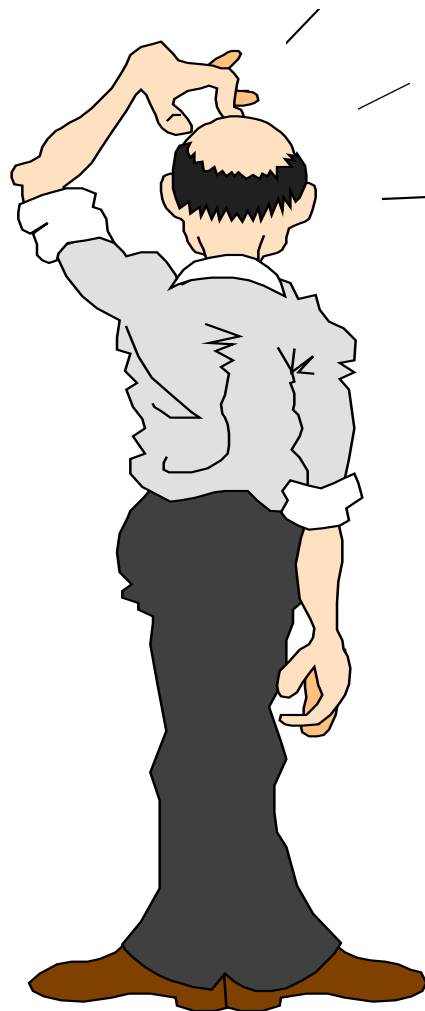




Dosificación de Hormigones





INDICE

CONSIDERACIONES BASICAS SOBRE DOSIFICACION 4

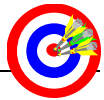
- OBJETIVO 4
- CONDICIONES GENERALES PARA DOSIFICACION 4
- PARTICIPANTES 5

METODOS DE DOSIFICACION 6

- DIAGRAMA DE DOSIFICACIÓN 7
- DOSIFICACION APROXIMADA 8
- METODO INGLES (DICTUC Y NCH170 OF.85) 10
 - Diagrama de Flujo del Método de Dosificación 10
 - Elección del Grado de Hormigón 11
 - Cálculo de la Resistencia Media de Dosificación 13
 - Determinación de la Razón Agua/Cemento 17
 - Elección de la Trabajabilidad 21
 - Elección del Tamaño Máximo Nominal del Árido 22
 - Dosis de Agua 24
 - Dosis de Cemento 27
 - Dosis de Aire 28
 - Densidad del Hormigón Fresco Compactado 29
 - Dosis de Áridos 31
 - Bandas granulométricas recomendadas 32
 - Métodos para el proporcionamiento de los áridos 39
 - Formulario de Dosificación (Método Inglés) 45
 - Ejemplos de Dosificación usando el Método Inglés 46
- METODO ACI 211.1-81 (REVISADA 1985) 48
 - Determinación de la razón Agua/Cemento 48
 - Determinación del tamaño máximo 51
 - Determinación de la fluidez 52
 - Determinación de la consistencia 52
 - Determinación de la dosis de agua 53
 - Determinación de la dosis de cemento 56
 - Determinación de la dosis de grava 57
 - Determinación de la dosis de arena 59
 - Cálculo de la Densidad Fresca del Hormigón 61
 - Comentarios y Limitaciones 62
 - Formulario de Dosificación (Método ACI) 63
 - Ejemplos de Dosificación usando el Método ACI 64



●	METODO FAURY	66
➤	Diagrama de Flujo del Método Faury	67
➤	Determinación del tamaño máximo	69
➤	Determinación de la fluidez (dosis de agua).....	72
➤	Elección de la curva granulométrica ideal (determinación de la consistencia).....	74
➤	Determinación de la razón agua/cemento.....	76
➤	Determinación de la dosificación.....	76
➤	Determinación de la dosis de agua.....	76
➤	Determinación de la dosis de cemento.....	76
➤	Determinación de las dosis de áridos.....	78
➤	Comentarios al método de Faury.....	83
➤	Formulario de Dosificación Método Faury.....	85
➤	Ejemplos de Dosificación usando el Método Faury	87
●	METODO DE VALETTE.....	89
➤	Determinación de las características físicas de los materiales componentes.....	90
➤	Determinación del mortero lleno, de mínimo contenido de cemento.....	90
➤	Determinación del hormigón lleno, de mínima dosis de cemento.....	91
➤	Determinación de la dosificación final.....	91
➤	Comentarios al Método de Valette.....	91
CORRECCIONES DE DOSIFICACION		92
●	CORRECCIONES POR HUMEDAD	93
➤	Dosificación medida en peso	93
➤	Dosificación medida en volumen.....	96
●	CORRECCION POR RENDIMIENTO	97
➤	Método de la densidad aparente real.....	98
➤	Método práctico.....	99
●	CORRECCION POR VARIACIONES DE LA GRANULOMETRIA.....	101
●	FORMULARIOS CORRECCION DOSIFICACION.....	102
VERIFICACION DOSIFICACION CON HORMIGONES DE PRUEBA		103
➤	Para Cambiar Asentamiento de Cono.....	105
➤	Ajuste de la Dosis de Cemento (razón W/C).....	106



CONSIDERACIONES BASICAS SOBRE DOSIFICACION

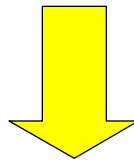
• OBJETIVO

Determinar proporciones de los materiales componentes de manera de obtener las condiciones esperadas del hormigón.

Estas condiciones son particulares de cada obra o parte de obra y pueden resumirse en la forma que se indica a continuación:

• CONDICIONES GENERALES PARA DOSIFICACION

Tipo de Condición	Características que deben considerarse	Parámetros Condicionantes
Diseño	Resistencia	Tipo de Cemento Razón W/C
Uso en Obra	Trabajabilidad: <u>Fluidez</u> Consistencia	Dosis de Agua Granulometría total
	Características del Elemento	Tamaño Máximo
Durabilidad	Condiciones Ambientales	Tipo de Cemento Uso Aditivos
	Ataques Agresivos	Dosis Mínima Cemento



Condiciones de partida para dosificación de un hormigón	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tipo de Cemento ✓ Uso de Aditivos ✓ Tamaño Máximo ✓ Fluidez ✓ Consistencia ✓ Razón Agua/Cemento
--	--



• PARTICIPANTES

Para fabricar un buen hormigón se necesitan 5 individuos

un *sabio* para el *agua*

un *avaro* para el *cemento*

un *dadivoso* para los *áridos*

un *fantasioso* para los *aditivos*

y para revolverlo

un ***LOCO INGENIERO***

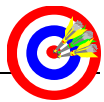


METODOS DE DOSIFICACION

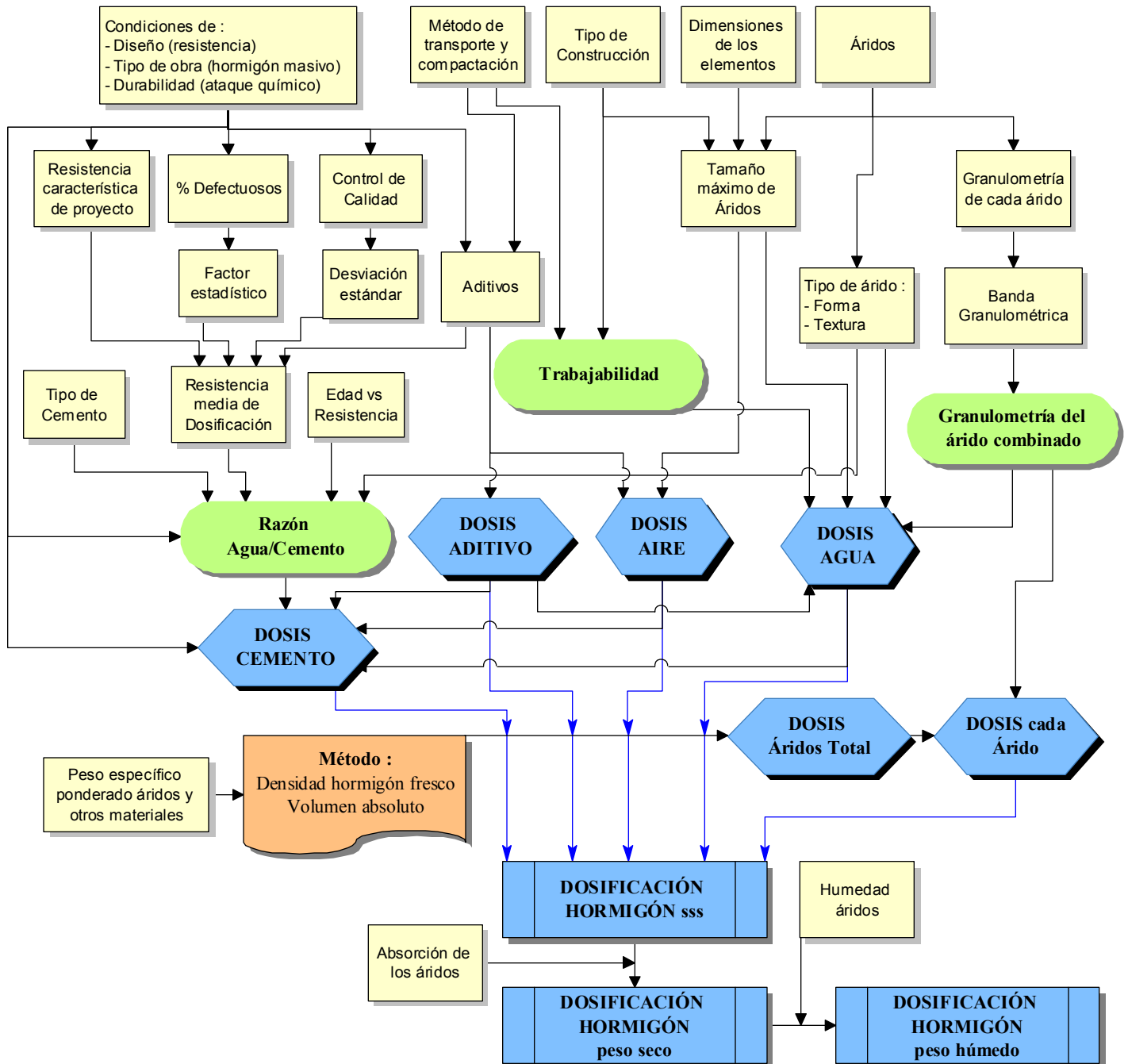
- | | | |
|---------------------|-------------------------|---|
| • EMPIRICOS | → <i>INGLES
ACI</i> | → Basados en investigación experimental |
| • RACIONALES | → <i>FAURY</i> | → GRANULOMETRICO |
| • PRACTICOS | → <i>VALETTE</i> | → Se confecciona hormigón experimental en laboratorio |

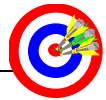


***HORMIGONES
DE
PRUEBA***



• DIAGRAMA DE DOSIFICACIÓN





• DOSIFICACION APROXIMADA

Dosificación aproximada para áridos de Santiago

Datos : $R_k \approx 18 \text{ MPa} = 180 \text{ kgf/cm}^2$
 Edificación: Cono $\approx 7 \text{ cm}$
 Densidad hormigón fresco $2.400 \text{ a } 2.500 \approx 2.420 \text{ kg/m}^3$
 Densidad real áridos $2.600 \text{ a } 2.700 \approx 2.700 \text{ kg/m}^3$
 Densidad aparente árido grueso $1.650 \text{ a } 1.750 \approx 1.700 \text{ kg/m}^3$
 Densidad aparente árido fino $1.300 \text{ a } 1.600 \approx 1.400 \text{ kg/m}^3$

Cálculo : Se supone
 Cemento (6 a 8 sacos) = 7 sacos x 42.5 = 300 kg
 Razón W/C = 0,6
 Agua = 0,6 * 300 = 180 lts.
 Peso áridos = 2.420 - 300 - 180 = 1.940 kg
 Suponiendo 35% arena = 680 kg
 65% grava = 1.260 kg

Material	Dosificación en peso (kg)	Densidad Aparente	Dosificación volumen [litros]	Esponj. arena	Dosificación Corregida [litros]	Densid. Real	Volumen absoluto [litros]
Cemento	300		300 kg		300 kg	3.0	100
Arena	680	1.4	485	30%	630	2.6	261
Grava	1.260	1.7	740		740	2.7	467
Agua	180		180		180	1	180
TOTAL	2.420						1.008

Verificación Resistencia para cementos especiales

$$C/W = R_{28} \times 0,0042 + 0,62$$

$$\Rightarrow R_{28} = \frac{1,7 - 0,62}{0,0042} = 257 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow R_k = 257 - 80 \approx 180 \text{ kgf/cm}^2$$

$$R_{28} < \text{contenido de cemento}$$



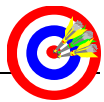
COSTO DIRECTO HORMIGON (\$/m³)

Material	Dosificación en peso [kg]	Dosificación volumen [m ³]	P.U. [\$/m ³] (Marzo 1998)	Precio [\$]
Cemento	300	7 sacos	2600 [\$/saco]	18200
Arena	680	0,631	5150	3250
Grava	1.260	0,741	4300	3186
Agua	180	0,180	117	21
SUB				
-TOTAL				24657
Confección				600
Transporte				60
Elevación				25
Colocación				300
Máquinas y Herramientas				
TOTAL				25.642

ESPECIFICACION OBRA

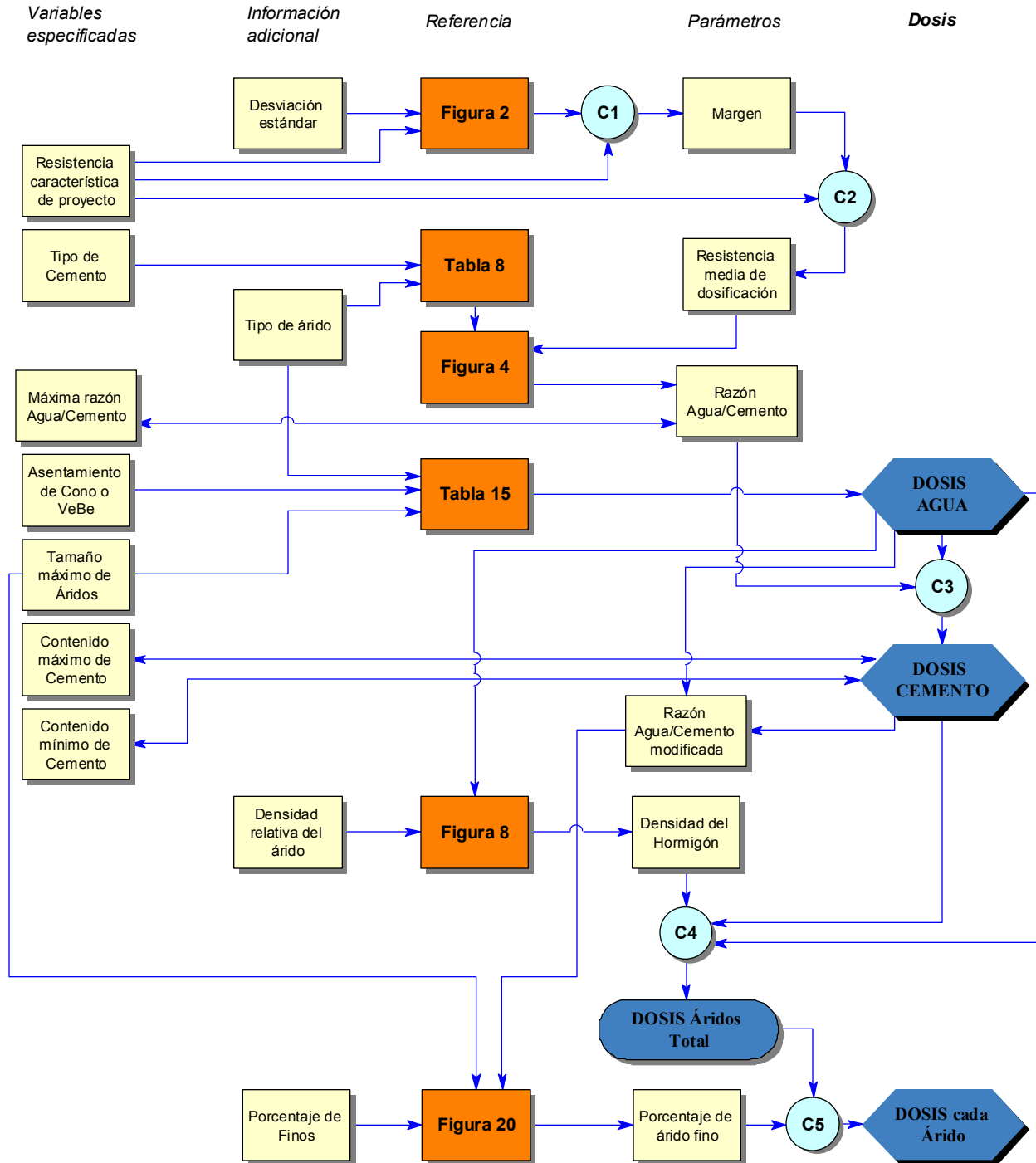
-----→ **COSTO**

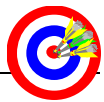
CALIDAD EMPRESA



METODO INGLES (DICTUC y NCh170 Of.85)

