios deterioros del pavimento de hormigón, afectando las juntas y principalmente, la serviciabilidad. Es así, como algún pavimento con un escalonamiento significativo podría reducir su serviciabilidad y alcanzar cargas de tránsito más bajas para el índice de serviciabilidad final, para el cual fue diseñado.

El Método AASHTO 1998 recomienda el siguiente procedimiento para asegurar una adecuada transferencia de carga en las juntas, controlando de esta manera el escalonamiento:

a.) Determinar el espesor de la losa de diseño. Esto requiere además, haber seleccionado la longitud de la losa, tipo de base, fricción losa-base, y tipo de transferencia de carga.

b.) El diseño de las juntas para controlar el escalonamiento, incluye el diseño del tipo de base, espaciamiento de las juntas, presencia de drenaje, diámetro y espaciamiento de las barras de traspaso de carga, si se usan.

c.) Las siguientes ecuaciones predicen el escalonamiento promedio, tanto para pavimentos con barras, como sin barras de transferencia de carga (AASHTO, 1998).

c.1) Modelo de escalonamiento para juntas con dispositivos de transferencia de carga:

$$\begin{aligned}
 FAULTD = & CESAL^{0.25} \times (0,0628 - 0,0628 \times C_d + 0,3673 \times 10^{-8} \times Bstress^2 \\
 & + 0,4116 \times 10^{-5} \times Jtspace^2 + 0,7466 \times 10^{-9} \times FI^2 \times PRECIP^{0.5} \\
 & - 0,009503 \times Basetype - 0,01917 \times Widenlane + 0,0009217 \times Age)
 \end{aligned}
 \tag{22}$$

donde:

*FAULTD* : escalonamiento promedio predicho para pavimentos de hormigón simple con juntas con barras de traspaso de carga, pulg.

*CESAL* : ejes equivalentes para el período de diseño, millones.

*C<sub>d</sub>* : coeficientes de drenaje AASHTO modificado, dados por la Tabla A 15-4.

TABLA A 15-4: COEFICIENTE DE DRENAJE AASHTO MODIFICADO

Drenaje Longitudinal	Clima	Subrasante Grad. Fina		Subrasante Grad. Gruesa	
		Base No-Permeable	Base Permeable	Base No-Permeable	Base Permeable
No	Húmedo	0,70-0,90	0,85-0,95	0,75-0,95	0,90-1,00
No	Seco	0,90-1,10	0,95-1,05	0,90-1,15	1,00-1,10
Si	Húmedo	0,75-0,95	1,00-1,10	0,90-1,10	1,05-1,15
Si	Seco	0,95-1,15	1,10-1,20	1,10-1,20	1,15-1,20

Para la correcta evaluación de dicha variable, es necesario contemplar los siguientes aspectos:

- Se clasifican como Subrasantes Finas, a aquellas de las clases A-4 a la A-7 de la clasificación de suelos AASHTO. En esta clasificación se incluyen los tipos de subrasantes existentes, a aquellas clasificadas como ML, CL, y CH, según la clasificación de suelos de la ASTM.
- Se clasifican como Subrasantes Gruesas, a aquellas de las clases A-1 a la A-3 de la clasificación de suelos AASHTO. Por defecto, a aquellas que no entran en la clase anterior.
- Se clasifican las bases, según las características propias de permeabilidad que éstas tengan. Una base se define como Permeable, si es Granular (GR) o Base Abierta Ligada (BAL), y no Permeable, si la base es tratada con cemento (BTC).
- Se clasifica como Clima Húmedo si la precipitación promedio anual, es mayor a 25 pulg/año (762 mm/año) y como Clima Seco, en caso contrario.

$B_{stress}$  : esfuerzo máximo de corte en el hormigón, en lbf/pulg<sup>2</sup>, dado por la siguiente ecuación:

$$B_{stress} = f_d \times P \times T \times \left( \frac{K_d \times (2 + BETA \times OPENING)}{4 \times E_s \times I \times BETA^3} \right) \quad (23)$$

Los términos involucrados en esta expresión se calculan de la siguiente manera:

**BETABETA**: Rigidez relativa del sistema Hormigón - Barra.

$$BETA = \sqrt[4]{\frac{K_d \times DOWEL}{4 \times E_s \times I}} \quad (24)$$

$f_d$  = factor de distribución.

$$f_d = \frac{2 \times 12}{l + 12} \quad (25)$$

$l$ : radio de rigidez relativo losa-suelo de fundación, pulg.

$I$ : momento de inercia de la barra de transferencia de carga en torno a su centro de gravedad, pulg<sup>4</sup>.

$$I = 0,25 \times \pi \times \left( \frac{DOWEL}{2} \right)^4 \quad (26)$$

$P$ : carga aplicada, 9000 lbf (40 kN).

$T$ : porcentaje de transferencia de carga, 0.45.

$K_d$ : módulo de reacción de la barra, 1500000 lbf/pulg<sup>3</sup> (405 MPa/mm).

**BETA**: rigidez relativa del sistema hormigón-barra.

**DOWEL**: diámetro de la barra, pulg.

$E_s$ : módulo de elasticidad de la barra, lbf/pulg<sup>2</sup>.

**OPENING**: abertura promedio de la junta transversal, pulg. Se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$OPENING = 12 \times CON \times J_{space} \times \left( \frac{ALPHA \times TRANGE}{2 + e} \right) \quad (28)$$

$J_{space}$ : longitud de losa promedio, pies.

**CON**: factor de ajuste debido a restricción friccional base/losa. Tiene un valor de 0,65 para una base tratada y de 0,80 para una base granular o base de hormigón pobre agrietada.

**ALPHA**: coeficiente de dilatación térmica del hormigón, 0,000006/°F (0,00003/°C).

*TRANGE* : rango de temperatura, °F.

*e* : coeficiente de retracción del hormigón.

*F* : índice de congelamiento medio anual, °F-días.

*PRECIP* : precipitación anual, pulg.

*Basetype* = 0 para base no tratada.

= 1 para base tratada.

*Widenlane* = 0 si se trata de una berma de pista ensanchada.

= 1 si no se trata de una berma de pista ensanchada.

*Age* : edad del pavimento, años.

c.2) Modelo de escalonamiento para juntas sin dispositivos de transferencia de carga.

El escalonamiento promedio para pavimentos de hormigón simple, sin barras de transferencia de carga, se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 FAULTND = & CESAL^{0,25} \times (0,2347 - 0,1516 \times C_d + 0,000250 \times \left( \frac{Slabthick^2}{Jtspace^{0,25}} \right) \\
 & - 0,0155 \times Basetype + 0,7784 \times 10^{-7} \times FI^{1,5} \times PRECIP^{0,25} \\
 & - 0,02478 \times Days90^{0,5} - 0,0145 \times Widenlane)
 \end{aligned} \tag{29}$$

donde:

*FAULTND* : escalonamiento promedio predicho, para pavimentos de hormigón simple, sin barras de transferencia de carga, pulg.

*Days90* : número de días con temperaturas máximas mayores a los 90°F (32.2°C).

*Jtspace* : longitud de losa promedio, pies.

*Slabthick* : espesor de losa, pulg.

El escalonamiento predicho es comparado con los niveles máximos recomendados. Si el escalonamiento predicho por el modelo es mayor que el nivel recomendado, entonces se rediseña la junta transversal. El rediseño pasa por el uso de barras de traspaso de cargas, o si estas existen, se incrementa su diámetro. También se puede seleccionar un tipo diferente de base y drenaje, o disminuir la longitud de la losa. No es recomendable aumentar el espesor de losa, puesto que se ha comprobado que en la práctica tiene un efecto mínimo (AASHTO 1998).

TABLA A 15-5: NIVELES RECOMENDADOS DE ESCALONAMIENTO MÁXIMO ADMISIBLE POR AASHTO 1998

ESPACIAMIENTO DE JUNTAS	ESCALONAMIENTO MÁXIMO ADMISIBLE [pulg]
Menor a 25 pies (7,6 m)	0,06 (1,5 mm)
Mayor a 25 pies (7,6 m)	0,13 ( 3,3 mm)

a.) Los valores máximos admisibles, mostrados anteriormente, corresponden a una extensa recopilación de datos en los Estados Unidos, de modo, que el índice de serviciabilidad final obtenido sea aproximadamente igual a 3.0. Los valores máximos recomendados de escalonamiento fueron obtenidos con un 50% de confiabilidad.

Cabe mencionar que, los niveles de escalonamiento admisibles recomendados por AASHTO 1998 son demasiado bajos para la realidad nacional. Especialistas en el tema, recomiendan un escalonamiento promedio admisible de 5 mm.