➤ Diagrama de Flujo del Método de Dosificación





➤ *Elección del Grado de Hormigón*

Tabla 1 : Clasificación de los Hormigones por Resistencia a la Compresión Cúbica (NCh170 Of.85)

Grado	Resistencia Especificada, f_c	
	MPa	kgf/cm ²
H5	5	50
H10	10	100
H15	15	150
H20	20	200
H25	25	250
H30	30	300
H35	35	350
H40	40	400
H45	45	450
H50	50	500

Tabla 2 : Clasificación de los Hormigones por Resistencia a la Flexotracción (NCh170 Of.85)

Grado de Flexotracción	Resistencia Especificada, f_t	
	MPa	kgf/cm ²
HF 3	3,0	30
HF 3,5	3,5	35
HF 4	4,0	40
HF 4,5	4,5	45
HF 5	5,0	50
HF 5,5	5,5	55
HF 6	6,0	60

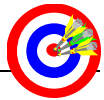
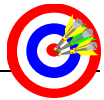


Tabla 3: Elección del Grado del Hormigón (NCh170 Of.85)

Grados de Hormigón	Solicitud y Exposición	Elementos Estructurales		
		En masa	Armados	Pretensados
H5	Elementos poco solicitados y sin peligro de heladas	Cimientos corridos, emplantillados, etc.	-	-
H10	Elementos poco solicitados y con peligro de heladas	Muros de contención, radieres.	-	-
H15 – H20	Elementos medianamente solicitados y con peligro de heladas	Elementos corrientes de la construcción, pavimentos, prefabricados		
H20 – H35	Elementos altamente solicitados con o sin peligro de heladas	-	Elementos especiales de la construcción, prefabricados en taller	
> H35				

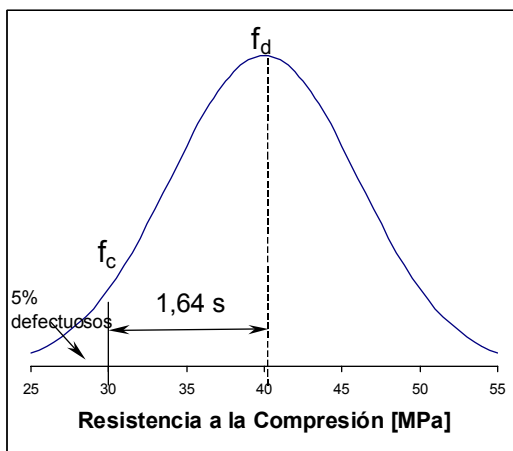


➤ Cálculo de la Resistencia Media de Dosificación

Para garantizar que el hormigón producido o un porcentaje de éste cumpla los requisitos de resistencia, se debe dosificar para una resistencia mayor a la especificada o característica (f_c).

Suponiendo que la resistencia del hormigón producido tiene una distribución normal :

$$f_d = f_c + t*s$$



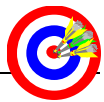
f_c : Resistencia característica
 f_d : Resistencia media de dosificación
 s : desviación estándar de la obra.
 t : factor estadístico para un nivel de confianza (1,645 en la Fig. 1)

Fig. 1: Distribución Normal de las Resistencias del Hormigón

El **factor estadístico “t”** se determina de la Tabla 4 a partir del nivel de confianza o complemento del porcentaje de defectuosos (válido para más de 30 resultados).

Tabla 4 : Factor estadístico t (NCh170 Of.85)

Nivel de Confianza (1 - % defectuosos)	t	Normas
95 %	1,645	DIN - BSI - ACI NCh
90 %	1,282	
85 %	1,036	
80 %	0,842	NCh (pavimentos)



La **desviación estándar “s”** de la obra se determina con la estadística de resistencia del mismo tipo de hormigón con que cuente la empresa. En caso que no exista o la obra esté comenzando, se pueden utilizar los datos indicados en las Fig.2 o Tabla 5.

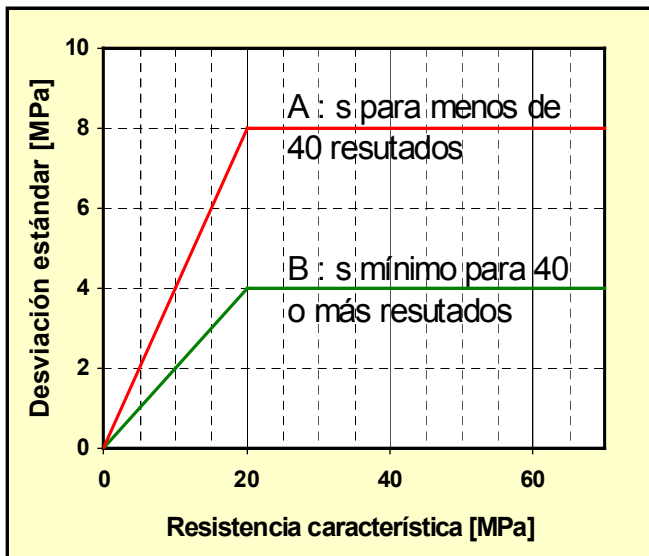


Fig. 2: Desviación estándar para resistencia a la compresión según BSI.

Nota: El método inglés BS 1975 establece que para resistencia a la tracción indirecta se debe usar 0,6 MPa como valor mínimo de desviación estándar cuando se tienen menos de 40 resultados previos y 0,3 MPa para 40 o más resultados. Estos valores se supone aplican para todos los grados de resistencia.

La Fig. 3 muestra el procedimiento recomendado por el Comité Europeo del Hormigón (CEB) para estimar la desviación estándar en función de la resistencia característica del hormigón y del número de resultados disponibles.

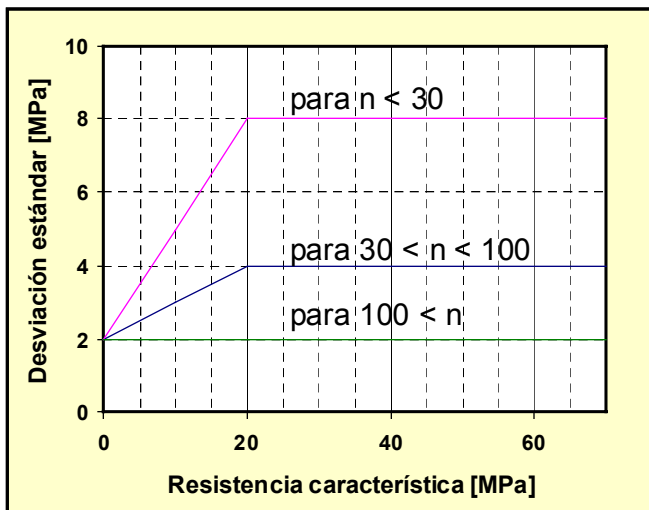
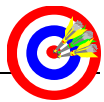


Fig. 3: Criterio del CEB para estimar la desviación estándar para resistencia a la compresión



Desviación estándar “s” según Norma chilena NCh170 Of.85:

- ⇒ Cuando no se disponga de resultados ni de antecedentes del contratista, para cualquier nivel de resistencia a la compresión especificada del proyecto, adoptar el valor : $s \geq 8 \text{ MPa}$.
- ⇒ Cuando se tienen antecedentes del mismo contratista, trabajando en condiciones similares se utiliza la Tabla 5.

Tabla 5 : Valor s estimado para resistencia a la compresión (NCh170 Of.85)

Condiciones previstas para la ejecución de la obra	s [MPa]		Definición de las condiciones
	≤ H15	> H15	
Regulares	8,0	-	Control deficiente, sólo grado ≤ H15
Medias	6,0	7,0	Dosificación de volumen controlado; control esporádico.
Buenas	4,0	5,0	Dosificación en peso o volumen controlado; control permanente.
Muy buenas	3,0	4,0	Dosificación en peso; laboratorio en faena; control permanente.

Con todos estos datos, la resistencia media de dosificación se calcula como :

$$f_d = f_c + t*s$$

$$\text{ó } f_d = f_c / (1 - CV) \text{ con } CV = s / f_d$$

$$\begin{aligned}
 CV &= 0,10 \text{ a } 0,15 \text{ para Control Bueno} \\
 &= 0,15 \text{ a } 0,20 \text{ para Control Normal} \\
 &= 0,20 \text{ a } 0,25 \text{ para Control Deficiente}
 \end{aligned}$$

El término t·s se conoce como margen y se representa como M:

$$M = t*s$$

$$f_d = f_c + M$$



Efecto del aire incorporado en la resistencia (BSI 1975)

En general, la resistencia del hormigón se reduce con la adición de aire. La magnitud de la reducción varía según un número de factores.

Sin embargo, para el rango de aire que es comúnmente requerido en las mezclas (especificado normalmente 3 a 7%), se puede suponer una pérdida de resistencia de 5,5% en resistencia a la compresión y 4% en resistencia a la tracción indirecta por cada 1% en volumen de aire incorporado en la mezcla.

Con el objeto de estimar la razón W/C requerida para un hormigón con aire incorporado, se puede tomar en cuenta la pérdida de resistencia diseñando la mezcla para una resistencia media de dosificación apropiadamente mayor.

La resistencia media apropiada para una mezcla con aire incorporado está dada por la ecuación :

$$f_d = \frac{f_c + M}{1 - r \cdot a}$$

donde : f_c : resistencia característica especificada.
 M : margen (t·s)
 a : porcentaje en volumen de aire incorporado
 r : 0,055 cuando se diseña para resistencia a la compresión
0,040 cuando se diseña para resistencia a la tracción indirecta.

NOTA: Otra forma de considerar la pérdida de resistencia de hormigones con aire incorporado es considerando el aire como si fuera agua, es decir, la razón W/C se expresa como $(W + a)/C$



➤ *Determinación de la Razón Agua/Cemento*

⇒ Por Condición de Resistencia

Tabla 6 : Razón Agua/Cemento para Resistencia Media Requerida (NCh170 Of.85 y DICTUC)

Razón Agua/Cemento en masa	Resistencia Cúbica a Compresión Media Requerida a 28 días, f_d [MPa]			
	Cemento Grado Corriente		Cemento Grado Alta Resistencia	
	NCh170 *	DICTUC	NCh170 **	DICTUC
0,35		50		53
0,40		43,5		46
0,45	34	38	43	41
0,50	29	33,5	36	40
0,55	25	29	31	34
0,60	21	25	26	29,5
0,65	18	21	23	27
0,70	16	17,5	20	24
0,75	14	14,5	17	21
0,80	12		15	
0,85	10		13	

* $f_d = 22.8 (C/W - 0.73)$

** $f_d = 28.5 (C/W - 0.73)$

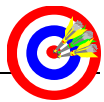
⇒ Por Condición de Durabilidad

Tabla 7 : Máxima razón W/C en casos de exposición severa (NCh170 Of.85)

Tipo de Estructura	Estructura continua o frecuentemente húmeda o expuesta a hielo-deshielo	Estructuras expuestas a aguas agresivas, en contacto con el suelo o ambiente salinos *
Secciones delgadas ($e \leq 20$ cm) y secciones con recubrimiento menor a 2 cm	0,45	0,40
Toda otra estructura	0,50	0,45

* Si se usa cemento resistente a los sulfatos ($C_3A < 5\%$), la relación W/C máxima se puede aumentar en 0,05.

ELEGIR LA MENOR RAZON W/C ENTRE LAS DOS CONDICIONES



Método Inglés para Resistencia a Compresión:

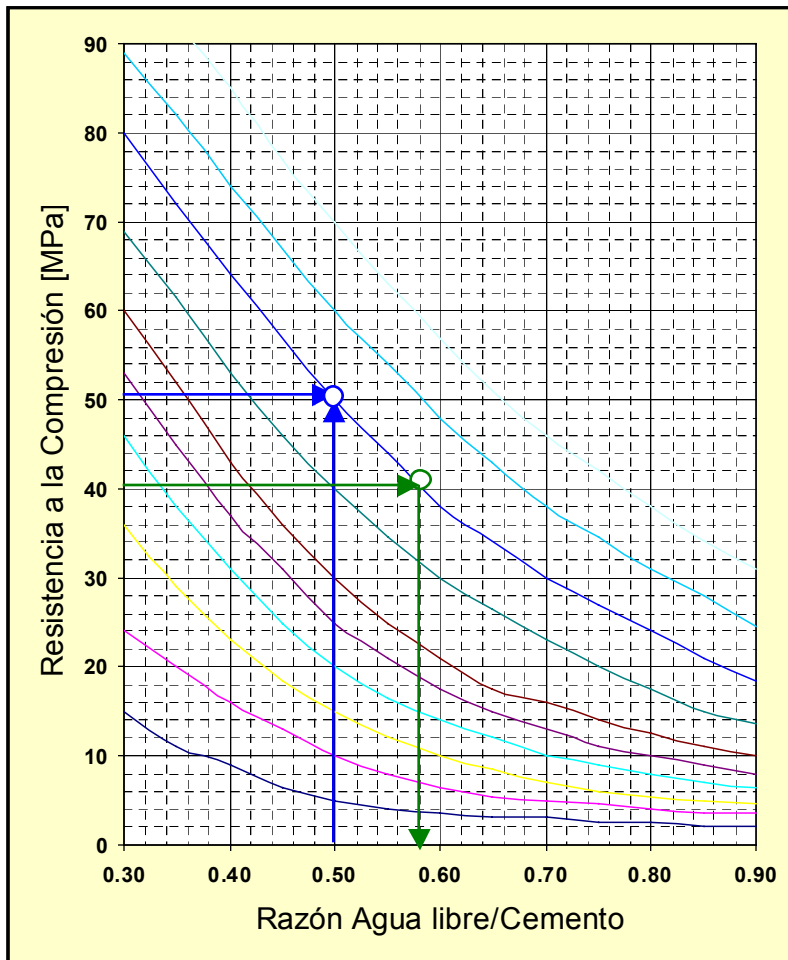


Fig. 4: Relación entre resistencia a compresión y razón Agua libre/Cemento para el Método Inglés de diseño de mezclas (1988).

Para utilizar este gráfico se necesita tener datos previos del mismo hormigón. Con la razón W/C y R_{28} de un hormigón conocido se determina la curva que representa al tipo de hormigón (interpolada entre las curvas adyacentes) y entonces se puede determinar la razón W/C de la amasada requerida para cumplir la resistencia especificada.

Ejemplo:

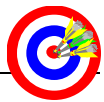
Un hormigón de razón W/C = 0,50 tiene 50 [MPa] a los 28 días; luego, para un hormigón de 40 [MPa] se necesitará una razón W/C \approx 0,58

El Método Inglés proporciona la siguiente tabla para establecer el punto de partida para la dosificación de mezclas.

Tabla 8 : Resistencia a compresión cúbica aproximada (MPa) de mezclas de hormigón con razón W/C = 0,5 según el Método Inglés de 1988 *

Tipo de Cemento	Tipo de árido	Resistencia cúbica a la compresión [MPa]* a una edad de (días) :			
		3	7	28	91
Portland Corriente (Tipo I) y Portland resistente a sulfatos (Tipo V)	Rodado	22 (18)	30 (27)	42 (40)	49 (48)
	Chancado	27 (23)	36 (33)	49 (47)	56 (55)
Portland de rápido endurecimiento (Tipo III)	Rodado	29 (25)	37 (34)	48 (46)	54 (53)
	Chancado	34 (30)	43 (40)	55 (53)	61 (60)

* Valores entre paréntesis corresponden a los de la versión 1975



Método Inglés para Resistencia a Tracción Indirecta:

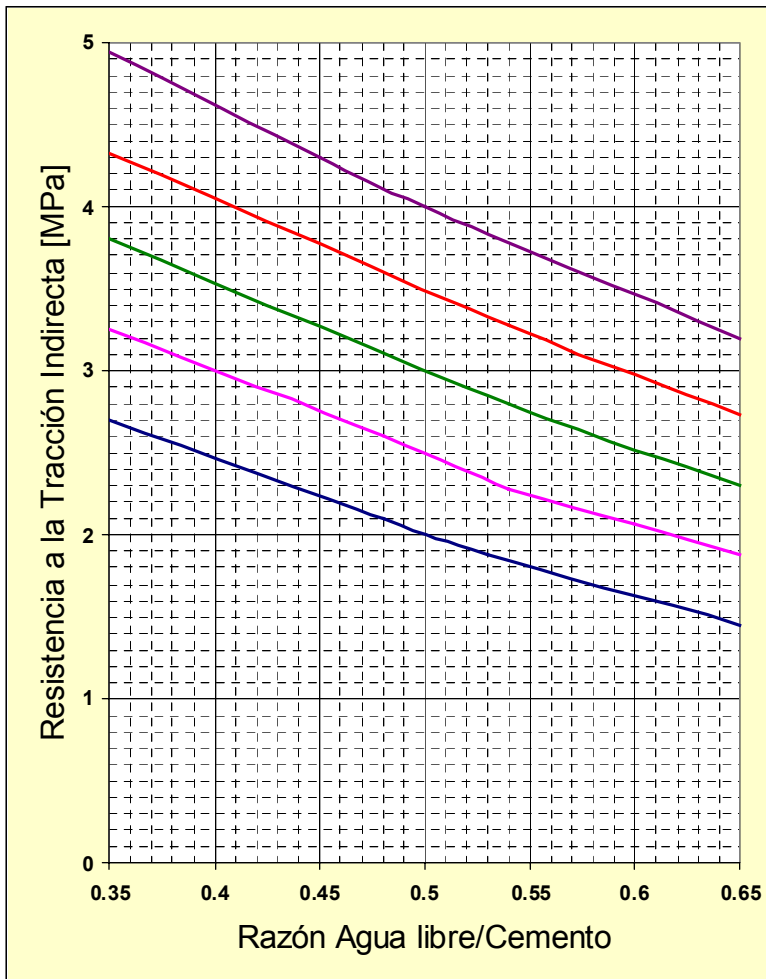


Fig. 5: Relación entre resistencia a la tracción indirecta y la razón Agua libre/Cemento para el Método Inglés de diseño de mezclas (1975).

Tabla 9 : Resistencia a tracción indirecta aproximada (MPa) de mezclas de hormigón con Cemento Portland Corriente y razón W/C = 0,5 según el Método Inglés de 1975

Tipo de árido	Resistencia a tracción indirecta [MPa] a una edad de (días) :			
	3	7	28	91
Rodado	1,7	2,2	2,8	3,3
Chancado	2,2	2,9	3,6	4,2



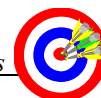
Tabla 10: Máxima razón W/C en casos de exposición severa (ACI).

Tipo de Estructura	Condiciones de exposición (x)					
	Climas extremos con frecuentes ciclos de congelación-deshielo SOLAMENTE HORMIGON CON AIRE INCORPORADO			Temperaturas moderadas, raramente por debajo de cero. Clima lluvioso o árido		
	Al aire	Al nivel del agua o en zonas fluctuación o salpicadura		Al aire	Al nivel del agua o en zonas fluctuación o salpicadura	
		En agua dulce	En agua mar o con sulfatos		En agua dulce	En agua mar o con sulfatos
Secciones delgadas como barandas, ornamentos, pilotes armados, tuberías y toda sección con menos de 2,5 cm. de recubrimiento	0,50	0,40	0,40 (1)	0,55	0,50	0,40 (1)
Secciones moderadas como muros de contención, estribos, pilares y vigas	0,55	0,50	0,45 (1)	(2)	0,55	0,45 (1)
Exterior de elementos en gran masa	0,60	0,50	0,45 (1)	(2)	0,55	0,45 (1)
Hormigón sumergido	--	0,45	0,45	(2)	0,45	0,45
Pavimentos	0,55			(2)		
Hormigón protegido de la intemperie, en interiores o enterrados	(2)	--	--	(2)	--	--
Hormigón que será protegido, pero estará expuesto por varios años al hielo-deshielo	0,55	--	--	(2)	--	--

(x) El aire incorporado se debe usar siempre frente a condiciones de exposición severa y puede usarse en climas moderados para mejorar la docilidad de la mezcla.

(1) Se usa cemento resistente a los sulfatos, la relación Agua/Cemento máxima se puede aumentar en 0,05 ($C_3A < 5\%$)

(2) Cantidad de agua determinada por condiciones resistencia y docilidad.



➤ Elección de la Trabajabilidad

Tabla 11: Asentamientos de Cono Recomendados según Tipo de Estructura y Técnica de Construcción

Tipo de estructura y técnica de construcción	Asentamiento en cm*	
	Mínimo	Máximo
Hormigón sin armar, ej. elementos de fundación *	2	7-8
Hormigón armado *:	4	10
• Muros armados de fundación y zapatas **	4	8
• Losas, vigas y muros armados **	5	10
• Columnas **	5	10
Pavimentos *	0-2	5
Construcción pesada en masa **	2	5
Elementos prefabricados	0	2
Transporte por grúa y capacho	4-5	6-8
Transporte por canoas (vaciado directo del mixer)	6-8	8-10
Hormigón bombeado	7-8	10-12
Hormigón bajo agua	15	--

(*) NCh 170 Of.85 Asentamientos de cono para compactación por vibración.

En situaciones excepcionales se podrá emplear apisonado manual, en cuyo caso, ambos límites de la tabla se deben aumentar en 4 cm.

En los casos que se evite la segregación y se asegure la obtención de un hormigón compacto, mediante el uso de aditivos o de tecnologías especiales de transporte y colocación, se podrán emplear docilidades distintas de las indicadas en la Tabla 11.

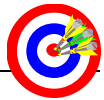
(**) Zabaleta: Se puede incrementar en 2 cm., cuando no se utilizan vibradores de alta frecuencia.

Tabla 12: Elección del Equipo de Compactación (NCh170 Of.85)

Docilidad	Asentamiento de cono [cm]	Altura máxima de caída [cm]	Equipos *
Seca	< 2	30	Mecánicos de alta potencia
Plástica	3 – 5	30	Mecánicos corrientes, especiales o sus combinaciones
Blanda	6 – 9	50	Manuales, mecánicos corrientes, especiales o sus combinaciones
Fluida	> 10	50	Manuales o especiales

* Equipos :

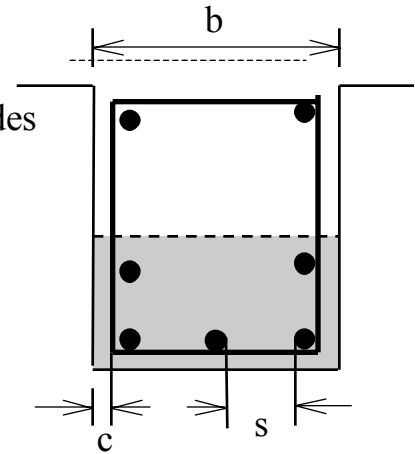
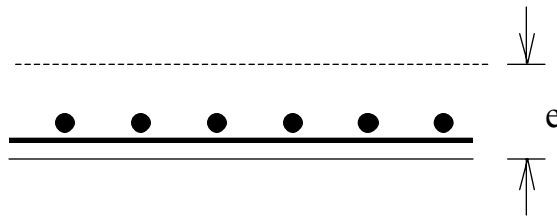
- Mecánicos de alta potencia : vibrador externo, pisón mecánico, vibro-compresión, etc.
- Corrientes : vibrador de inmersión, vibrador superficial, etc.
- Especiales : equipos de vacío, de centrifugado, etc.
- Manuales : varillas, martillo goma, macetas, paletas, etc.



➤ Elección del Tamaño Máximo Nominal del Árido

⇒ Norma NCh 170 Of.85 y ACI 211.1-85 (*):

$$D_n \leq \begin{cases} 1/5 b; & b = \text{menor dimensión interna entre paredes} \\ & \text{del molde} \\ 3/4 s; & s = \text{menor espacio libre entre armaduras} \\ 1/3 e; & e = \text{espesor de las losas armadas} \end{cases}$$



(*) Usar el mayor tamaño máximo económicamente disponible y consistente con las dimensiones de la estructura.

Cuando se desea hormigón de alta resistencia se pueden obtener mejores resultados con el uso de áridos de menor tamaño máximo nominal ya que estos producen mayores resistencias para una razón W/C dada.

- Elementos con hormigón a la vista:

$$D_n < 1,5c ; \quad c = \text{espesor de recubrimiento}$$

- Pavimentos:

$$D_n < 1/4 h ; \quad h = \text{altura del pavimento}$$

⇒ IDIEM propone además:

$$D_n \leq 1/3 b \quad \text{para elementos prefabricados.}$$

$$D_n = 6'' \quad \text{para hormigón masivo (represas)}$$



Tabla 13: Tamaño Máximo Recomendado (mm.) en función de la Dimensión Mínima de la Sección (NCh170 Of.85)

Dimensión Mínima de la Sección (cm)	Tamaño Máximo Recomendado en [mm.]			
	Muros armados, vigas y pilares	Muros sin armadura	Losas muy armadas	Losa débilmente armada o sin armadura.
6 - 12	10 - 20	20	20 - 25	20 - 40
12 - 30	20 - 40	40	25 - 40	40 - 75
30 - 70	40 - 75	75	40 - 75	- 75
> 70	40 - 75	150	40 - 75	75 - 150



➤ Dosis de Agua

Tabla 14: Volumen Estimado de Agua Libre de Amasado [litros] (NCh170 Of.85)

Tamaño máximo nominal [mm]	Docilidad según descenso de cono [cm]				
	0 - 2	3 - 5	6 - 9	10 - 15	16
63	135	145	155	165	170
50	145	155	165	175	180
40	150	160	170	180	185
25	170	180	190	200	205
20	175	185	195	205	210
12	185	200	210	220	230
10	190	205	215	230	240

- NOTAS:**
- La dosis de agua de amasado estimada tiene que ser ajustada en mezclas de prueba para cumplir con la docilidad requerida para la obra. Para esto, tiene que considerarse los aditivos plastificantes si están especificados, la proporción y la forma de los áridos.
 - La dosis de agua de amasado debe ser corregida por el agua absorbida por los áridos ya que en la tabla se consideran en condición sss.
 - Los aditivos solubles o líquidos se consideran como parte del agua libre o de amasado.

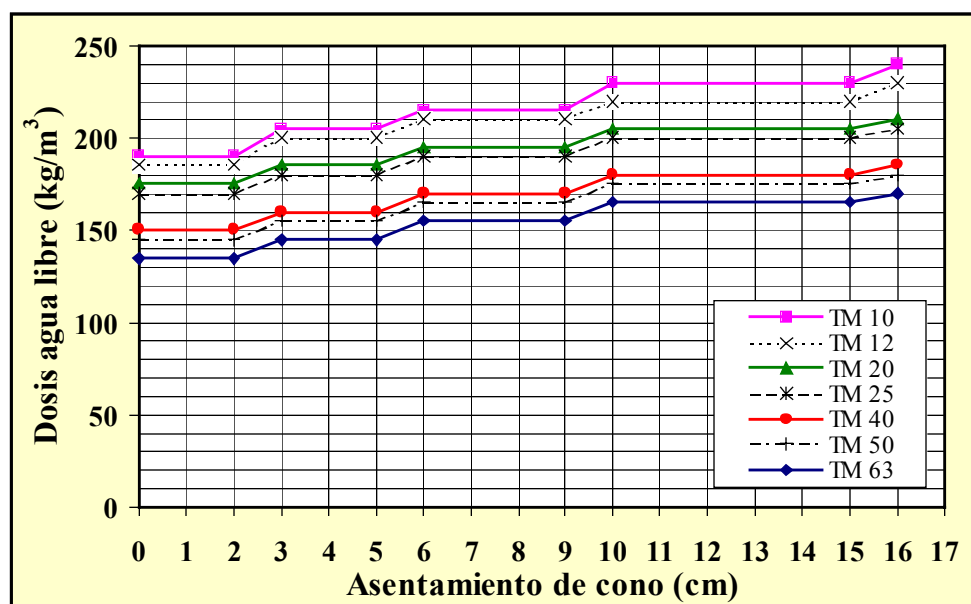


Fig. 6: Relación Cono - Agua Libre (NCh170 Of.85)

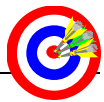


Tabla 15: Dosis de agua libre aproximada requerida para varios niveles de trabajabilidad (Método Inglés 1988 modificado por DICTUC)

Arido		Dosis de agua libre (kg/m ³) para:				
Tamaño máximo [mm]	Tipo de árido	Asentamiento de cono [cm]	0 - 1	1 - 3	3 - 6	6 - 18
		Vebe [s]	> 12	6 - 12	3 - 6	0 - 3
10	Rondado		150	180	205	225
	Chancado		180	205	230	250
20	Rondado		135 (135)	160 (160)	180 (180)	195 (195)
	Chancado		160 (170)	170 (190)	190 (210)	215 (225)
40	Rondado		115 (115)	140 (140)	160 (160)	175 (175)
	Chancado		140 (155)	160 (175)	180 (190)	195 (205)

NOTAS: 1.- En itálicas valores originales propuestos por Método Inglés.

2.- Cuando el árido grueso y la arena son de diferente tipo, la dosis de agua libre se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$W = \frac{2}{3} W_a + \frac{1}{3} W_g$$

donde W_a = dosis de agua para tipo de árido de la arena
 W_g = dosis de agua para tipo de árido del árido grueso

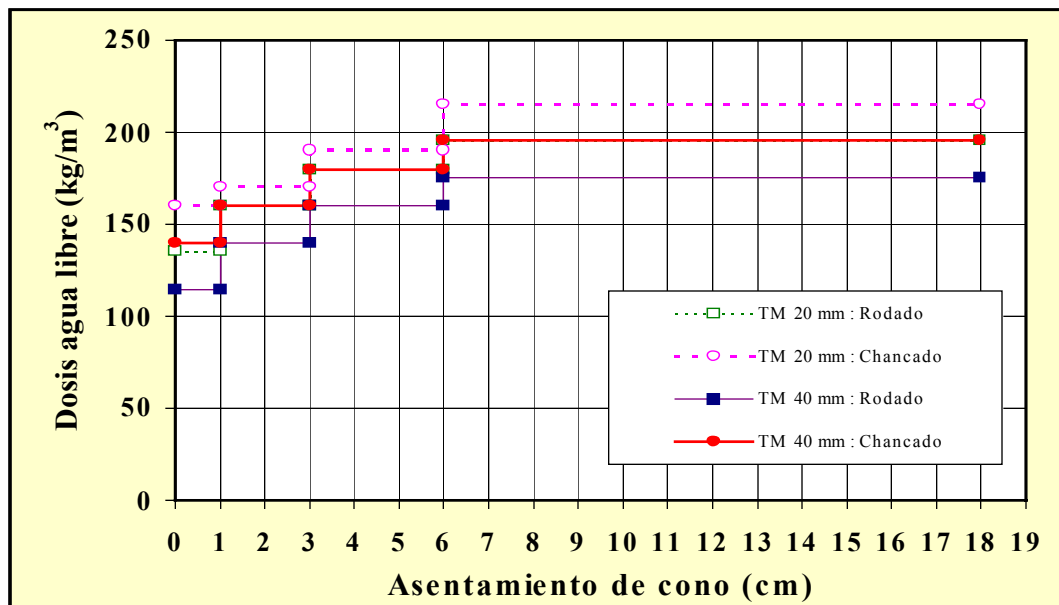
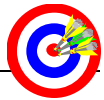


Fig. 7: Relación Cono - Agua Libre (Método Inglés 1988 modificado por DICTUC)



⇒ **Efecto del aire incorporado en la Trabajabilidad (BSI 1988)**

El efecto en la mayoría de los casos es producir una mezcla con una trabajabilidad en la siguiente categoría más trabajable de las indicadas en Tabla 5, para una dosis de agua dada.