#### ART. A. 15.2. CARTILLA PROPUESTA PARA VÍAS COLECTORAS, TRONCALES Y EXPRESAS

Para estas vías se proponen 3 Cartillas de Diseño, las cuales han sido desarrolladas para 3 niveles distintos de tránsito y son válidas para todo el país. Además, se incluye una Cartilla de Diseño para Vías Especiales de Transporte Público (V.E.T.P.). A continuación, se presentan dichas Cartillas:

TABLA A 15-6: CARTILLA DE DISEÑO PROPUESTA PARA VÍAS COLECTORAS, TRONCALES Y EXPRESAS, CON UN NIVEL DE TRÁNSITO ALTO

TIPO DE VÍA	TRÁNSITO	CAPA	CARACTERÍSTICA	CBR SUBRASANTE (%)				
				≤ 3	4-7	8-12	13-20	>20
Colectoras	≤ 3x10 <sup>6</sup> EE	Losa	Rmf=5[Mpa]	180	180	180	180	180
		Base	CBR≥60	300	200	200	200	150
Troncal	≤ 10x10 <sup>6</sup> EE	Losa	Rmf=5[Mpa]	220	220	220	220	210
		Base	CBR≥60	300	200	200	200	150
Expresa	≤ 20x10 <sup>6</sup> EE	Losa	Rmf=5[Mpa]	250	250	250	250	250
		Base	CBR≥60	300	200	200	200	150



TABLA A 15-7: CARTILLA DE DISEÑO PROPUESTA PARA VÍAS ESPECIALES DE TRANSPORTE PÚBLICO

TIPO DE VÍA	TRÁNSITO	CAPA	CARACTERÍSTICA	CBR SUBRASANTE (%)				
				≤ 3	4-7	8-12	13-20	>20
V.E.T.P.	≤ 30x10 <sup>6</sup> EE	Losa	Rmf=5[Mpa]	270	270	270	270	270
		Base	CBR>=60	300	200	200	200	150

TABLA A 15-8: CARTILLA DE DISEÑO PROPUESTA PARA VÍAS DE ALTO TRÁNSITO CON UN NIVEL DE TRÁNSITO MEDIO

TIPO DE VÍA	TRÁNSITO	CAPA	CARACTERÍSTICA	CBR SUBRASANTE (%)				
				≤ 3	4-7	8-12	13-20	>20
Colectoras	≤ 2x10 <sup>6</sup> EE	Losa	Rmf=5[Mpa]	180	180	180	180	180
		Base	CBR>=60	300	200	200	200	150
Troncal	≤ 7,5x10 <sup>6</sup> EE	Losa	Rmf=5[Mpa]	220	210	210	210	200
		Base	CBR>=60	300	200	200	200	150
Expresa	≤ 15x10 <sup>6</sup> EE	Losa	Rmf=5[Mpa]	250	240	240	240	240
		Base	CBR>=60	300	200	200	200	150

TABLA A 15-9: CARTILLA DE DISEÑO PROPUESTA PARA VÍAS DE ALTO TRÁNSITO CON UN NIVEL DE TRÁNSITO BAJO

TIPO DE VÍA	TRÁNSITO	CAPA	CARACTERÍSTICA	CBR SUBRASANTE (%)				
				≤ 3	4-7	8-12	13-20	>20
Colectoras	≤ 1,5x10 <sup>6</sup> EE	Losa	Rmf=5[Mpa]	180	180	180	180	180
		Base	CBR>=60	300	200	200	200	150
Troncal	≤ 5x10 <sup>6</sup> EE	Losa	Rmf=5[Mpa]	200	200	190	190	190
		Base	CBR>=60	300	200	200	200	150
Expresa	≤ 10x10 <sup>6</sup> EE	Losa	Rmf=5[Mpa]	230	230	230	220	220
		Base	CBR>=60	300	200	200	200	150

Nota:

1. Hormigón: Resistencia media a la flexotracción de 50 [kgf/cm<sup>2</sup>] a los 28 días.
2. Base: CBR ≥ 60%.
3. Espesores expresados en mm.
4. Separación entre juntas transversales igual a 3,5 m.
5. Se han utilizado confiabilidades de 60, 75 y 80% para las vías Colectoras, Troncales y Expresas respectivamente.

6. Estas cartillas de diseño son sólo una sugerencia. El Ingeniero Proyectista es libre de modificarlas, si las condiciones específicas del lugar así lo requieren.

### **ART. A. 15.3. INSTRUCCIONES PARA EMPLEO DE CARTILLAS DE DISEÑO**

La metodología a seguir se presenta a continuación:

a.) Clasificar la vía a diseñar según Sección 13, en: Pasaje, Local, de Servicio, Colectora, Troncal o Expresa.

b.) De acuerdo a la clasificación anterior se distinguen dos alternativas:

b.1) Pasajes, Locales y de Servicio.

De acuerdo a la cantidad de ejes equivalentes solicitantes y al CBR de la subrasante, ingresar en la Tabla 15-16 y escoger los espesores de losa y base de diseño correspondientes.

b.2) Colectoras, Troncales, Expresas.

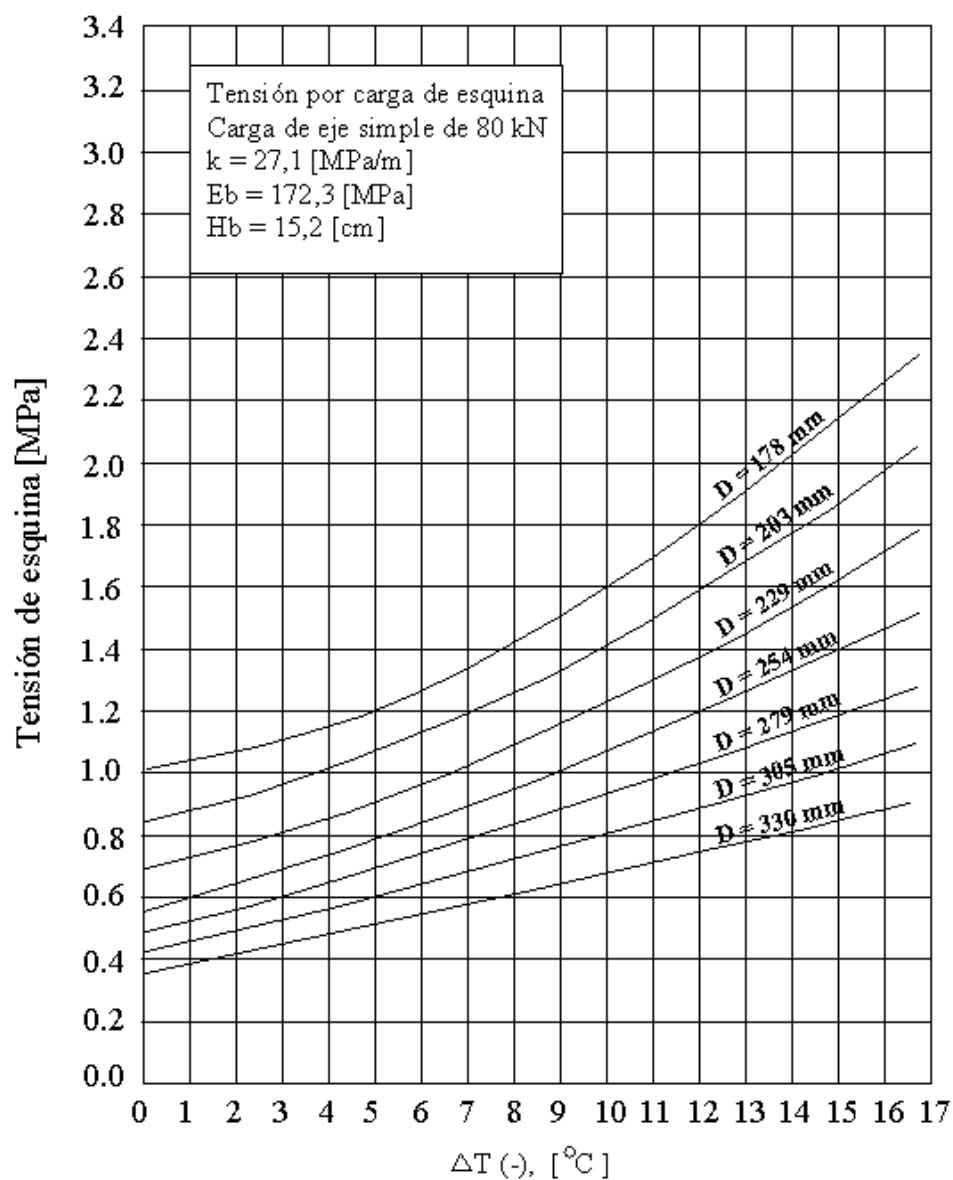
De acuerdo al nivel de ejes equivalentes solicitantes, se debe ingresar a la tabla correspondiente, la cual puede ser de alto nivel de tránsito (Tabla A 15-6), de nivel medio de tránsito (Tabla A 15-8) o de nivel de tránsito bajo (Tabla A 15-9).