⇒ **Efecto de las Cenizas Volantes en la Trabajabilidad (BSI 1988)**

Tabla 16: Reducción de la dosis de agua libre de la Tabla 15 cuando se usa ceniza volante (PFA = Pulverized Fuel Ash o Fly Ash)

Porcentaje de Ceniza volante en el material cementicio	Reducción de la dosis de agua (kg/m ³) para:				
	Asentamiento de cono [cm]	0 - 1	1 - 3	3 - 6	6 - 10
	Vebe [s]	> 12	6 - 12	3 - 6	0 - 3
10		5	5	5	10
20		10	10	10	15
30		15	15	20	20
40		20	20	25	25
50		25	25	30	30



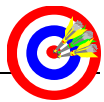
➤ *Dosis de Cemento*

Determinada la razón W/C y la dosis de agua, la cantidad de cemento está dada por la fórmula:

$$C = \frac{W}{W/C} \quad (\text{kg/m}^3)$$

Tabla 17: Dosis mínimas de cemento (NCh 170 Of.85)

Dosis Mínima de Cemento [kg/m³]	
Hormigón armado protegido de la intemperie	240
Hormigón armado expuesto a la intemperie	270
Hormigón armado no controlado (grado < H20)	300
Hormigón simple no controlado	170



➤ **Dosis de Aire**

⇒ **Hormigones corrientes**

Tabla 18: Aire promedio atrapado (NCh170 Of.85)

Tamaño máximo nominal [mm]	Volumen medio de aire atrapado [m³]
63	0,003
50	0,005
40	0,010
25	0,015
20	0,020
12	0,025
10	0,030

⇒ **Hormigones con aditivos incorporadores de aire**

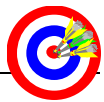
Tabla 19: Contenido de aire (NCh170 Of.85)

Tamaño máximo nominal del árido [mm]	Contenido de aire [%]
10	6
13	5,5
19	5
25	4,5
38	4,5
50 (*)	4

NOTAS :

- Tolerancia = $\pm 1,5$
- Para hormigones grado superior a H35 contenido de aire de tabla se pueden reducir en 1%.

(*) Al comprobar el contenido de aire en este caso, se debe remover todo el árido con tamaño mayor que 38 mm y la determinación se hará en la fracción de tamaño inferior a 38 mm y se aplica una tolerancia de $\pm 1,0$.



➤ Densidad del Hormigón Fresco Compactado

Se calcula a partir del tipo de árido a usar.

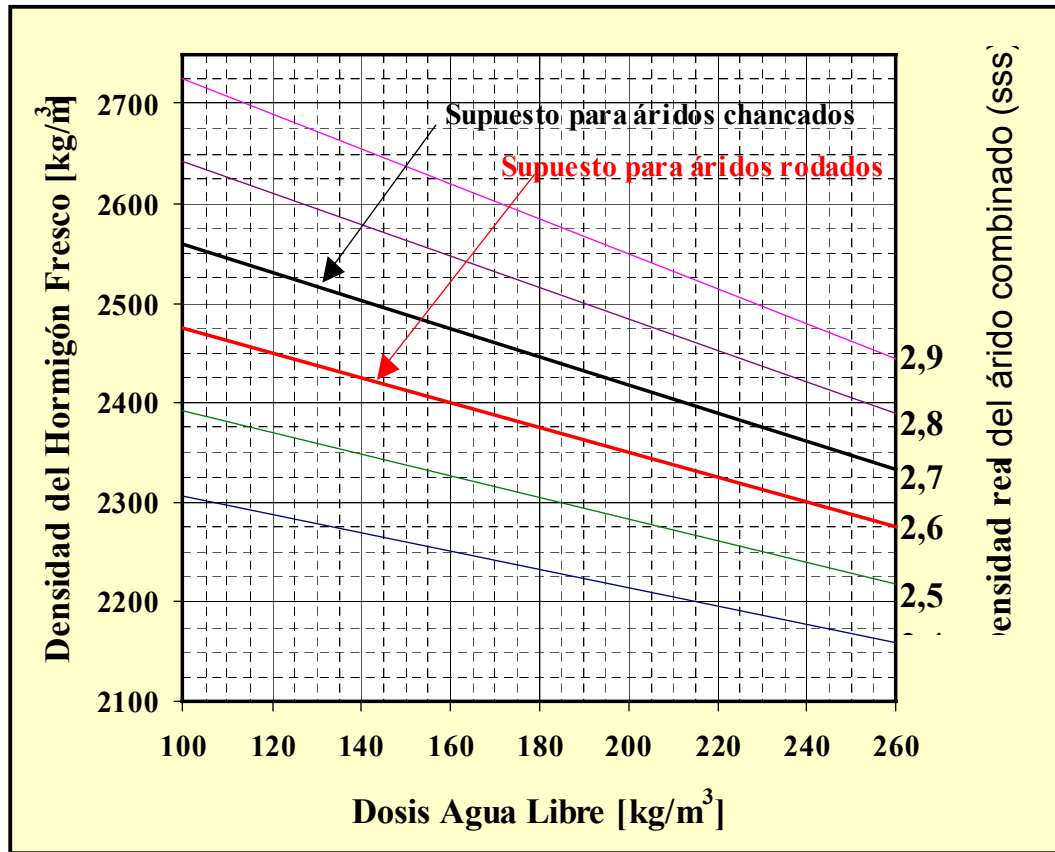


Fig. 8: Densidad estimada del hormigón fresco totalmente compactado, a partir de la dosis de agua y la densidad real de los áridos (BS 1988)

⇒ Densidad de mezclas con aire incorporado

La estimación de la densidad de mezclas con aire incorporado se puede hacer usando la Fig. 8. El valor correcto se obtiene restando de la densidad fresca de la Fig. 8, el valor :

$$10 \cdot a \cdot \gamma_a$$

donde: a = porcentaje en volumen de aire incorporado requerido

γ_a = densidad real del árido calculado en condición sss. Cuando no se conoce se puede hacer una aproximación suponiendo un valor 2,6 ó 2,7 para áridos rodados o chancados, respectivamente.





➤ *Dosis de Áridos*

La dosis del árido total se calcula restando de la densidad del hormigón las dosis del cemento y del agua:

$$\text{Dosis total de árido : } A = D - C - W$$

con D = densidad hormigón fresco compactado [kg/m^3]
 C = dosis cemento [kg/m^3]
 W = dosis agua libre [kg/m^3]

La proporción adecuada de los áridos gruesos y finos debe ajustarse a:

- Que proporcione un hormigón de:
 - Máxima compacidad
 - Docilidad adecuada para condiciones de obra
- Considerar características de los áridos disponibles
 - Granulometría
 - Densidad
 - Textura
 - Forma
- Proporciones de los áridos determinadas considerando
 - Granulometría de cada uno de los áridos
 - Granulometría del árido combinado



➤ **Bandas granulométricas recomendadas.**

⇒ **Norma NCh 163 Of.79**

Tabla 20 : Bandas granulométricas (NCh163 Of.79)

Tamiz mm	Tamaño máximo 10mm				Tamaño máximo 20mm			
	D	A	B	C	D	A	B	C
40	100	100	100	100	100	100	100	100
20	100	100	100	100	100	100	100	100
10	100	100	100	100	30	62	77	88
5	30	61	74	87	30	37	58	75
2,5	30	37	56	73	30	22	43	63
1,25	30	22	41	59		13	33	52
0,63		13	27	43		8	23	38
0,32		5	13	26		4	12	23
0,16		3	7	10		3	6	9

Tamiz Mm	Tamaño máximo 40mm				Tamaño máximo 80mm			
	D	A	B	C	D	A	B	C
80	100	100	100	100	100	100	100	100
40	100	100	100	100	30	70	80	90
20	30	60	80	90	30	45	65	80
10	30	40	61	80	30	30	50	70
5	30	24	48	66	30	20	40	60
2,5		15	37	55		12	30	50
1,25		10	28	42		7	25	40
0,63		6	19	30		4	17	28
0,32		3	11	19		3	9	17
0,16		2	5	8		2	4	7

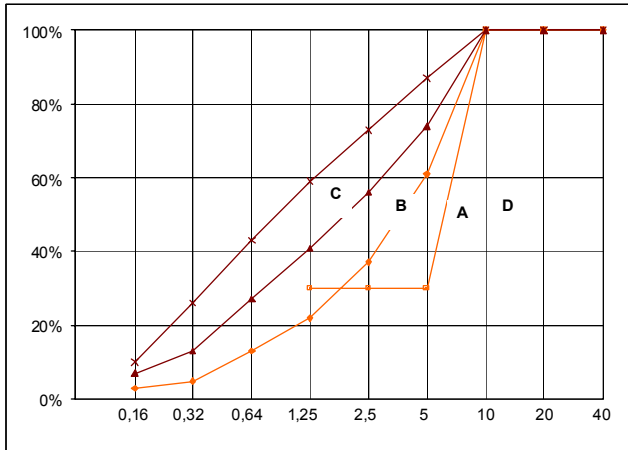
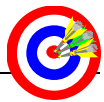


Fig. 9: Curvas granulométricas recomendadas para un árido tamaño máximo de 10 mm (NCh163 Of.75)

Fig. 10: Curvas granulométricas recomendadas para un árido tamaño máximo de 20 mm (NCh163 Of.75)

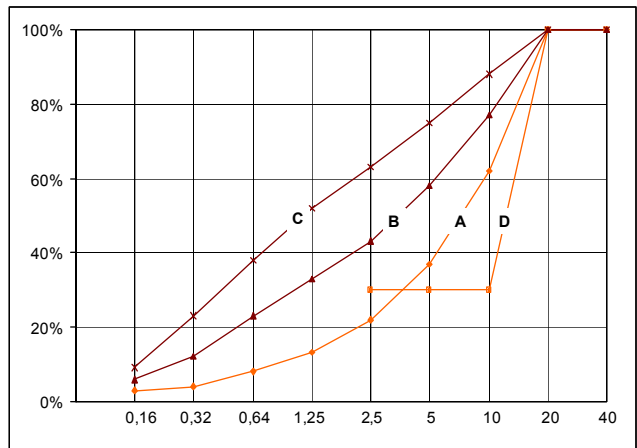


Fig. 11: Curvas granulométricas recomendadas para un árido tamaño máximo de 40 mm (NCh163 Of.75)

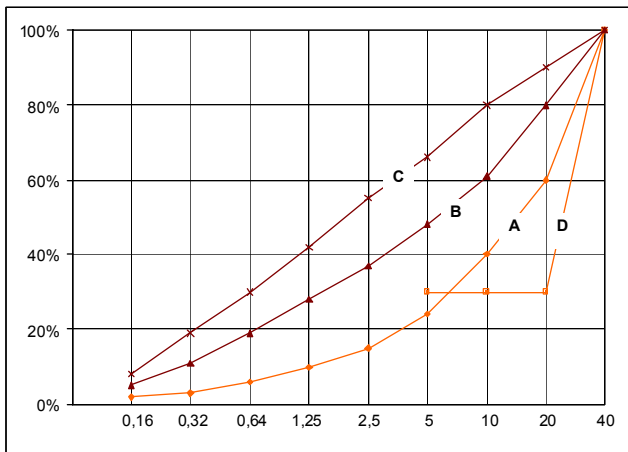
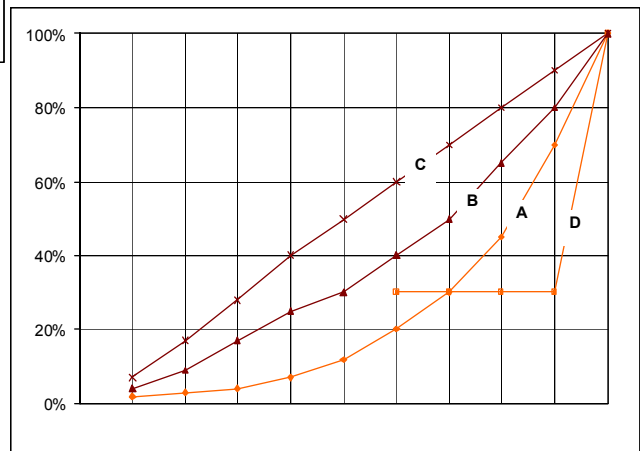
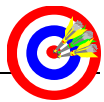


Fig. 12: Curvas granulométricas recomendadas para un árido tamaño máximo de 80 mm (NCh163 Of.75)





⇒ Norma Inglesa Road Research Note N°4

Tabla 21 : Curvas granulométricas recomendadas (Road Note N°4)

Tamiz mm	Tamaño máx. 40 mm				Tamaño máx. 20 mm				Tamaño máx. 10 mm			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
40	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20	50	59	67	75	100	100	100	100	100	100	100	100
10	36	44	52	60	45	55	65	75	100	100	100	100
5	24	32	40	47	30	35	42	48	30	45	60	75
2,5	18	25	31	38	23	28	35	42	20	33	46	60
1,25	12	17	24	30	16	21	28	34	16	26	37	46
0,63	7	12	17	23	9	14	21	27	12	19	28	34
0,32	3	7	11	15	2	3	5	12	4	8	14	20
0,16	0	0	2	5	0	0	0	1,5	0	1	3	6

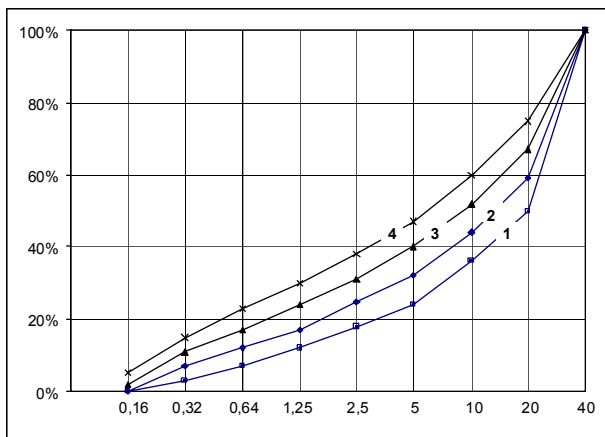


Fig. 14: Curva granulométrica recomendada para áridos tamaño máximo de 20 mm (Road Note N°4)

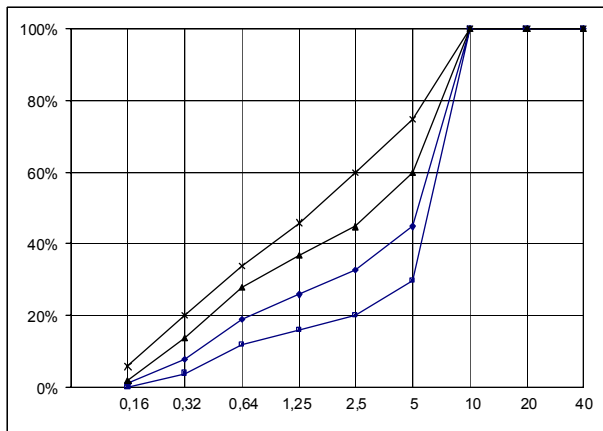


Fig. 13: Curva granulométrica recomendada para áridos tamaño máximo de 40 mm (Road Note N°4)