De esta manera, con el CBR de la subrasante se escogen las dimensiones respectivas de losa y base a partir de la tabla seleccionada.

Se incluye una Cartilla de Diseño para Vías Especiales de Transporte Público (Tabla A 15-7).

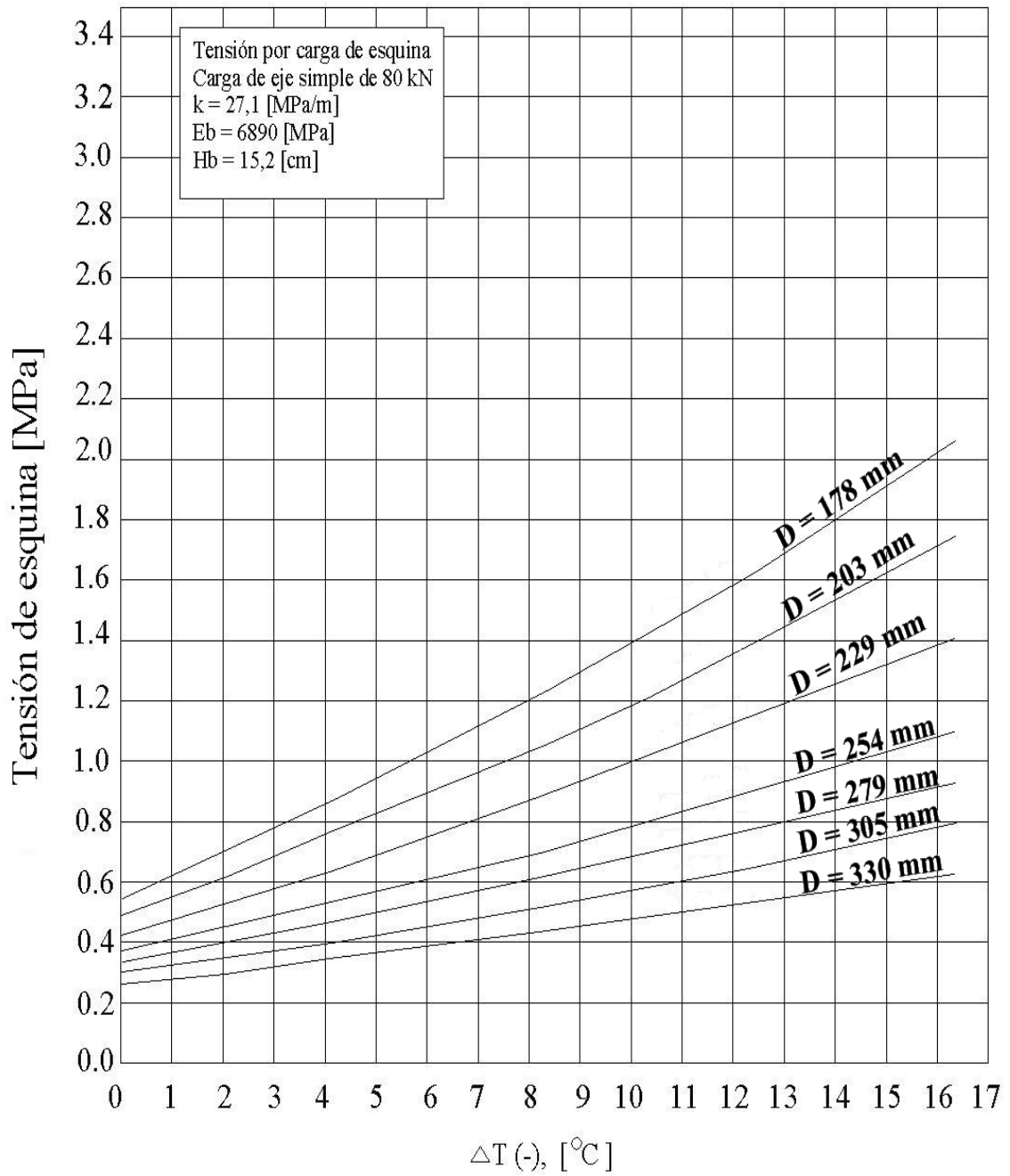
**ART. A.15.4. TENSION DE TRACCION DADA POR LA ACCION COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA <sup>(1)</sup>.**

**FIGURA A 15-1: TENSION DE TRACCION EN LA FIBRA SUPERIOR DE LA LOSA DEBIDO A LA ACCION COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA**



<sup>(1)</sup>: El diferencial negativo de temperatura es consecuencia del efecto de temperatura, alabeo de construcción y humedad, El diferencial por efecto de temperatura se define como la diferencia entre la temperatura de la fibra superior e inferior de la losa, en °C. Para el alabeo de construcción y humedad se sugiere utilizar 0,022 °C/mm en clima húmedo (Precip. > 760 mm) y 0,044 °C en clima seco (Precip. < 760 mm).

FIGURA A 15-2: TENSION DE TRACCION EN LA FIBRA SUPERIOR DE LA LOSA DEBIDO A LA ACCION COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA



Anexos

FIGURA A 15-3: TENSIÓN DE TRACCIÓN EN LA FIBRA SUPERIOR DE LA LOSA DEBIDO A LA ACCIÓN COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA