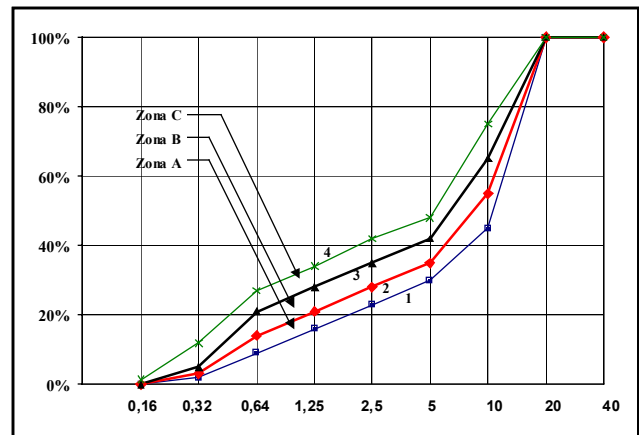


Fig. 15: Curva granulométrica recomendada para áridos tamaño máximo de 10 mm



(Road Note N°4)

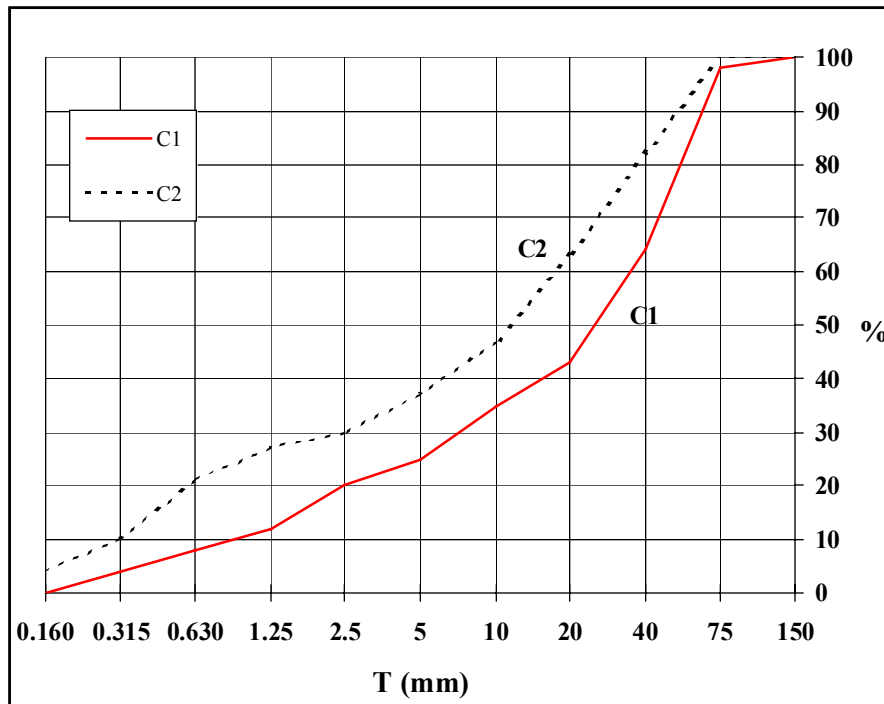
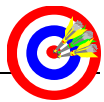


Fig. 16: Curva granulométrica recomendada para áridos tamaño máximo de 76,2 mm (McIntosh)

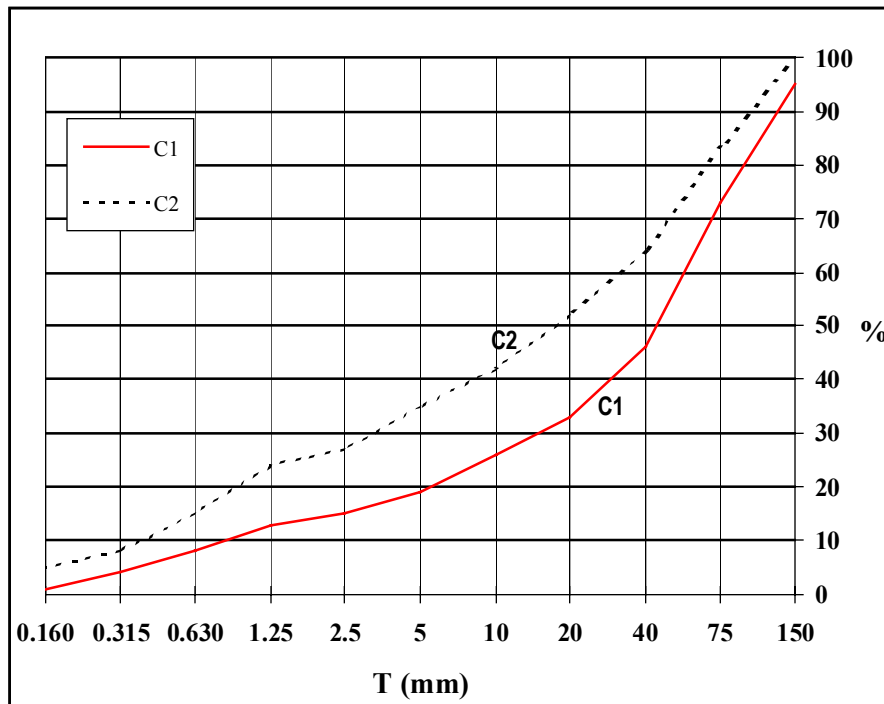


Fig. 17: Curva granulométrica recomendada para áridos tamaño máximo de 152,4 mm (McIntosh)



⇒ Significado de las bandas granulométricas

✓ Curvas y Bandas Norma NCh 163 Of.79

- Zona 1:** Curvas límites C y D
Zona aceptable para granulometrías discontinuas.
- Zona 2:** Curvas límites A y B
Zona preferida.
- Zona 3:** Curvas límites B y C
Aceptable, pero requiere más cemento y agua.
- Curva A:** Granulometría más gruesa.
Relativamente trabajable.
Usar en mezclas con baja razón W/C o mezclas ricas.
Verificar que no exista segregación.
- Curva C:** Granulometría más fina.
Cohesiva.
No muy trabajable.
- Curva D:** Granulometría discontinua.
Peligro segregación.
Si hay exceso de tamaños intermedios será áspera y difícil de compactar.



✓ Curvas Road Note N°4

Zona A: Curvas límites 1 y 2
Zona aceptable para granulometrías discontinuas.
Hormigones de pavimentos

Zona B: Curvas límites 2 y 3
Zona preferida.
Hormigones corrientes

Zona C: Curvas límites 3 y 4
Aceptable, pero requiere más cemento y agua.
Hormigones bombeados

Curva 1: Granulometría más gruesa.
Relativamente trabajable.
Usar en mezclas con baja razón W/C o mezclas ricas.
Verificar que no exista segregación.

Curva 4: Granulometría más fina.
Cohesiva pero no muy trabajable.
Un exceso de partículas entre 1,25 y 5 mm producirá hormigón aspero.
Requiere una mayor dosis de agua para una trabajabilidad dada.

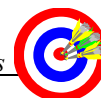
La curva del árido combinado debe tener en lo posible una forma similar (paralela) a las curvas límites y no debe cruzar de una zona a otra (peligro segregación o dificultad compactación).



➤ *Métodos para el proporcionamiento de los áridos*

La Norma Chilena no establece procedimientos para encontrar la proporción de los áridos que permita satisfacer la banda recomendada, por lo que se puede seguir cualquier procedimiento, como por ejemplo :

- Por tanteo
- Proporción geométrica
- Planteando un sistema de ecuaciones
- Por mínimos cuadrados



⇒ Por tanteo

Consiste básicamente en determinar las cantidades de cada uno de los áridos a utilizar por medio de tanteos y verificar la bondad del ajuste en un gráfico. Una planilla Excel, permite realizar rápidamente muchas iteraciones.

Tabla 22: Ejemplo ajuste de 3 áridos (G, g, a) mediante tanteos.

PROP. PESO SUPUESTA	Grava	Gravilla	Arena 1	Arena 2	Mezcla	Tanteo	Tanteo
	37.0	30.0	33.0		OK	1	2
Tamiz (mm)	% pasa en peso						
80	100	100	100		100	100	100
40	100	100	100		100	100	100
20	15	80	100		63	75	59
10	0	45	100		47	58	41
5		15	95		36	44	29
2.5		0	85		28	34	21
1.25			62		20	25	16
0.63			43		14	17	11
0.315			25		8	10	6
0.16			4		1	2	1
TANTEO 1	20.0	40.0	40.0			OK	
TANTEO 2	40.0	35.0	25.0				OK

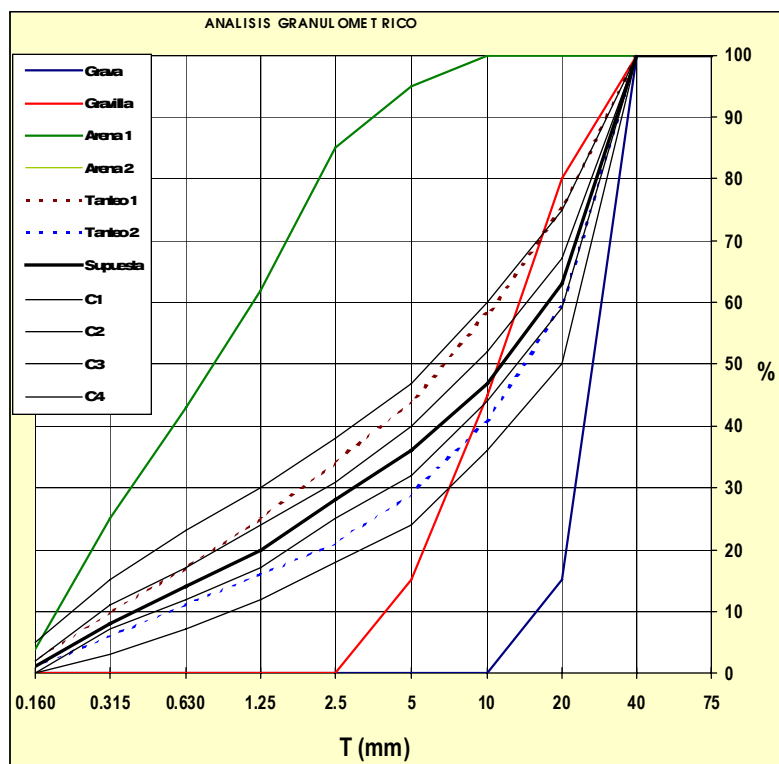


Fig. 18: Ejemplo proporcionamiento de áridos por tanteo



⇒ Por mínimos cuadrados

El método con mejores resultados es el método por mínimos cuadrados:

Tabla 23: Ejemplo ajuste de 3 áridos (A, B, C) mediante mínimos cuadrados.

Tamiz	A	B	C	Objetivo	f(A,B,C)	EC
40	100%	100%	100%	100%	100%	-
20	100%	95%	12%	59%	60%	0.017
10	100%	45%	0%	44%	43%	0.009
5	91%	10%		32%	31%	0.005
2.5	73%	0%		25%	23%	0.002
1.25	61%			16%	19%	0.007
0.63	44%			13%	14%	0.002
0.32	20%			6%	6%	0.000
0.16	5%			0%	2%	0.000
	α_0	β_0	γ_0			
%	40%	30%	30%	Suma EC		0.043

Este método consiste en minimizar el cuadrado de las diferencias entre una curva objetivo y otra obtenida con parámetros iniciales: α_0 , β_0 y $\gamma_0 = 1 - \alpha_0 - \beta_0$; por ejemplo, con $\alpha_0 = 40\%$, $\beta_0 = 30\%$ y $\gamma_0 = 1 - 40\% - 30\% = 30\%$. Con estos valores la suma de los E.C. es 0,043.

En un programa como Excel, la celda de la suma de los E.C. se le entrega al Solver como objetivo a minimizar y las celdas de las proporciones iniciales $\alpha_0 = 40\%$, $\beta_0 = 30\%$ y $\gamma_0 = 30\%$. El solver entregará en estas últimas los porcentajes que minimizan la celda objetivo.

Tabla 24: Ejemplo resultados ajuste de 3 áridos (A, B, C) usando Excel.

Tamiz	A	B	C	Objetivo	f(A,B,C)	EC
40	100%	100%	100%	100%	100%	-
20	100%	95%	12%	59%	60%	0.000
10	100%	45%	0%	44%	43%	0.000
5	91%	10%		32%	31%	0.000
2.5	73%	0%		25%	23%	0.000
1.25	61%			16%	19%	0.001
0.63	44%			13%	14%	0.000
0.32	20%			6%	6%	0.000
0.16	5%			0%	2%	0.000
	α_0	β_0	γ_0			



%	32%	24%	44%	Suma EC	0.002
----------	-----	-----	-----	----------------	-------

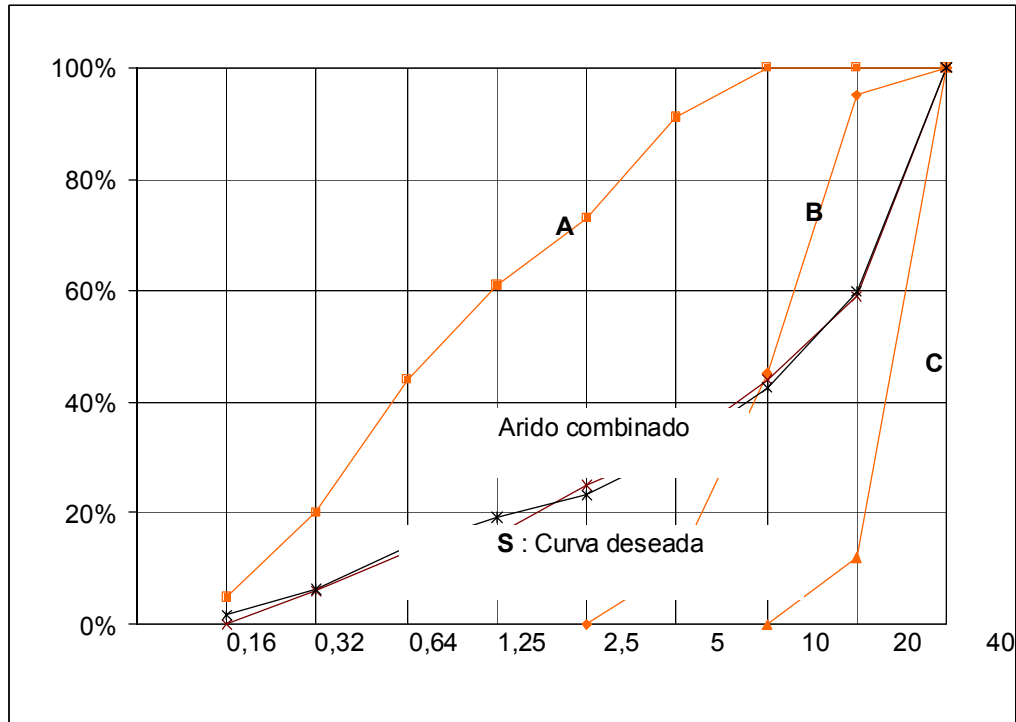
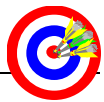


Fig. 19: Ejemplo ajuste de 3 áridos (A,B,C) mediante mínimos cuadrados.

⇒ Método Inglés

El método inglés utiliza la Fig. 20 para determinar las proporciones entre dos áridos utilizando el porcentaje de finos que pasa la malla 0,60mm., el asentamiento de cono o tiempo Vebe especificado y la razón W/C.

Además el Método Inglés de 1975 sugiere las siguientes combinaciones para el árido grueso:

1 : 2 para combinación áridos tamaño máximo 10 y 20 mm.

1 : 1,5 : 3 para combinación áridos tamaño máximo 10, 20 y 40 mm.