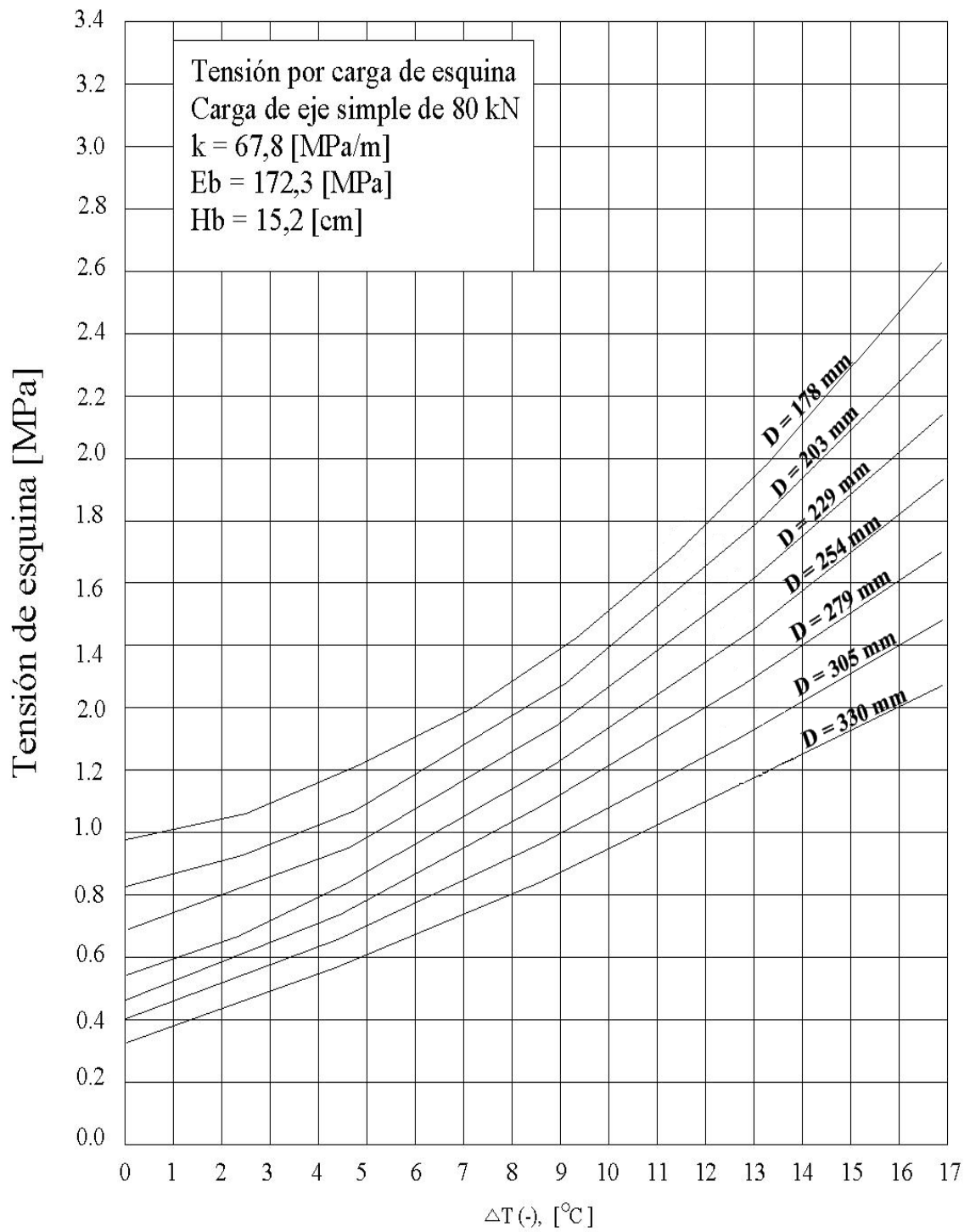
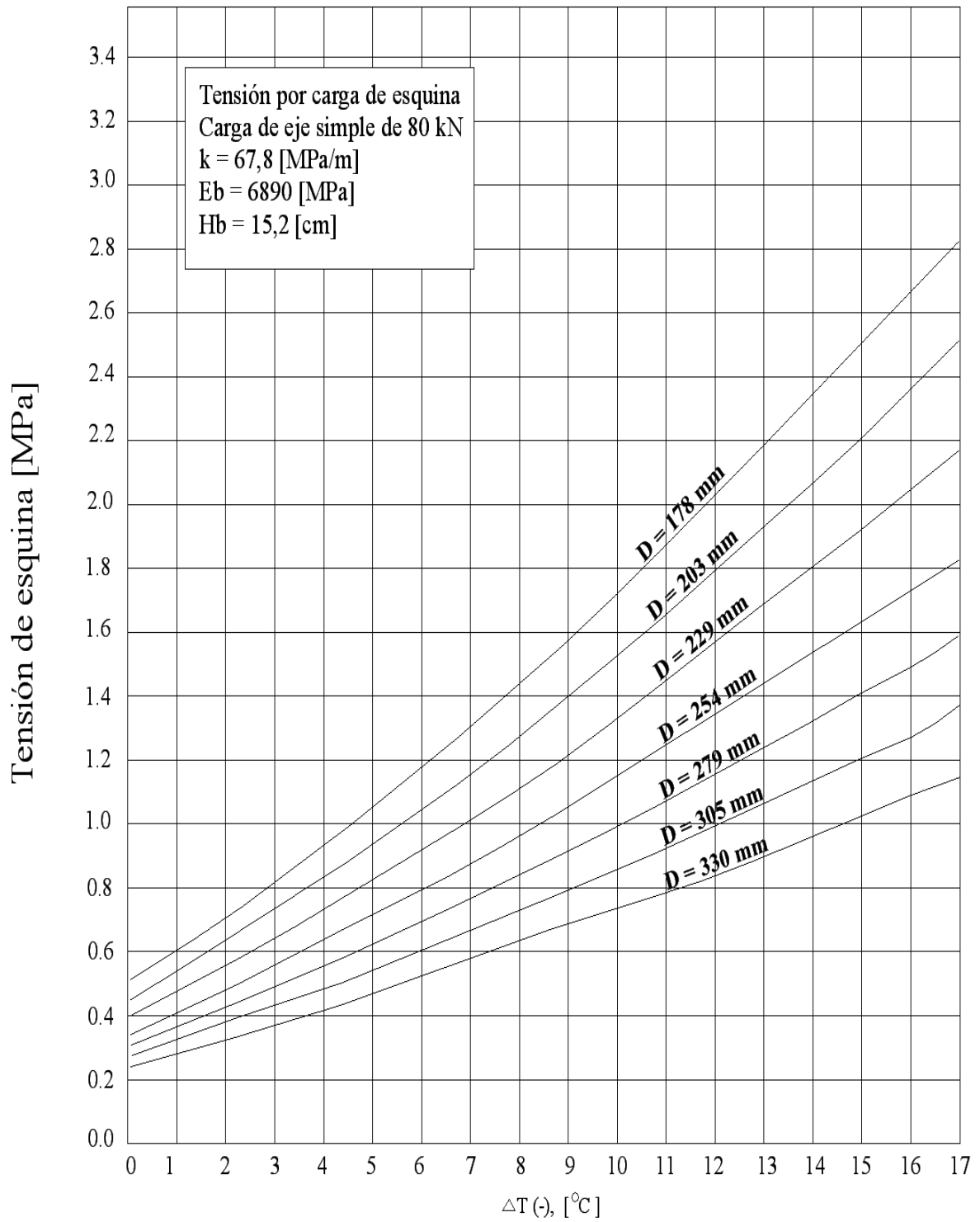


FIGURA A 15-4: TENSIÓN DE TRACCIÓN EN LA FIBRA SUPERIOR DE LA LOSA DEBIDO A LA ACCIÓN COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA



Anexos

FIGURA A 15-5: TENSIÓN DE TRACCIÓN EN LA FIBRA SUPERIOR DE LA LOSA DEBIDO A LA ACCIÓN COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA

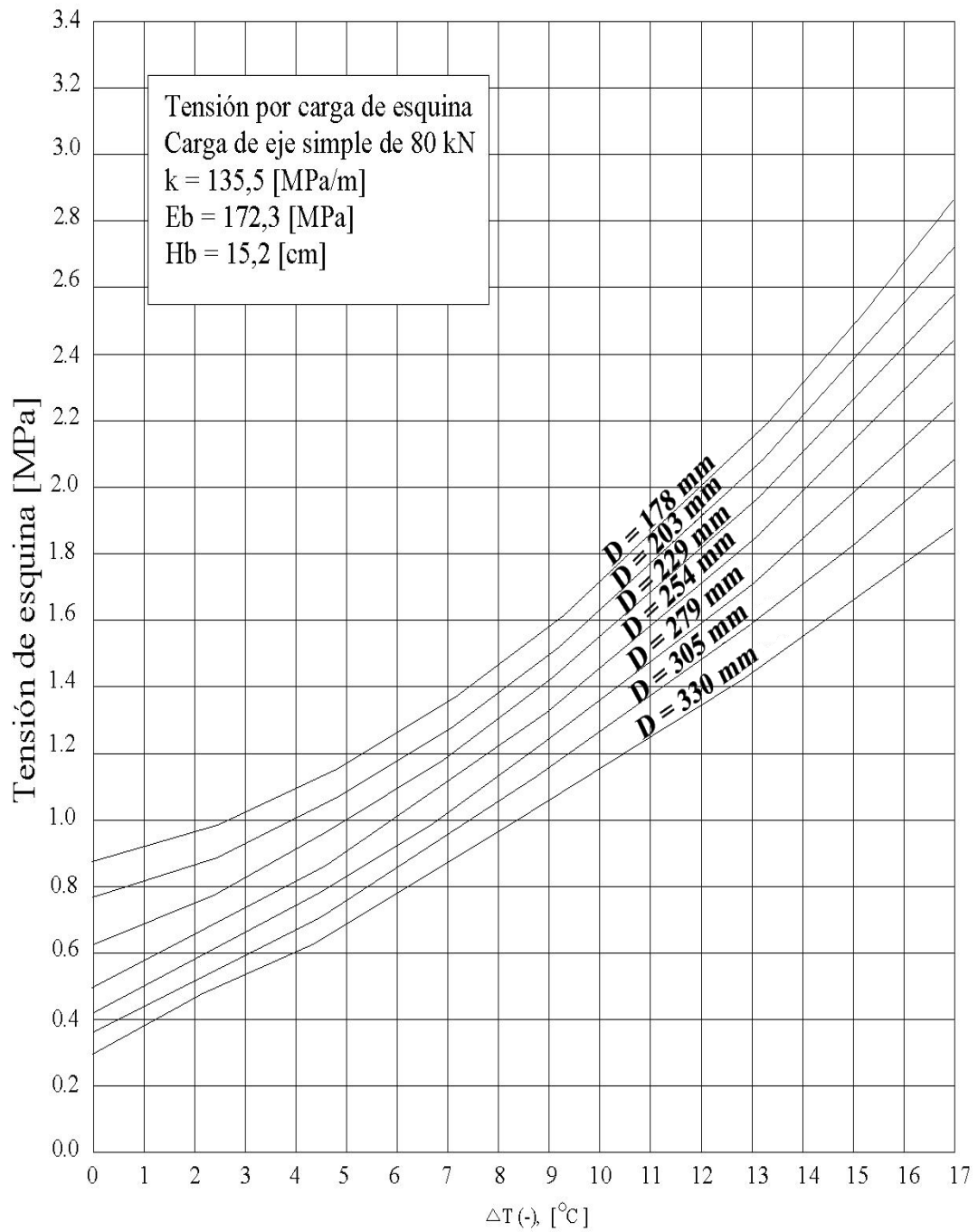
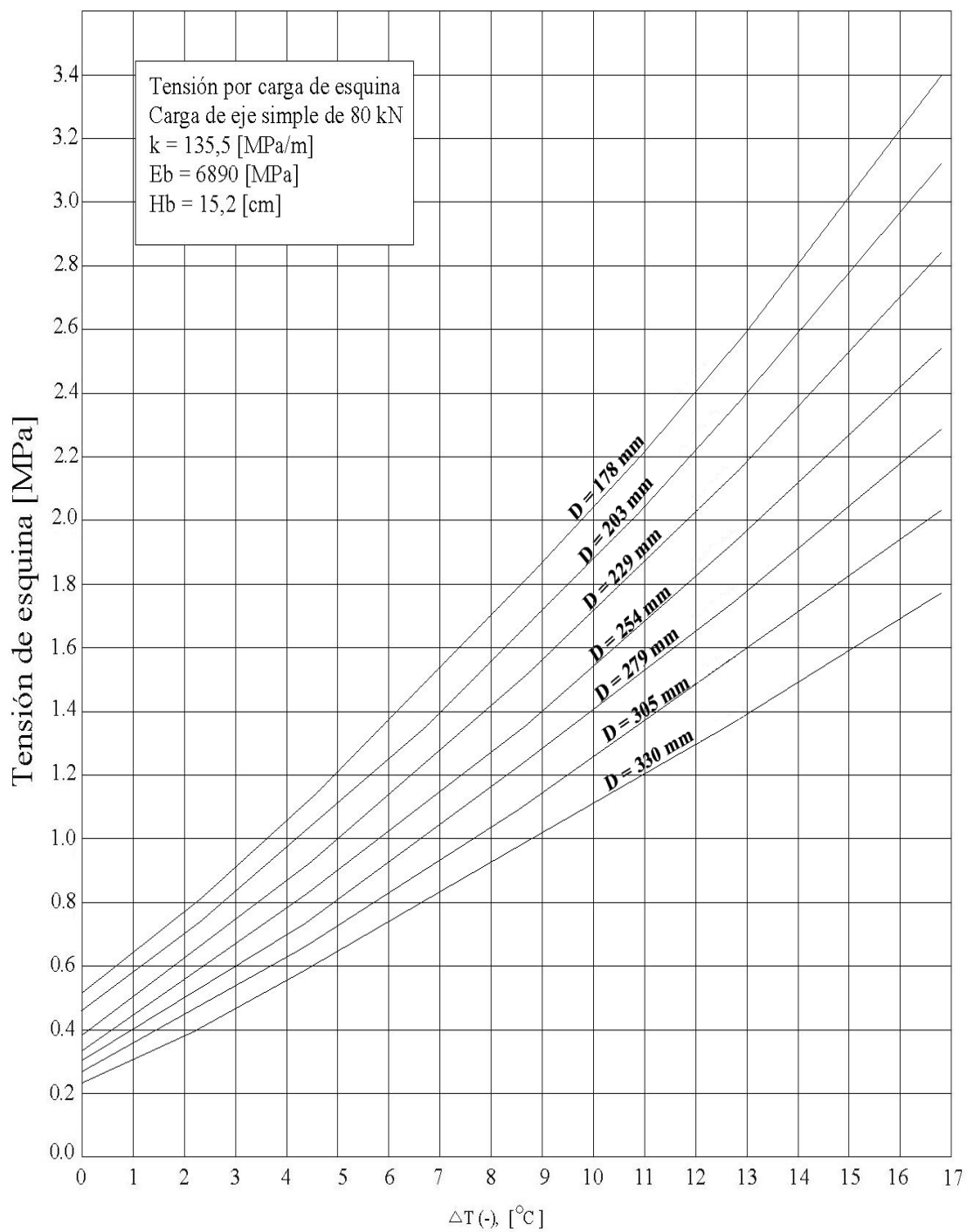


FIGURA A 15-6: TENSIÓN DE TRACCIÓN EN LA FIBRA SUPERIOR DE LA LOSA DEBIDO A LA ACCIÓN COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA





**ART. A.15.5. FACTORES DE EQUIVALENCIA PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS**

TABLA A 15-10: EJE SIMPLE Y SERVICIABILIDAD FINAL ( $P_f$ ) DE 2

Carga Eje [kips]	Espesor losa, D [pulgadas]							
	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002
4	002	002	002	002	002	002	002	002
6	010	010	010	010	010	010	010	010
8	033	032	032	032	032	032	032	032
10	084	082	081	080	080	080	080	080
12	180	176	175	174	174	173	173	173
14	346	341	338	337	336	336	336	336
16	609	604	601	599	599	598	598	598
18	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00
20	1 56	1 57	1 58	1 58	1 59	1 59	1 59	1 59
22	2 32	2 35	2 38	2 40	2 41	2 41	2 41	2 42
24	3 34	3 40	3 47	3 51	3 53	3 54	3 55	3 55
26	4 69	4 77	4 88	4 97	5 02	5 04	5 06	5 06
28	6 44	6 52	6 70	6 85	6 94	7 00	7 02	7 04
30	8 68	8 74	8 98	9 23	9 39	9 48	9 54	9 56
32	11 5	11 5	11 8	12 2	12 4	12 6	12 7	12 7
34	15 0	14 9	15 3	15 8	16 2	16 4	16 6	16 7
36	19 3	19 2	19 5	20 1	20 7	21 1	21 4	21 5
38	24 5	24 3	24 6	25 4	26 1	26 7	27 1	27 4
40	30 8	30 4	30 7	31 6	32 6	33 4	34 0	34 4
42	38 4	37 7	38 0	38 9	40 1	41 3	42 1	42 7
44	47 3	46 4	46 6	47 6	49 0	50 4	51 6	52 4
46	57 7	56 6	56 7	57 7	59 3	61 1	62 6	63 7
48	69 9	68 4	68 4	69 4	71 2	73 3	75 3	76 8
50	84 1	82 2	82 0	83 0	84 9	87 4	89 8	91 7

TABLA A 15-11: EJETANDEMY SERVICIABILIDAD FINAL ( $P_f$ ) DE 2

Carga Eje [kips]	Espesor losa, D [pulgadas]							
	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001
4	0005	0005	0005	0005	0005	0005	0005	0005
6	002	002	002	002	002	002	002	002
8	006	005	005	005	005	005	005	005
10	013	013	012	012	012	012	012	012
12	026	026	025	025	025	025	025	025
14	049	048	047	047	047	047	047	047
16	084	082	081	081	080	080	080	080
18	136	133	132	131	131	131	131	131
20	210	206	204	203	203	203	203	203
22	313	307	305	304	303	303	303	303
24	449	444	441	440	439	439	439	439
26	626	622	620	618	618	618	618	618
28	851	850	850	850	849	849	849	849
30	1 13	1 14	1 14	1 14	1 14	1 14	1 14	1 14
32	1 48	1 49	1 50	1 51	1 51	1 51	1 51	1 51
34	1 90	1 93	1 95	1 96	1 97	1 97	1 97	1 97
36	2 41	2 45	2 49	2 51	2 52	2 53	2 53	2 53
38	3 02	3 07	3 13	3 17	3 19	3 20	3 20	3 21
40	3 74	3 80	3 89	3 95	3 98	4 00	4 01	4 01
42	4 59	4 66	4 78	4 87	4 93	4 95	4 97	4 97
44	5 59	5 67	5 82	5 95	6 03	6 07	6 09	6 10
46	6 76	6 83	7 02	7 20	7 31	7 37	7 41	7 43
48	8 12	8 17	8 40	8 63	8 79	8 88	8 93	8 96
50	9 69	9 72	9 98	10 27	10 49	10 62	10 69	10 73
52	11 5	11 5	11 8	12 1	12 4	12 6	12 7	12 8
54	13 5	13 5	13 8	14 2	14 6	14 9	15 0	15 1
56	15 9	15 8	16 1	16 6	17 1	17 4	17 6	17 7
58	18 5	18 4	18 7	19 3	19 8	20 3	20 5	20 7
60	21 5	21 3	21 6	22 3	22 9	23 5	23 8	24 0
62	24 9	24 6	24 9	25 6	26 4	27 0	27 5	27 7
64	28 6	28 2	28 5	29 3	30 2	31 0	31 6	31 9
66	32 8	32 3	32 6	33 4	34 4	35 4	36 1	36 5
68	37 5	36 8	37 1	37 9	39 1	40 2	41 1	41 6
70	42 7	41 9	42 1	42 9	44 2	45 5	46 6	47 3
72	48 4	47 5	47 6	48 5	49 9	51 4	52 6	53 5
74	54 7	53 6	53 6	54 6	56 1	57 7	59 2	60 3
76	61 7	60 4	60 3	61 2	62 8	64 7	66 4	67 7
78	69 3	67 8	67 7	68 6	70 2	72 3	74 3	75 8
80	77 6	75 9	75 7	76 6	78 3	80 6	82 8	84 7
82	86 7	84 7	84 4	85 3	87 1	89 6	92 1	94 2
84	97	94	94	95	97	99	102	105
86	107	105	104	105	107	110	113	116
88	119	116	116	116	118	121	125	128
90	132	129	128	129	131	134	137	141