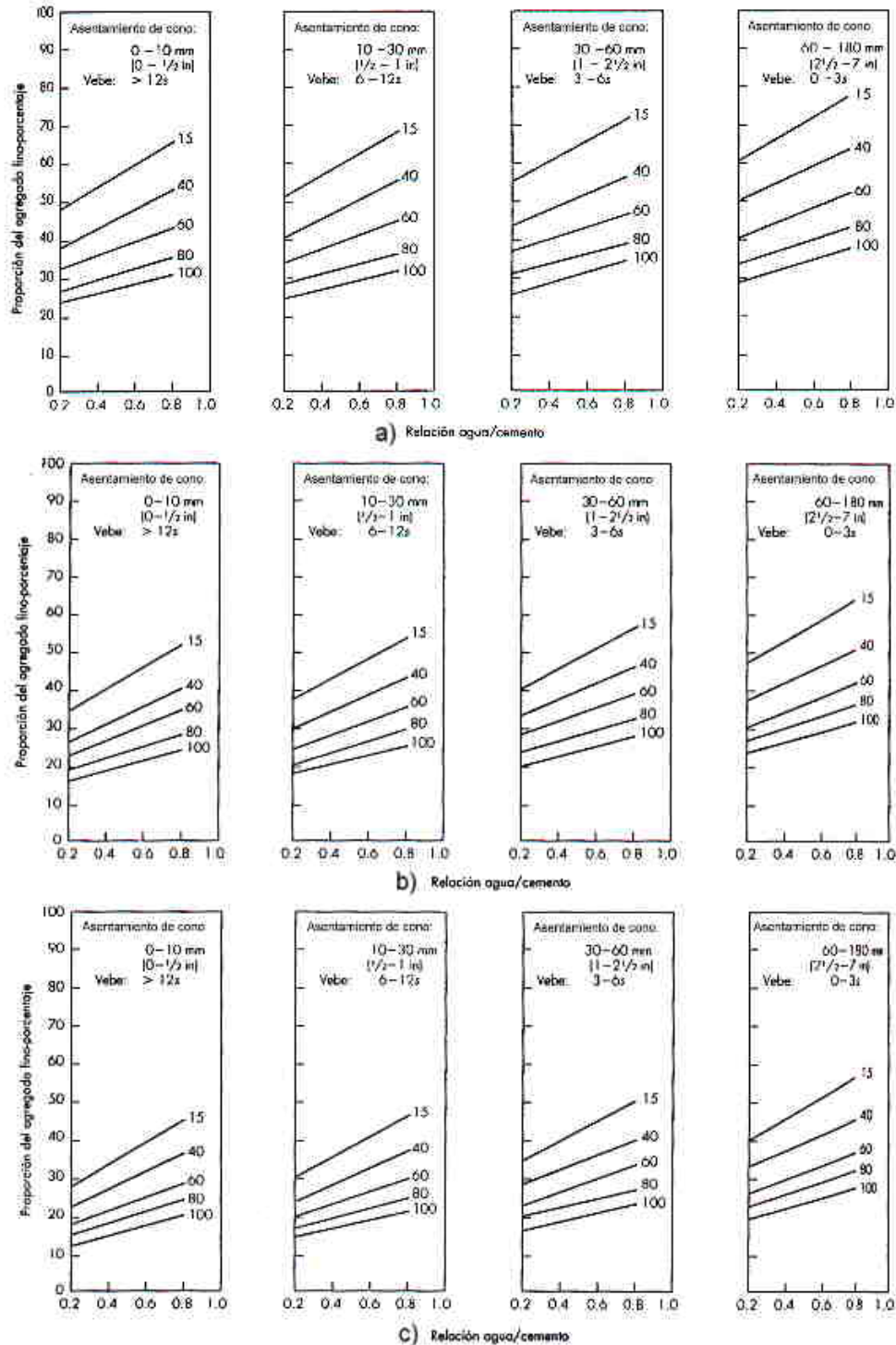
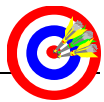
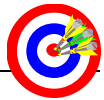


Fig. 20: Porcentaje recomendado de arena en el árido total como una función de la relación Agua libre /Cemento para varios valores de trabajabilidad y tamaño máximo del árido: a) 10mm, b) 20 mm, c) 40 mm. Los números en cada gráfica indican el porcentaje de finos que pasan por la malla de 0,6 mm. (BS 1988)



➤ Ejemplos de Dosificación usando el Método Inglés

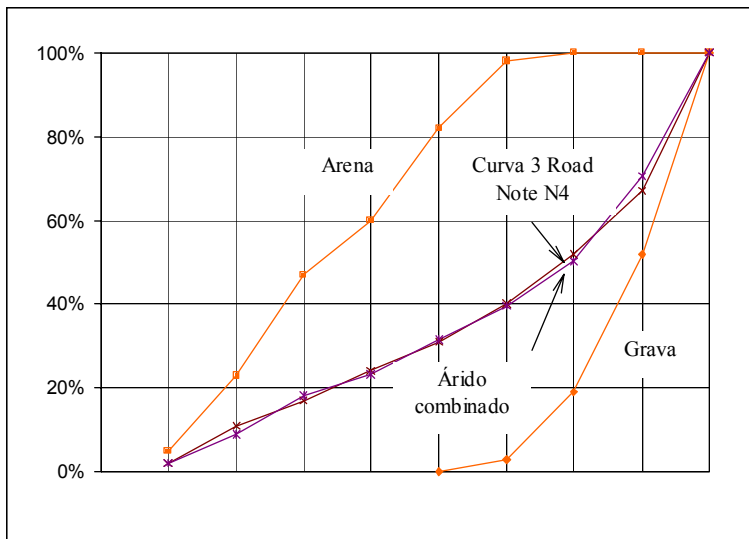
Ejemplo A

Propiedad Aridos	Arena	Grava
Tipo	Rodada	Chanc.
Densidad Aparente [kg/dm ³]	1,80	1,65
Peso específico	2,70	2,70

Tamiz [mm]	Arena	Grava
40	100%	100%
20	100%	52%
10	100%	19%
5	98%	3%
2.5	82%	0%
1.25	60%	
0.63	47%	
0.32	23%	
0.16	5%	

- ✓ Dosificar utilizando el Método Inglés un hormigón de 30 MPa a 28 días con 5% de defectuosos para una losa de 15 cm de espesor y enfierradura $\phi 10@20$. Esta losa estará protegida de la intemperie, de ciclos hielo-deshielo y de sales.
- ✓ Se conoce la desviación estándar de la obra : $s = 4$ MPa.
- ✓ Se usará hormigón convencional compactado con vibrador de inmersión y transportado con grúa y capacho.
- ✓ Utilizar los áridos dados. Ajustar a la curva 3 del Road Note N°4.
- ✓ Utilizar Cemento Portland Puzolánico corriente.
- ✓ La densidad real del cemento es 3 kg/dm^3 .

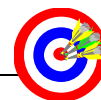
Aplicando el método de los mínimos cuadrados (después de verificar que sirve el Tamaño Máximo = 40 mm)



$$\alpha_{\text{Arena}} = 31\%$$

$$\alpha_{\text{Grava}} = 69\%$$

Fig. Ejemplo A.



• METODO ACI 211.1-81 (revisada 1985)

El método del American Concrete Institute se basa en tablas empíricas mediante las cuales se determinan las condiciones de partida y la dosificación.

➤ *Determinación de la razón Agua/Cemento*

Las Tablas 25 y 26 definen la razón agua/cemento en función de la resistencia media y especificada para el hormigón, respectivamente, en probetas cilíndricas. Como estos valores no son aplicables a los cementos chilenos, se recomienda usar los indicados en Tabla 6.

La Tabla 27 (alternativamente Tabla 10), determina la razón agua/cemento máxima en función de las condiciones ambientales a que estará expuesto el hormigón durante su vida útil (en condiciones de exposición severa).

⇒ Por Condición de Resistencia

Tabla 25: Relación entre la razón Agua libre/Cemento y la resistencia promedio a compresión del hormigón (ACI 211.1- Rev. 85)

Resistencia promedio a compresión a 28 días *		Razón Agua libre/Cemento (en masa)	
MPa	psi	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
45	-	0,38	-
42	6000	0,41	-
40	-	0,43	-
35	5000	0,48	0,40
30	-	0,55	0,46
28	4000	0,57	0,48
25	-	0,62	0,53
21	3000	0,68	0,59
20	-	0,70	0,61
15	-	0,80	0,71
14	2000	0,82	0,74

(*) Medida en cilindros estándar. Valores son para un tamaño máximo del árido de 20 a 25 mm., para hormigón conteniendo no más del porcentaje de aire especificado (2 ó 6%) y para cemento Portland corriente (Tipo I).

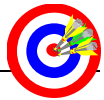


Tabla 26: Relación entre la razón Agua/Cemento y la resistencia a compresión específica a 28 días (ACI 318-83)

Resistencia específica a compresión a 28 días *		Razón Agua absoluta /Cemento (en masa)	
MPa	psi	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
32	4500	0,38	-
30	-	0,40	-
28	4000	0,44	0,35
25	-	0,50	0,39
26	3500	0,51	0,40
21	3000	0,58	0,46
20	-	0,60	0,49
17	-	0,66	0,54
18	2500	0,67	0,54

(*) Medida en cilindros estándar. Aplicable a cementos: Portland corriente (Tipos I, IA), Portland modificado (Tipos II, IIA), Portland de endurecimiento rápido (Tipos III, IIIA), Portland resistente a sulfatos (Tipo V); también Portland Siderúrgico (Tipos IS, IS-A) y Portland puzolánico (Tipos IP, P, I(PM), IP-A) incluyendo cementos de moderada resistencia a sulfatos (MS).

Nota: el uso de aditivos, aparte de incorporadores de aire, o áridos de baja densidad no es permitido. Los valores de razón Agua absoluta/Cemento son conservadores e incluyen cualquier agua absorbida por los áridos. Por lo tanto, con la mayoría de los materiales, estas razones Agua/Cemento proveerán resistencias promedio superiores a la especificada.



⇒ Por Condición de Durabilidad

Tabla 27: Máxima razón Agua/Cemento permitida para hormigón en exposición severa (basada en ACI 201.2R)

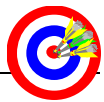
Tipo de estructura	Estructura frecuente o continuamente húmeda y expuesta a congelamiento y deshielo *	Estructura expuesta a agua de mar o sulfatos
Secciones delgadas (barandas, rejas, soleras, antepechos, anaqueles, trabajo ornamental) y secciones con menos que 5 mm de recubrimiento sobre el acero	0,45	0,40#
Otro tipo de estructuras	0,50	0,45#

(*) El hormigón debería tener también aire incorporado.

(#) Si se usa cemento resistente a sulfatos (Tipos II o V de ASTM C 150) se puede aumentar la razón Agua/Cemento permitida en 0,05.

ELEGIR LA MENOR RAZON W/C

ENTRE LAS DOS CONDICIONES



➤ *Determinación del tamaño máximo*

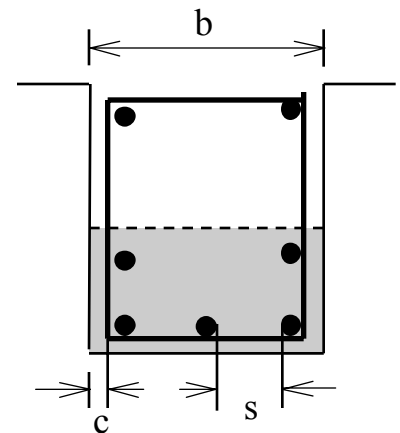
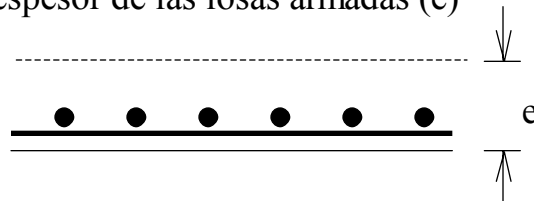
La determinación del tamaño máximo aceptable del árido más grueso de la dosificación del hormigón se efectúa con Tabla 28 que establece un rango de tamaños máximos aplicables a diversos elementos estructurales en función de la dimensión mínima de la sección. El TM debe precisarse en el rango señalado, aumentándolo mientras mayor sea la dimensión del elemento.

Tabla 28: Tamaño máximo recomendado (mm.) en función de la dimensión mínima de la sección (ACI)

Dimensión Mínima de la Sección (cm)	Tamaño Máximo Recomendado en [mm.]			
	Muros armados, vigas y pilares	Muros sin armadura	Losas muy armadas	Losa débilmente armada o sin armadura.
6 - 12	12,5 - 20	20	20 - 25	20 - 40
14 - 28	20 - 40	40	- 40	40 - 75
30 - 74	40 - 75	75	40 - 75	- 75
≥ 76	40 - 75	150	40 - 75	75 - 150

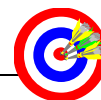
Según la norma ACI 211.1-81

$$D_n < \begin{cases} 1/5 \text{ de la menor dimensión interna del encofrado (b)} \\ 3/4 \text{ del espacio libre entre armaduras (s)} \\ 1/3 \text{ del espesor de las losas armadas (e)} \end{cases}$$



NOTAS: Usar el mayor tamaño máximo económicamente disponible y consistente con las dimensiones de la estructura.

Cuando se desea hormigón de alta resistencia se pueden obtener mejores resultados con el uso de áridos de menor tamaño máximo nominal ya que estos producen mayores resistencias para una razón W/C dada.



➤ *Determinación de la fluidez*

La fluidez que se desea otorgar al hormigón queda definida en este método en base al asentamiento de cono, el que se puede establecer usando como referencia la Tabla 29. Esta Tabla define un rango aceptable de asentamientos para diversos tipos de elementos estructurales. Debe señalarse que esta definición es relativamente imprecisa, pues, por una parte, el rango señalado es bastante amplio y, por otra, la gama de elementos estructurales considerados es restringida y delimitada en forma poco precisa.

Tabla 29: Asentamientos de cono recomendados para diferentes tipos de construcción (ACI 211.1 - Rev. 1985)

Tipo de construcción	Rango de Asentamiento de Cono [cm]
Fundaciones armados y bases	2 – 8
Fundaciones hormigón simple y muros de sub-estructura	2 – 8
Vigas y muros armados	2 – 10
Columnas de edificios	2 – 10
Pavimentos y losas	2 – 8
Hormigón masivo	2 – 8

Nota: Límites superiores pueden aumentarse en 2 [cm] para compactación manual.

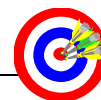
Por las razones expuestas, la determinación del asentamiento de cono más conveniente debe complementarse con otros elementos de juicio y la experiencia del usuario.

➤ *Determinación de la consistencia*

La consistencia más apropiada para el hormigón se establece en función de las proporciones de árido grueso y fino incorporadas y se determinada directamente al proceder al cálculo de las cantidades de áridos en la forma definida en la Tablas 32 o 33.

Uno de los parámetros de entrada considerados en ella lo constituye el módulo de finura de la arena, procedimiento que emplea este método para reflejar la influencia granulométrica de la arena.

El procedimiento señalado es bastante simple en su aplicación, pero adolece de falta de precisión en su definición.



➤ *Determinación de la dosis de agua*

Se emplea la Tabla 30 ó 31, que establece la cantidad de agua expresada en l/m³ de hormigón colocado y compactado, en función del asentamiento de cono definido y del tamaño máximo determinados anteriormente.

Se debe distinguirse el caso del empleo de aire incorporado, ya que éste permite una reducción de la dosis de agua por su efecto plastificador. Esta misma parte de la tabla puede emplearse en el caso de haber previsto el uso de un aditivo plastificador.

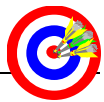
Tabla 30: Requerimientos aproximados para dosis de agua (kg/m³) y contenido de aire (%) para diferentes trabajabilidades y tamaños máximos nominales de áridos (ACI 211.1- Rev. 1985)

Trabajabilidad [cm] o contenido aire	Vebe [seg.]	Tamaño máximo del árido [mm.]							
		10	12,5	20	25	40	50	70	150
Hormigón sin aire incorporado									
3 – 5	5-3	205	200	185	180	160	155	145	125
8 – 10	3-0	225	215	200	195	175	170	160	140
15 – 18	0	240	230	210	205	185	180	170	-
Cantidad aire atrapado aproximado (%)		3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Hormigón con aire incorporado									
3 – 5	5-3	180	175	165	160	145	140	135	120
8 – 10	3-0	200	190	180	175	160	155	150	135
15 – 18	0	215	205	190	185	170	165	160	-
Cant. de aire total promedio recomendada (%)									
Exposición suave		4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5*	1,0*
Exposición moderada		6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5*	3,0*
Exposición extrema #		7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5*	4,0*

Valores de asentamiento para hormigón con árido mayor que 40 mm basados en ensayos de asentamiento hechos después de remover las partículas mayores a 40 mm por tamizado húmedo.

Dosis de agua para tamaños máximo nominal de 75 y 150 mm. son valores promedio para áridos gruesos razonablemente bien formados y bien graduados desde grueso a fino.