TABLA A 15-12: EJE TRIPLE Y SERVICIABILIDAD FINAL (P<sub>f</sub>) DE 2

Carga Eje [kips]	Espesor losa, D [pulgadas]							
	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001
4	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003
6	0009	0009	0009	0009	0009	0009	0009	0009
8	002	002	002	002	002	002	002	002
10	005	005	005	005	005	005	005	005
12	010	009	009	009	009	009	009	009
14	017	017	016	016	016	016	016	016
16	029	028	027	027	027	027	027	027
18	045	044	044	043	043	043	043	043
20	069	067	066	066	066	066	066	066
22	101	099	098	097	097	097	097	097
24	144	141	139	139	138	138	138	138
26	199	195	194	193	192	192	192	192
28	270	265	263	262	262	262	262	261
30	359	354	351	350	349	349	349	349
32	468	463	460	459	458	458	458	458
34	600	596	594	593	592	592	592	592
36	758	757	756	755	755	755	755	755
38	947	949	950	951	951	951	951	951
40	1 17	1 18	1 18	1 18	1 18	1 18	1 18	1 19
42	1 43	1 44	1 45	1 46	1 46	1 46	1 46	1 46
44	1 73	1 75	1 77	1 78	1 78	1 79	1 79	1 79
46	2 07	2 10	2 13	2 15	2 16	2 16	2 16	2 17
48	2 47	2 51	2 55	2 58	2 59	2 60	2 60	2 61
50	2 92	2 97	3 03	3 07	3 09	3 10	3 11	3 11
52	3 44	3 50	3 58	3 63	3 66	3 68	3 69	3 69
54	4 03	4 09	4 20	4 27	4 31	4 33	4 35	4 35
56	4 69	4 76	4 89	4 99	5 05	5 08	5 09	5 10
58	5 44	5 51	5 66	5 79	5 87	5 91	5 94	5 95
60	6 29	6 35	6 53	6 69	6 79	6 85	6 88	6 90
62	7 23	7 28	7 49	7 69	7 82	7 90	7 94	7 97
64	8 28	8 32	8 55	8 80	8 97	9 07	9 13	9 16
66	9 46	9 48	9 73	10 02	10 24	10 37	10 44	10 48
68	10 8	10 8	11 0	11 4	11 6	11 8	11 9	12 0
70	12 2	12 2	12 5	12 8	13 2	13 4	13 5	13 6
72	13 8	13 7	14 0	14 5	14 9	15 1	15 3	15 4
74	15 5	15 4	15 7	16 2	16 7	17 0	17 2	17 3
76	17 5	17 3	17 6	18 2	18 7	19 1	19 3	19 5
78	19 6	19 4	19 7	20 3	20 9	21 4	21 7	21 8
80	21 9	21 6	21 9	22 6	23 3	23 8	24 2	24 4
82	24 4	24 1	24 4	25 0	25 8	26 5	26 9	27 2
84	27 1	26 7	27 0	27 7	28 6	29 4	29 9	30 2
86	30 1	29 6	29 9	30 7	31 6	32 5	33 1	33 5
88	33 3	32 8	33 0	33 8	34 8	35 8	36 6	37 1
90	36 8	36 2	36 4	37 2	38 3	39 4	40 3	40 9

TABLA A 15-13: EJE SIMPLEY SERVICIABILIDAD FINAL ( $P_f$ ) DE 2,5

Carga Eje [kips]	Espesor losa, D [pulgadas]							
	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002
4	002	002	002	002	002	002	002	002
6	011	010	010	010	010	010	010	010
8	035	033	032	032	032	032	032	032
10	089	084	082	081	080	080	080	080
12	189	181	176	175	174	174	173	173
14	360	347	341	338	337	336	336	336
16	623	610	604	601	599	599	599	598
18	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00
20	1 52	1 55	1 57	1 58	1 58	1 59	1 59	1 59
22	2 20	2 28	2 34	2 38	2 40	2 41	2 41	2 41
24	3 10	3 22	3 36	3 45	3 50	3 53	3 54	3 55
26	4 26	4 42	4 67	4 85	4 95	5 01	5 04	5 05
28	5 76	5 92	6 29	6 61	6 81	6 92	6 98	7 01
30	7 67	7 79	8 28	8 79	9 14	9 35	9 46	9 52
32	10 1	10 1	10 7	11 4	12 0	12 3	12 6	12 7
34	13 0	12 9	13 6	14 6	15 4	16 0	16 4	16 5
36	16 7	16 4	17 1	18 3	19 5	20 4	21 0	21 3
38	21 1	20 6	21 3	22 7	24 3	25 6	26 4	27 0
40	26 5	25 7	26 3	27 9	29 9	31 6	32 9	33 7
42	32 9	31 7	32 2	34 0	36 3	38 7	40 4	41 6
44	40 4	38 8	39 2	41 0	43 8	46 7	49 1	50 8
46	49 3	47 1	47 3	49 2	52 3	55 9	59 0	61 4
48	59 7	56 9	56 8	58 7	62 1	66 3	70 3	73 4
50	71 7	68 2	67 8	69 6	73 3	78 1	83 0	87 1

TABLA A 15-14: EJE TANDEM Y SERVICIABILIDAD FINAL (P<sub>f</sub>) DE 2,5

Carga Eje [kips]	Espesor losa, D [pulgadas]							
	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001
4	0006	0005	0005	0005	0005	0005	0005	0005
6	002	002	002	002	002	002	002	002
8	006	006	005	005	005	005	005	005
10	014	013	013	012	012	012	012	012
12	028	026	026	025	025	025	025	025
14	052	049	048	047	047	047	047	047
16	089	084	082	081	081	080	080	080
18	143	136	133	132	131	131	131	131
20	220	211	206	204	203	203	203	203
22	325	313	308	305	304	303	303	303
24	462	450	444	441	440	439	439	439
26	637	627	622	620	619	618	618	618
28	854	852	850	850	850	849	849	849
30	1 12	1 13	1 14	1 14	1 14	1 14	1 14	1 14
32	1 44	1 47	1 49	1 50	1 51	1 51	1 51	1 51
34	1 82	1 87	1 92	1 95	1 96	1 97	1 97	1 97
36	2 27	2 35	2 43	2 48	2 51	2 52	2 52	2 53
38	2 80	2 91	3 03	3 12	3 16	3 18	3 20	3 20
40	3 42	3 55	3 74	3 87	3 94	3 98	4 00	4 01
42	4 16	4 30	4 55	4 74	4 86	4 91	4 95	4 96
44	5 01	5 16	5 48	5 75	5 92	6 01	6 06	6 09
46	6 01	6 14	6 53	6 90	7 14	7 28	7 36	7 40
48	7 16	7 27	7 73	8 21	8 55	8 75	8 86	8 92
50	8 50	8 55	9 07	9 68	10 14	10 42	10 58	10 66
52	10 0	10 0	10 6	11 3	11 9	12 3	12 5	12 7
54	11 8	11 7	12 3	13 2	13 9	14 5	14 8	14 9
56	13 8	13 6	14 2	15 2	16 2	16 8	17 3	17 5
58	16 0	15 7	16 3	17 5	18 6	19 5	20 1	20 4
60	18 5	18 1	18 7	20 0	21 4	22 5	23 2	23 6
62	21 4	20 8	21 4	22 8	24 4	25 7	26 7	27 3
64	24 6	23 8	24 4	25 8	27 7	29 3	30 5	31 3
66	28 1	27 1	27 6	29 2	31 3	33 2	34 7	35 7
68	32 1	30 9	31 3	32 9	35 2	37 5	39 3	40 5
70	36 5	35 0	35 3	37 0	39 5	42 1	44 3	45 9
72	41 4	39 6	39 8	41 5	44 2	47 2	49 8	51 7
74	46 7	44 6	44 7	46 4	49 3	52 7	55 7	58 0
76	52 6	50 2	50 1	51 8	54 9	58 6	62 1	64 8
78	59 1	56 3	56 1	57 7	60 9	65 0	69 0	72 3
80	66 2	62 9	62 5	64 2	67 5	71 9	76 4	80 2
82	73 9	70 2	69 6	71 2	74 7	79 4	84 4	88 8
84	82 4	78 1	77 3	78 9	82 4	87 4	93 0	98 1
86	92	87	86	87	91	96	102	108
88	102	96	95	96	100	105	112	119
90	112	106	105	106	110	115	123	130

TABLA A 15-15: EJE TRIPLE Y SERVICIABILIDAD FINAL ( $P_f$ ) DE 2,5

Carga Eje [kips]	Espesor losa, D [pulgadas]							
	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001
4	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003
6	001	001	001	001	001	001	001	001
8	002	002	002	002	002	002	002	002
10	005	005	005	005	005	005	005	005
12	010	010	009	009	009	009	009	009
14	018	017	017	016	016	016	016	016
16	030	029	028	027	027	027	027	027
18	048	045	044	044	043	043	043	043
20	073	069	067	066	066	066	066	066
22	107	101	099	098	097	097	097	097
24	151	144	141	139	139	138	138	138
26	209	200	195	194	193	192	192	192
28	281	271	265	263	262	262	262	262
30	371	359	354	351	350	349	349	349
32	480	468	463	460	459	458	458	458
34	609	601	596	594	593	592	592	592
36	762	759	757	756	755	755	755	755
38	941	946	948	950	951	951	951	951
40	1 15	1 16	1 17	1 18	1 18	1 18	1 18	1 18
42	1 38	1 41	1 44	1 45	1 46	1 46	1 46	1 46
44	1 65	1 70	1 74	1 77	1 78	1 78	1 78	1 79
46	1 96	2 03	2 09	2 13	2 15	2 16	2 16	2 16
48	2 31	2 40	2 49	2 55	2 58	2 59	2 60	2 60
50	2 71	2 81	2 94	3 02	3 07	3 09	3 10	3 11
52	3 15	3 27	3 44	3 56	3 62	3 66	3 68	3 68
54	3 66	3 79	4 00	4 16	4 26	4 30	4 33	4 34
56	4 23	4 37	4 63	4 84	4 97	5 03	5 07	5 09
58	4 87	5 00	5 32	5 59	5 76	5 85	5 90	5 93
60	5 59	5 71	6 08	6 42	6 64	6 77	6 84	6 87
62	6 39	6 50	6 91	7 33	7 62	7 79	7 88	7 93
64	7 29	7 37	7 82	8 33	8 70	8 92	9 04	9 11
66	8 28	8 33	8 83	9 42	9 88	10 17	10 33	10 42
68	9 4	9 4	9 9	10 6	11 2	11 5	11 7	11 9
70	10 6	10 6	11 1	11 9	12 6	13 0	13 3	13 5
72	12 0	11 8	12 4	13 3	14 1	14 7	15 0	15 2
74	13 5	13 2	13 8	14 8	15 8	16 5	16 9	17 1
76	15 1	14 8	15 4	16 5	17 6	18 4	18 9	19 2
78	16 9	16 5	17 1	18 2	19 5	20 5	21 1	21 5
80	18 8	18 3	18 9	20 2	21 6	22 7	23 5	24 0
82	21 0	20 3	20 9	22 2	23 8	25 2	26 1	26 7
84	23 3	22 5	23 1	24 5	26 2	27 8	28 9	29 6
86	25 8	24 9	25 4	26 9	28 8	30 5	31 9	32 8
88	28 6	27 5	27 9	29 4	31 5	33 5	35 1	36 1
90	31 5	30 3	30 7	32 2	34 4	36 7	38 5	39 8



## ANEXO SECCIÓN 16

### ART. A 16.1. CARTILLAS DE DISEÑO

#### A 16.1.1. DISEÑO DE PASAJES, CALLES LOCALES Y DE SERVICIO

A 16.1.1.1. Cartilla de diseño propuesta para vías Locales y Pasajes, con base y sub base estabilizadas (con cemento o químicamente).

TABLA A 16-I CARTILLA DE DISEÑO PROPUESTA PARA VÍAS LOCALES Y PASAJES, CON BASE Y SUB BASE ESTABILIZADAS (CON CEMENTO O QUÍMICAMENTE)

Tipo de Vía	Tránsito	Capa	CBR Subrasante [%]					
			≤ 3	4 a 7	8 a 12	13 a 16	17 a 20	> 20
Pasajes	<50.000 EE	Carpeta Asfáltica	40	40	40	40	40	40
		Base Estabilizada	450	350	300	300	150	150
Calles Locales	<200.000 EE	Carpeta Asfáltica	40	40	40	40	40	40
		Base Estabilizada	550	350	300	300	150	150

Notas:

1. Base Estabilizada: Corresponde a material compactado, al 95% de la densidad máxima compactada seca (D.M.C.S.) en estado natural, que al ser estabilizado se obtiene una resistencia a la compresión no confinada a los 7 días  $\geq 25$  kg/cm<sup>2</sup>.
2. Por cada 200 m<sup>3</sup> de base estabilizada se toman 6 muestras para ensayar a compresión no confinada según la norma ASTM D4609-86 y D2166.
3. En caso de existir napa de agua subterránea, el proyectista puede adoptar los diseños constructivos adicionales que estime convenientes.
4. En casos de suelos expansivos, en el mejoramiento del terreno, el proyectista puede adoptar los diseños constructivos adicionales que estime convenientes.
5. Espesores expresados en mm.

Recomendación: Se sugiere el empleo de esta cartilla, pero el ingeniero proyectista es libre de modificarla si las condiciones específicas del lugar de aplicación lo requiere.



## **ART. A 16.2. DISEÑO DE VÍAS COLECTORAS, TRONCALES Y EXPRESAS**

Con el fin de simplificar y estandarizar los diseños se proponen Cartillas, las cuales indican los espesores de las capas, según la capacidad de soporte del suelo, zona climática, clase de vía y volumen de tránsito.

Los diseños son realizados en base a la metodología empírico-mecanicista Shell, con niveles de confianza de 85% para vías Colectoras y Troncales y de un 95% para vías Expresas.

En base a lo descrito anteriormente, se presentan las Cartillas de diseño propuestas para vías Colectoras, Troncales y Expresas, dependientes de la zona climática.

### **A 16.2.1. CARTILLAS DE DISEÑO PROPUESTAS**

A continuación, se presentan las Cartillas propuestas para las zonas climáticas definidas previamente:

A 16.2.1.1. Cartillas Zona I.

**DISEÑO VÍAS ALTO VOLUMEN DE TRÁNSITO, ZONA 1**

Tipo de Vía	Tránsito	Capa	Módulo Dinámico [Mpa]	Estabilidad Marshall [N]	CBR Capa [%]	CBR Subrasante [%]				
						< 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
Colectora	<4.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	4900-4500	15000-9000		80	80	80	70	80
		Binder	4800-4400	13000-9000		80	80	80	80	70
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30 <= CBR <= 60	150	150	150	150	150
		Mejeramiento			CBR >= 15	450	250			
Troncal	<11.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	5200-4500	15000-9000		90	90	90	80	80
		Binder	5000-4400	13000-9000		100	100	100	90	80
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30 <= CBR <= 50	150	150	150	150	150
		Mejeramiento			CBR >= 15	450	250			
Expresa	<20.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	5600-4900	15000-9000		100	100	100	100	90
		Binder	5400-4800	13000-9000		110	110	110	100	100
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30 <= CBR <= 50	150	150	150	150	150
		Mejeramiento			CBR >= 15	450	250			

VIAS MEDIO VOLUMEN DE TRANSITO ZONA 1										
Tipo de Vía	Tránsito	Capa	Módulo Dinámico [Mpa]	Estabilidad Marshall [N]	CBR Capa [%]	=< 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
Colectora	<3.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	4900-4500	16000-9000		70	70	70	70	60
		Binder	4800-4400	13000-9000		80	80	80	70	70
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<=CBR<=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>= 15	450	250			
Troncal	<8.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	5200-4500	16000-9000		90	90	90	80	70
		Binder	5000-4400	13000-9000		90	90	90	80	80
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<=CBR<=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>= 15	450	250			
Expresa	<15.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	5600-4900	16000-9000		100	100	100	90	90
		Binder	5400-4800	13000-9000		100	100	100	100	90
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<=CBR<=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>= 15	450	250			

VIAS BAJO VOLUMEN DE TRANSITO ZONA 1										
Tipo de Vía	Tránsito	Capa	Módulo Dinámico [Mpa]	Estabilidad Marshall [N]	CBR Capa [%]	CBR Subrasante				
						=< 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
Colectora	<2.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	4900-4500	15000-9000		70	70	70	50	50
		Binder	4800-4400	13000-8000		70	70	70	70	60
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular Mejoramiento			30<=CBR<=50 CBR>= 15	150 450	150 250	150	150	150
Troncal	<5.500.000 EE	Carpeta Asfáltica	5200-4500	15000-9000		80	80	80	80	70
		Binder	5000-4400	13000-8000		90	90	90	80	70
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular Mejoramiento			30<=CBR<=50 CBR>= 15	150 450	150 250	150	150	150
Expresa	<10.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	5600-4900	15000-9000		90	90	90	90	80
		Binder	5400-4800	13000-8000		100	100	100	90	90
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular Mejoramiento			30<=CBR<=50 CBR>= 15	150 450	150 250	150	150	150

A 16.2.1.2. Cartillas Zona 2.