(*) Para hormigón que contiene áridos de gran tamaño y que será tamizado con agua en malla de 40 mm antes del ensayo de contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en el material menor que 40 mm debe ser aquel tabulado en la columna de 40mm. Sin embargo, los cálculos de dosificación inicial deberán estar basados en la dosis de aire como un porcentaje de la mezcla total.



(#) Estos valores están basados en el criterio que un contenido de aire de 9% se necesita en la fase mortero del hormigón.

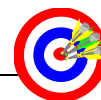
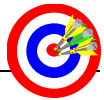


Tabla 31: Cantidad de agua y contenido de aire en [l/m³] recomendada para diferentes asentamientos y tamaños máximos de áridos (adaptación IDIEM a ACI 211)

Asentamiento [cm]	Vebe [seg]	Tamaño máximo de agregado [mm]							
		10	12,5	20	25	40	50	75	150
Hormigón sin aire incorporado									
0	32-18	178	168	158	148	138	128	-	-
0	18-10	188	183	168	158	148	138	128	-
0-2	10-5	198	193	178	168	158	148	139	-
2-6	5-3	208	198	183	178	163	154	144	124
8-10	3-0	228	218	203	193	178	168	158	139
16-18	0	243	228	213	203	188	178	168	148
Cant. aire atrapado aproximado		30	25	20	15	10	5	3	2
Hormigón con aire incorporado									
0	32-18	158	148	138	133	123	-	-	-
0	18-10	168	158	148	138	133	120	-	-
0-2	10-5	178	168	158	148	138	128	-	-
2-6	5-3	183	178	163	153	143	133	123	109
8-10	3-0	203	193	178	168	158	148	139	119
16-18	0	213	203	188	178	168	150	148	129
Cant. de aire total recomendada		80	70	60	50	45	40	35	30

Las dosis de agua dadas para hormigón con aire incorporado están basadas en requisitos típicos de dosis de aire total para exposición moderada. Estas cantidades de agua son para uso en el cálculo de la dosis de cemento para mezclas de prueba a 20 - 25°C. Son máximas para áridos angulares razonablemente bien formados graduados dentro de límites de especificaciones aceptadas. Áridos gruesos rodados requerirán generalmente 18 o 15 kg. de menos agua para hormigón sin o con aire incorporado, respectivamente. El uso de aditivos reductores de agua, ASTM C494, pueden también reducir la dosis de agua en 5% o más. El volumen de aditivos líquidos se incluye como parte del volumen total de agua de mezclado.

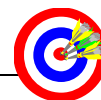


➤ *Determinación de la dosis de cemento*

La dosis de cemento se determina en base al cociente entre la dosis de agua determinada y la razón agua/cemento definida.

En el caso de haberse previsto el empleo de un incorporador de aire, la cantidad de aire incorporado debe sumarse a la dosis de agua para el efecto del cálculo de la dosis de cemento.

$$C = \frac{(W + a)}{W/C} \quad (\text{kg/m}^3)$$



➤ *Determinación de la dosis de grava*

Se determina a partir de la Tabla 32 ó 33 y 34, en función del módulo de finura de la arena y al tamaño máximo.

La dosis de grava aparece expresada en litros por metro cúbico, debiendo, en consecuencia, multiplicarse por la densidad aparente de la grava en caso de desear expresarla en kilos por metro cúbico, determinada en condición compactada en seco.

Tabla 32: Volumen aparente de árido grueso seco por metro cúbico de hormigón [l/m³] (ACI 211.1- Rev. 1985)

Tamaño máximo del árido [mm.]	Volumen aparente seco compactado de árido grueso * para Módulo de Finura de la Arena de:			
	2,40	2,60	2,80	3,00
10	500 (460)	480 (440)	460 (420)	440 (400)
12,5	590 (550)	570 (530)	550 (510)	530 (490)
20	660 (650)	640 (630)	620 (610)	600 (590)
25	710 (700)	690 (680)	670 (660)	650 (640)
40	750 (760)	730 (740)	710 (720)	690 (700)
50	780 (790)	760 (770)	740 (750)	720 (730)
75	820 (840)	800 (820)	780 (800)	760 (780)
150	870 (900)	850 (880)	830 (860)	810 (840)

* Entre paréntesis valores propuestos por Zabaleta.

Los valores dados producirán una mezcla con trabajabilidad satisfactoria para construcción de hormigón armado. Para hormigón menos trabajable, por ejemplo el usado en pavimentos, los valores pueden ser aumentados alrededor de un 10%. Para hormigón más trabajable, tales como bombeados, los valores se pueden reducir en hasta un 10%.

La masa seca de árido grueso en kg/m³ requerida para un metro cúbico de hormigón es igual al valor de la tabla multiplicada por la densidad aparente seca compactada del árido.



IDIEM y Zabaleta proponen otros valores para usar el método ACI calibrado a condiciones chilenas. Particularmente, IDIEM aumenta o disminuye en 10 litros/m³, para tamaños máximos de 40 y 75 mm, respectivamente, los volúmenes propuestos por ACI y los especifica sólo para un asentamiento de cono = 10 cm.

Tabla 33: Volumen aparente de árido grueso por unidad de volumen de hormigón [l/m³] (IDIEM y Zabaleta)

Tamaño máximo del árido [mm.]	Volumen aparente seco compactado de árido grueso * para Módulo de Finura de la Arena de:			
	2,40	2,60	2,80	3,00
10	500 (460)	480 (440)	460 (420)	440 (400)
12,5	590 (550)	570 (530)	550 (510)	530 (490)
20	660 (650)	640 (630)	620 (610)	600 (590)
25	710 (700)	690 (680)	670 (660)	650 (640)
40	760 (760)	740 (740)	720 (720)	700 (700)
50	780 (790)	760 (770)	740 (750)	720 (730)
75	810 (840)	790 (820)	770 (800)	750 (780)
150	870 (900)	850 (880)	830 (860)	810 (840)

* Entre paréntesis valores propuestos por Zabaleta.

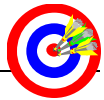
** Valores de IDIEM son para descenso de cono = 10 cm. = V^*_{G10}

Para usar éstos valores con otro asentamiento el IDIEM creó la Tabla de factores de corrección K, en que el volumen aparente de árido grueso viene dada por:

$$V^*_G = K * V^*_{G10}$$

Tabla 34: Factores de corrección K de la dosis de árido grueso método IDIEM.

Asentamiento [cm]	Vebe [seg]	Tamaño Máximo árido (mm)							
		10	12,5	20	25	40	50	75	150
0	32 – 18	1,45	1,35	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12
0	18 – 10	1,30	1,22	1,15	1,12	1,12	1,14	1,10	1,08
0 – 2	10 – 5	1,18	1,15	1,08	1,08	1,10	1,10	1,10	1,10
2 – 6	5 – 3	1,04	1,03	1,02	1,02	1,04	1,04	1,04	1,04
8 – 10	3 – 0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
14 – 18	0	0,97	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00



➤ *Determinación de la dosis de arena*

⇒ **Método Volumétrico:**

Se determina partiendo del hecho que la suma de los volúmenes absolutos de agua, cemento, aire incorporado (o atrapado), grava y arena debe ser igual a un metro cúbico. Ello permite definir el volumen absoluto de arena, el cual, multiplicado por la densidad real (peso específico) de la arena, conduce al valor de la dosis de arena, expresada en kilos por metro cúbico.

La masa de árido fino o arena, A_f , está dada por:

$$A_f \quad [\text{kg/m}^3] = \gamma_f \left[1000 - \left(W + \frac{C}{\gamma} + \frac{A_g}{\gamma_g} + 10a \right) \right]$$

en que:

γ_f = densidad real sss o peso específico del árido fino (arena).

γ_g = densidad real sss o peso específico del árido grueso (grava).

γ = peso específico del cemento (generalmente 3,15 en USA y 3,0 en Chile)

A_g = dosis de árido grueso o grava

a = dosis de aire (%)

C = dosis de cemento (kg/m^3)

W = dosis de agua (kg/m^3)

⇒ **Método de Densidad:**

También se puede determinar del hecho que la suma de las dosis en peso de los distintos materiales es igual a la densidad o peso por m^3 del hormigón. Para esto se utiliza un valor estimado de la densidad dado por la Tabla 35.

$$\text{Dosis de arena: } A_f = D - C - W - A_g$$

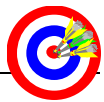
con D = densidad hormigón fresco compactado [kg/m^3]

C = dosis cemento [kg/m^3]

W = dosis agua libre [kg/m^3]



A_g = dosis de árido grueso o grava



➤ *Cálculo de la Densidad Fresca del Hormigón*

Tabla 35: Primera estimación de la densidad del hormigón fresco. (ACI 211.1-Rev. 1985)

Tamaño máximo del árido [mm]	Primera estimación de la densidad del hormigón fresco	
	Sin aire incorporado [kg/m ³]	Con aire incorporado [kg/m ³]
10	2280	2200
12,5	2310	2230
20	2345	2275
25	2380	2290
40	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Una forma más precisa de estimar la densidad del hormigón fresco compactado se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\rho \text{ [kg/m}^3\text{]} = 10\gamma_a(100 - a) + C\left(1 - \frac{\gamma_a}{\gamma}\right) - W(\gamma_a - 1)$$

en que:

ρ = densidad del hormigón fresco

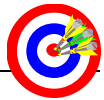
γ_a = densidad real sss o peso específico ponderado del árido combinado fino y grueso. Claramente, esto requiere ser determinado de ensayos.

γ = peso específico del cemento (generalmente 3,15 en USA y 3,0 en Chile)

a = dosis de aire (%)

C = dosis de cemento (kg/m³)

W = dosis de agua (kg/m³)



➤ *Comentarios y Limitaciones*

Los conceptos contenidos en los párrafos anteriores permiten señalar algunos antecedentes en relación con la aplicación del Método de Dosificación del American Concrete Institute:

✓ Definición de parámetros previos a la determinación de la dosificación.

El empleo del Método hace necesario el conocimiento de algunas características de los materiales que se emplearán para su aplicación, los cuales pueden resumirse en la siguiente lista:

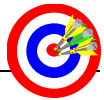
- Densidad real (peso específico) y densidad aparente compactada de la grava.
- Granulometría y densidad real (peso específico) de la arena.
- Características geométricas del elemento estructural que se va a hormigonar.

a los cuales deben agregarse los señalados en los conceptos generales sobre dosificación: tipo de cemento y empleo de aditivos.

✓ Limitaciones del método:

Tal como se señaló anteriormente, una de las principales limitaciones del método lo constituye el hecho de poder emplearse sólo con dos áridos.

Adicionalmente, es necesario observar que su aplicación hace necesario que la grava presente una granulometría aceptable, cumpliendo las condiciones definidas en NCh 163, condición que se supone implícita, puesto que no se hace intervenir explícitamente en las tablas que se emplean.



➤ Ejemplos de Dosificación usando el Método ACI

Ejemplo B

Dosificar utilizando el Método ACI un hormigón H20 a 28 días con 10% de defectuosos para una losa de 15 cm. de espesor y enfierradura $\phi 12@15$.

Esta losa estará protegida.

Se conoce la desviación estándar de la obra : $s = 4$ MPa.

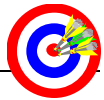
Se usará hormigón convencional compactado con vibrador de inmersión y transportado con grúa y capacho.

Se especifica uso de incorporador de aire.

Utilizar Cemento corriente.

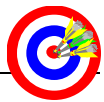
La densidad real del cemento es 3 kg/dm^3 .

Propiedad	Arena	Grava
Tipo	Rodada	Chanc.
Densidad Aparente [kg/dm^3]	1,800	1,650
Peso específico	2,650	2,700
M.F	2,85	

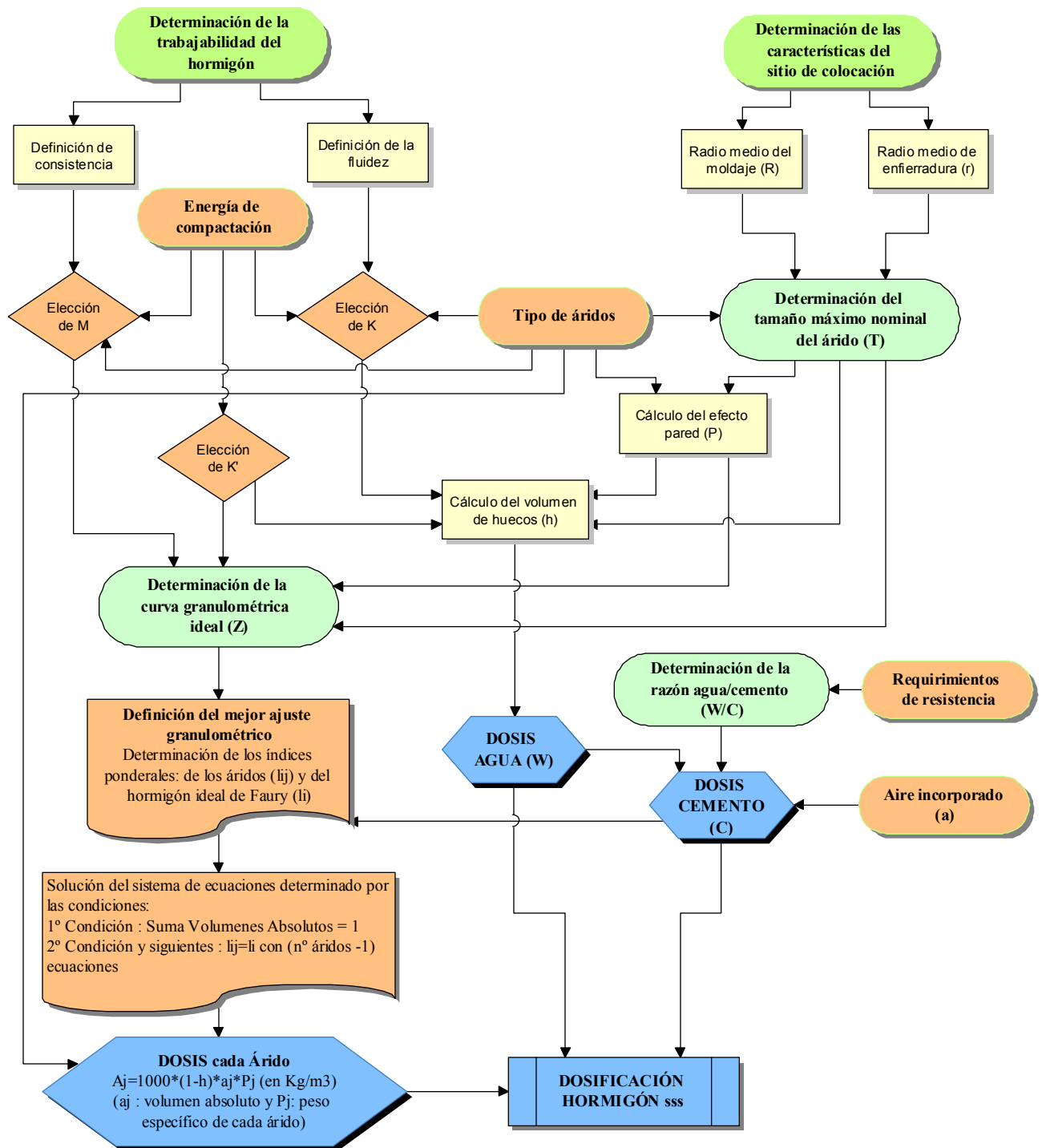


• METODO FAURY

- ✓ Se fundamenta esencialmente en principios granulométricos para determinar las cantidades de los materiales que permiten otorgar a un determinado hormigón las características previstas.
- ✓ Se basa en las experiencias realizadas por su propio autor, las que constituyen una continuación de las que ya anteriormente habían ejecutado sobre principios similares otros investigadores tales como Fuller y Bolomey y principalmente Caquot, quien le proporciona el fundamento teórico de los conceptos de mayor importancia contenidos en el método.
- ✓ Define una Curva Granulométrica Ideal sobre la base de las características del hormigón deseado y los materiales disponibles.
- ✓ El procedimiento se divide en cinco partes:
 - ⇒ *Determinación del tamaño máximo del árido*
 - ⇒ *Determinación de la fluidez del hormigón (dosis agua)*
 - ⇒ *Elección de la curva granulométrica ideal (consistencia)*
 - ⇒ *Determinación de la razón agua/cemento*
 - ⇒ *Determinación de la dosificación (ajuste granulométrico)*