DISEÑO VÍAS ALTO VOLUMEN DE TRANSITO ZONA 2										
Tipo de Vía	Transito	Capa	Modulo Dinamico [Mpa]	Estabilidad Marshall [N]	CBR Capa [%]	CBR Subrasante [%]				
						=< 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
Colectora	<4.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	5500-6100	16000-9000		70	70	70	70	50
		Binder	5200-5900	13000-8000		80	80	80	70	70
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<=CBR<=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>= 15	450	250			
Troncal	<11.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	5600-6100	16000-9000		80	80	80	80	70
		Binder	5500-5800	13000-8000		90	90	90	80	80
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<=CBR<=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>= 15	450	250			
Expresa	<20.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	7300-6500	16000-9000		90	90	90	90	90
		Binder	5900-6200	13000-8000		100	100	100	90	90
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<=CBR<=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>= 15	450	250			

VIAS MEDIO VOLUMEN DE TRANSITO ZONA 2										
Tipo de Vía	Transito	Capa	Modulo Dinamico [Mpa]	Estabilidad Marshall [N]	CBR Capa [%]	CBR Subrasante				
						=< 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
Colectora	<3.000.000 EE	Carpeta Asfaltica	5500-6100	15000-9000		70	70	70	50	50
		Binder	5200-5800	13000-8000		70	70	70	70	60
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular Mejoramiento			30<=CBR<=50 CBR>= 15	150	150	150	150	150
Troncal	<8.000.000 EE	Carpeta Asfaltica	5800-6100	15000-9000		80	80	80	70	70
		Binder	5500-5800	13000-8000		80	80	80	80	70
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular Mejoramiento			30<=CBR<=50 CBR>= 15	150	150	150	150	150
Expresa	<15.000.000 EE	Carpeta Asfaltica	7300-6500	15000-9000		90	90	90	90	80
		Binder	5900-6200	13000-8000		100	100	100	90	90
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular Mejoramiento			30<=CBR<=50 CBR>= 15	150	150	150	150	150

VIAS BAJO VOLUMEN DE TRANSITO ZONA 2										
Tipo de Via	Transito	Capa	Modulo Dinamico [Mpa]	Estabilidad Marshall [N]	CBR Capa [%]	CBR Subrasante				
						=< 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
Colectora	<2.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	5500-6100	16000-9000		50	50	50	50	50
		Binder	5200-5800	13000-9000		70	70	70	70	60
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<=CBR<=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>= 15	450	250			
Troncal	<5.500.000 EE	Carpeta Asfáltica	5800-6100	16000-9000		70	70	70	70	60
		Binder	5500-5800	13000-9000		80	80	80	70	70
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<=CBR<=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>= 15	450	250			
Expresa	<10.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	7300-6500	16000-9000		90	90	90	80	80
		Binder	5900-6200	13000-9000		90	90	90	90	80
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<=CBR<=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>= 15	450	250			

A 16.2.1.3. Cartillas Zona 3.

DISEÑO ALTO VOLUMEN DE TRANSITO ZONA 3										
Tipo de Vía	Transito	Capa	Modulo Dinamico [Mpa]	Estabilidad Marshall [N]	CBR Capa [%]	=< 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
Colectora	<4.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	8700-8200	16000-9000		70	70	70	50	50
		Binder	8100-7700	13000-8000		70	70	70	70	50
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<=CBR<=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>= 15	450	250			
Troncal	<11.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	9000-8200	16000-9000		80	80	80	70	70
		Binder	8400-7700	13000-8000		80	80	80	80	70
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<=CBR<=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>= 15	450	250			
Expresa	<20.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	9500-8700	16000-9000		90	90	90	80	80
		Binder	8900-8100	13000-8000		90	90	90	90	80
		Base Granular			CBR >=80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<=CBR<=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>= 15	450	250			



VIAS MEDIO VOLUMEN DE TRANSITO ZONA 3										
Tipo de Vía	Transito	Capa	Modulo Dinamico [Mpa]	Estabilidad Marshall [N]	CBR Capa [%]	CBR Subrasante [%]				
						=< 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
Colectora	<3.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	8700-8200	15000-9000		50	50	50	50	50
		Binder	8100-7700	13000-8000		70	70	70	70	60
		Base Granular			CBR > 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<=CBR<=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>= 15	450	250			
Troncal	<8.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	9000-8200	15000-9000		70	70	70	70	60
		Binder	8400-7700	13000-8000		80	80	80	70	70
		Base Granular			CBR > 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<=CBR<=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>= 15	450	250			
Expresa	<15.000.000 EE	Carpeta Asfáltica	9500-8700	15000-9000		80	80	80	80	80
		Binder	8900-8100	13000-8000		90	90	90	80	80
		Base Granular			CBR > 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular			30<=CBR<=50	150	150	150	150	150
		Mejoramiento			CBR>= 15	450	250			

VIAS BAJO VOLUMEN DE TRANSITO ZONA 3										
Tipo de Vía	Transito	Capa	Modulo Dinamico [Mpa]	Estabilidad Marshall [N]	CBR Capa [%]	CBR Subrasante [%]				
						=< 3	4 a 7	8 a 12	13 a 20	> 20
Colectora	<2.000.000 EE	Carpeta Asfaltica	8700-8200	15000-9000		50	50	50	50	50
		Binder	8100-7700	13000-8000		50	60	60	60	50
		Base Granular			CBR > 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular Mejoramiento			30<=CBR<=50 CBR>= 15	150	150	150	150	150
Troncal	<5.500.000 EE	Carpeta Asfaltica	9000-8200	15000-9000		70	70	70	70	60
		Binder	8400-7700	13000-8000		70	70	70	70	60
		Base Granular			CBR > 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular Mejoramiento			30<=CBR<=50 CBR>= 15	150	150	150	150	150
Expresa	<10.000.000 EE	Carpeta Asfaltica	9500-8700	15000-9000		80	80	80	80	70
		Binder	8900-8100	13000-8000		80	80	80	80	80
		Base Granular			CBR > 80	150	150	150	150	150
		Sub-base Granular Mejoramiento			30<=CBR<=50 CBR>= 15	150	150	150	150	150

Notas:

1. El mejoramiento de suelos considera el uso de geotextiles para evitar contaminación de capas granulares. Como alternativa al uso de geotextiles, puede aumentar el espesor de mejoramiento en 150 mm.
2. En caso de existir napa de agua subterránea, el proyectista puede proponer los diseños constructivos adicionales que estime conveniente.
3. En casos de suelos expansivos, en el mejoramiento del terreno el proyectista puede proponer los diseños constructivos adicionales que estime conveniente.
4. El rango de valores del módulo dinámico de las mezclas asfálticas corresponde al máximo y mínimo para cada zona.
5. En el caso de vías Troncales y Expresas, se recomienda la utilización de asfaltos modificados con elastómero (AMP) en los 4 cm. superiores de la carpeta asfáltica.
6. Espesores expresados en mm.

Recomendación: Se sugiere el empleo de esta cartilla, pero el ingeniero proyectista es libre de modificarla si las condiciones específicas del lugar de aplicación lo requieren.

### ART. A 16.3. INSTRUCCIONES PARA EMPLEO DE CARTILLAS DE DISEÑO

Para la correcta utilización de estas Cartillas, se recomienda seguir los siguientes pasos:

- a.) Clasificar la vía a diseñar según Sección 13, en: Pasaje, Local, de Servicio, Colectora, Troncal o Expresa.
- b.) De acuerdo a la clasificación anterior se distinguen dos alternativas:
  - b.1) Vías Tipo Pasajes, Locales y de Servicio.

De acuerdo a la cantidad de ejes equivalentes solicitantes y al CBR de la subrasante, ingresar en la Tabla 16-9 para base y sub-base no estabilizadas químicamente, o en la Tabla A 16-1 para base y sub-base estabilizadas químicamente. A partir de la tabla escogida, se sugiere adoptar los espesores de diseño correspondientes para cada una de las capas que conforman el pavimento.

b.2) Vías Colectoras, Troncales, Expresas.

- Ubicar localidad en una zona climática según Tabla 16-6.
- A partir de la clasificación realizada en a), y basándose en las características de tráfico de la localidad, categorizar la vía (Colectora, Troncal o Expresa) según el volumen de tránsito (Alto, medio o bajo).
- Adoptar el diseño según el CBR de la subrasante, a partir de la tabla correspondiente a la zona climática escogida (tablas presentadas en los artículos: A 16.2.1.1, A 16.2.1.2 y A 16.2.1.3).