► Diagrama de Flujo del Método Faury



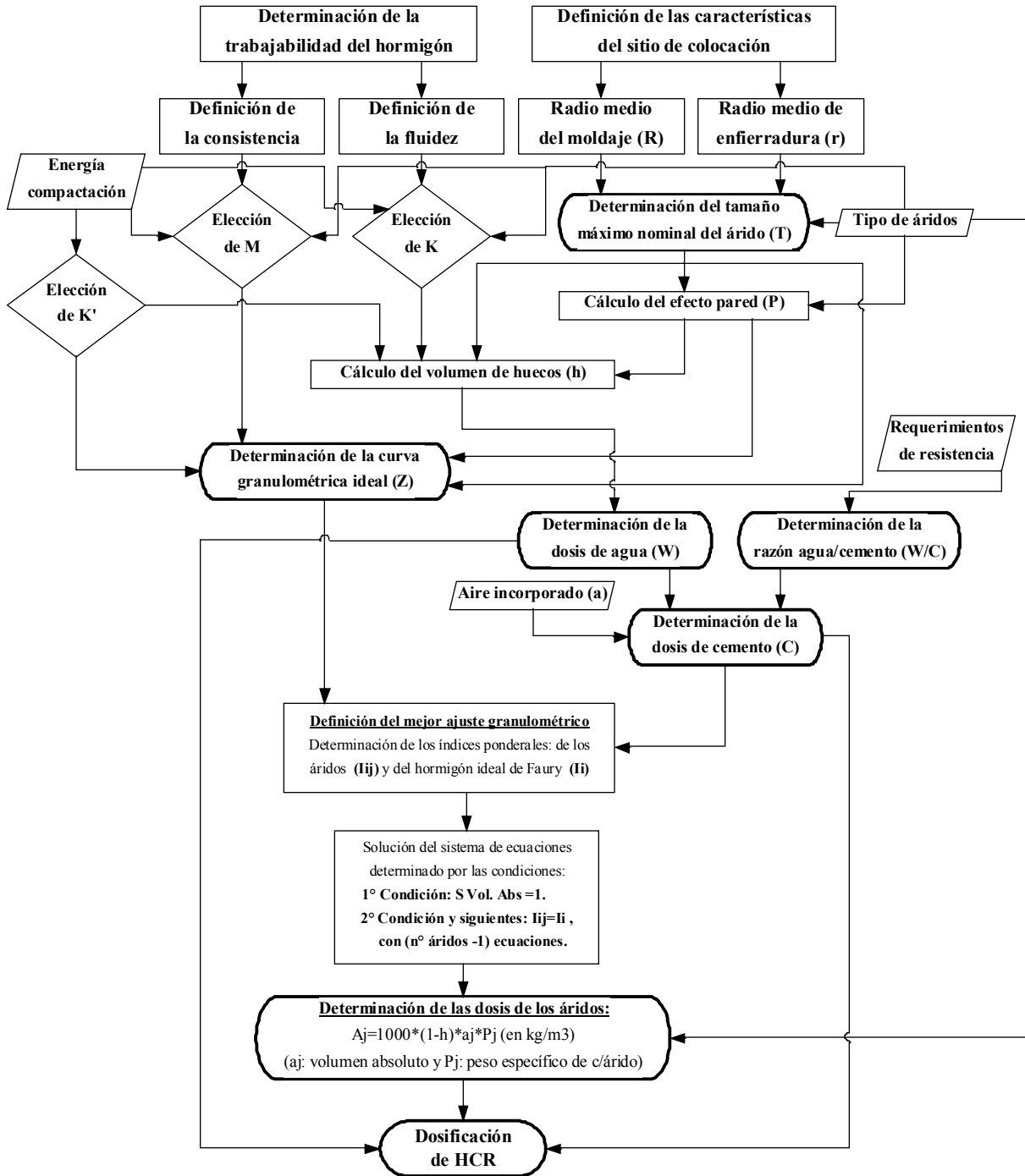
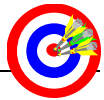
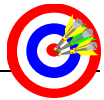
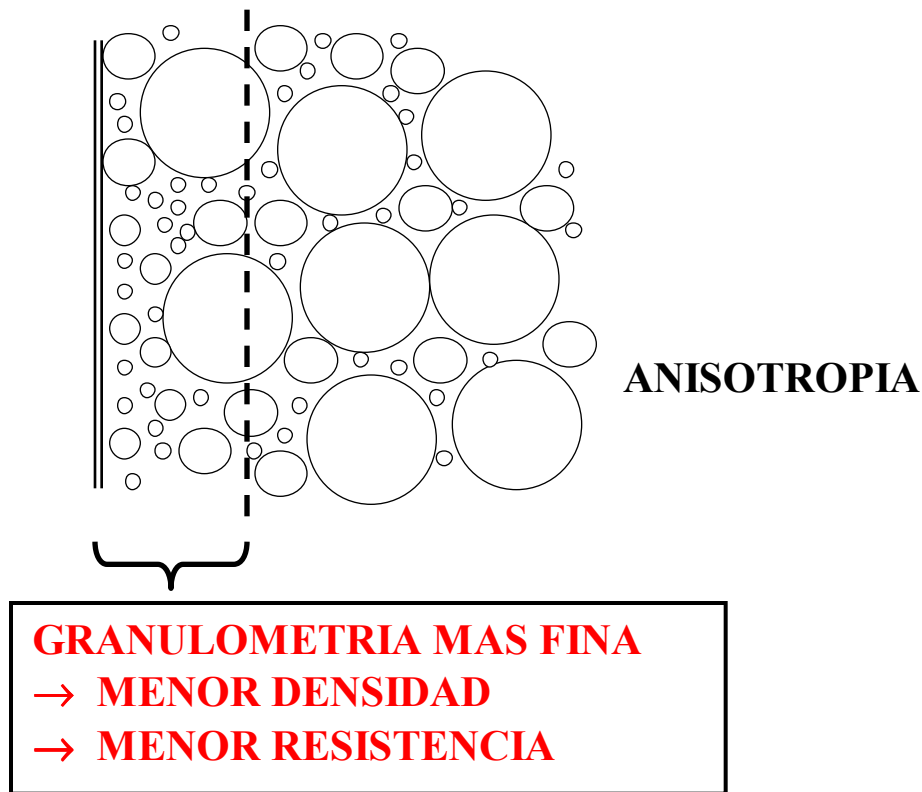


Fig.21: Diagrama de flujo del método de dosificación de Faury para hormigones convencionales

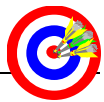


➤ *Determinación del tamaño máximo*

El Método de Faury se basa en el criterio denominado efecto de pared, desarrollado por el investigador francés Caquot, que cuantifica el efecto que una superficie dura ejerce sobre la porosidad de un material granular en la zona adyacente a ella. Este efecto se deriva del desplazamiento que sufren las partículas con respecto a la posición que ocuparían si el material estuviera colocado en una masa indefinida, es decir, si no existiera la superficie que produce la interferencia.



La aplicación de este criterio al efecto de pared derivado de la presencia de moldajes y enfierraduras presentes en todo elemento de hormigón es usado por Faury para determinar el tamaño máximo del árido más grueso contenido en el hormigón.



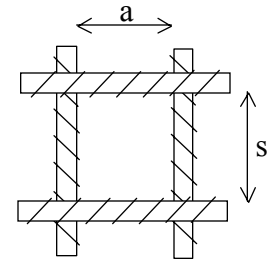
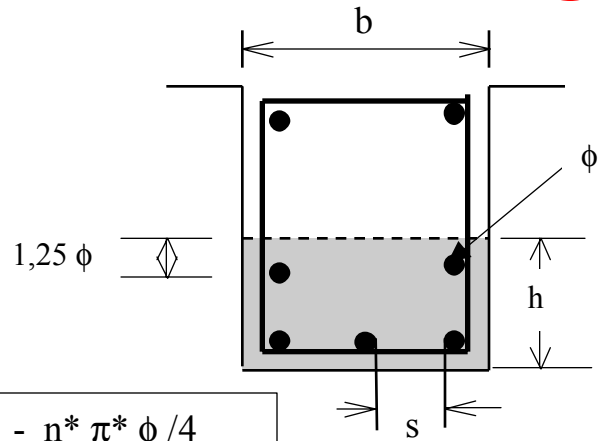
Se definen dos parámetros:

• **Radio Medio de Moldaje:**

$$R = \frac{\text{Volumen del elemento}}{\text{Superficie (moldaje + armadura)}}$$

$$R = \frac{\text{Sección neta hormigón}}{\text{Perímetro (moldaje + armadura)}}$$

$$R = \frac{b \cdot h - n \cdot \pi \cdot \phi / 4}{b + 2 \cdot h + n \cdot \pi \cdot \phi}$$



• **Radio Medio de Armadura:**

$$r = \frac{\text{Superficie libre entre las armaduras}}{\text{Perímetro correspondiente a la superficie}} = \frac{as}{2(a + s)}$$

Considerar los siguientes conceptos para su cálculo:

- superficie de moldajes incluida en denominador del radio medio de moldaje es la de los moldes que limitan el volumen del elemento. Si presenta una cara libre sometida a terminación superficial, ella también debe ser considerada;
- superficie de enfierraduras corresponde a la superficie externa de las barras de armadura embebidas en el elemento;
- armadura consideradas en el cálculo del radio medio de la enfierradura son aquellas a través de las cuales debe atravesar el hormigón y la superficie libre es la que atraviesa el hormigón;
- el perímetro a considerar es el que rodea dicha superficie.

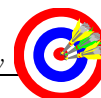
Las expresiones propuestas por Faury para determinar el tamaño máximo son las contenidas en la Tabla 36:

TABLA 36: Determinación del tamaño máximo (Faury)

Tipo de árido	R/r	Tamaño Máximo	P
Rodado	> 1,4	> 1,12 r	T/1,45r
	≤ 1,4	≤ 0,80 R	T/R
Chancado	> 1,2	> 0,96 r	T/1,25r
	≤ 1,2	≤ 0,90 R	T/R

NOTA: La última columna de Tabla 36 representa el valor del efecto de pared que debe considerarse en otras expresiones que se verán posteriormente.





➤ *Determinación de la fluidez (dosis de agua).*

Queda establecida en el Método de Faury a través de la fijación del contenido de huecos para cada curva granulométrica ideal, que al ser llenados por el agua de amasado, determinará dicha característica del hormigón.

La expresión para determinar el porcentaje unitario de huecos es la siguiente:

$$h = \frac{K}{\sqrt[5]{T}} + \frac{K'}{\frac{0,80}{P} - 0,075}$$

Los valores de los coeficientes K (dependen del grado de compactación aplicado al hormigón) y K' quedan a su vez definidos de acuerdo a las Tablas 37-38 y 39.

Tabla 37: Valores de K (Faury)

Fluidez	Compactación	Naturaleza de los áridos		
		Arena rodada Grava rodada	Arena rodada Grava chancada	Arena chancada Grave chancada
Muy fluida	Nula	0.355 o más	0.379 o más	0.440 o más
Blanda	Media	0.335 – 0.355	0.360 – 0.380	0.410 – 0.440
Plástica	Cuidadosa	0.315 – 0.335	0.340 – 0.360	0.385 – 0.410
De tierra húmeda	Muy potente	0.240 – 0.315	0.315 – 0.335	0.335 – 0.385
Extra seca	Excepcional	0.240 o menos	0.315 o menos	0.335 o menos

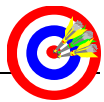
Tabla 38: Valores de K (Faury modificados por Zabaleta)

Asentamiento cono (cm)	Compactación	Naturaleza de los áridos		
		Arena rodada Grava rodada	Arena rodada Grava chancada	Arena chancada Grave chancada
12 - 15	nula	0.380 - 0.390	0.405 - 0.415	0.430 - 0.440
10 - 12	débil	0.370 - 0.380	0.395 - 0.405	0.420 - 0.430
8 - 10	media	0.360 - 0.370	0.385 - 0.395	0.410 - 0.420
6 - 8	cuidadosa	0.350 - 0.360	0.375 - 0.385	0.400 - 0.410
4 - 6	potente	0.340 - 0.350	0.365 - 0.375	0.390 - 0.400
2 - 4	muy potente	0.330 - 0.340	0.355 - 0.365	0.380 - 0.390
0 - 2	excep. potente	0.320 - 0.330	0.345 - 0.355	0.370 - 0.380

**Tabla 39: Valores de K' (Faury)**

Compactación	K'
Normal	0.003
Potente	0.002

Los valores de K deben ser elegidos principalmente en función del asentamiento de cono que se desea dar al hormigón, debiendo entenderse que la glosa relativa a compactación significa que ésta debe ser hecha por vibración para las designadas cuidadosa a excepcionalmente potente, prolongando el tiempo de vibración hasta lograr la total compactación del hormigón. En las compactaciones señaladas como nula a media pueden también emplearse medios menos potentes, como ser varillado.



➤ **Elección de la curva granulométrica ideal (determinación de la consistencia).**

Se establece básicamente a través de una granulometría total adecuada. Para este objeto, el método propone una **Curva Granulométrica de Referencia o Curva Ideal**, la que incluye al cemento, que puede ser variada de acuerdo a las características que se desee conferir al hormigón. La forma general y los parámetros que la determinan son los que aparecen en la Fig. 22.

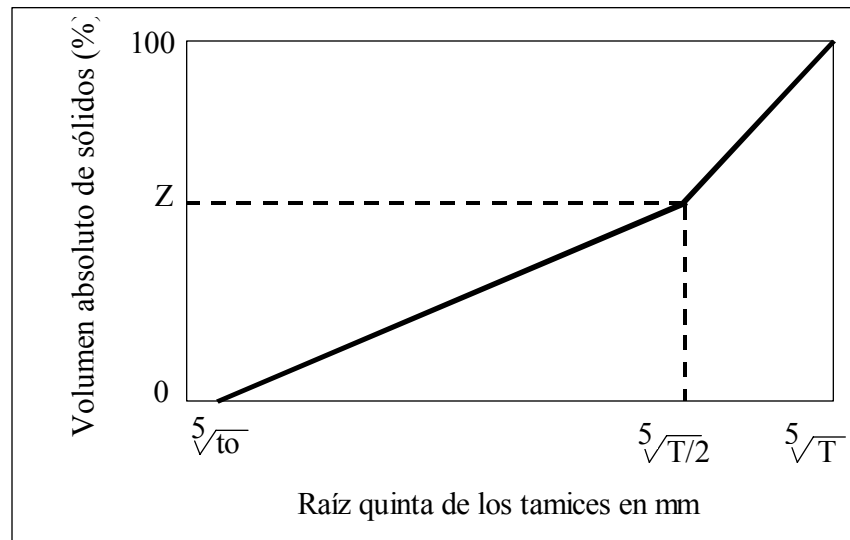


Fig. 22: Curva Granulométrica Ideal de Faury

Es necesario hacer las siguientes acotaciones respecto a la curva propuesta:

- la escala de abcisas corresponde a los tamaños de partículas, representada proporcionalmente a la raíz quinta de su tamaño; $t_0 = 0,0065$
- la escala de ordenadas corresponde a la proporción en volumen real presente en el hormigón de partículas de un tamaño dado con respecto al volumen real total de partículas sólidas, incluido el cemento;
- el punto de quiebre de los dos tramos rectos que componen la Curva Ideal queda definido por las siguientes coordenadas.

Abcisa : $T/2$, siendo T el tamaño máximo del árido más grueso

$$\text{Ordenada : } Z = M + 17,8 \sqrt[5]{T} + \frac{500 K'}{0,80/P - 0,75}$$

el coeficiente K' tiene el mismo valor adoptado para determinar la fluidez.



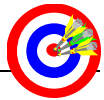
Los parámetros T y $500K'/(0,80/P-0,75)$ quedan definidos en base al criterio denominado “efecto pared”

- el valor del coeficiente M queda determinado por la Tabla 40. Representa el grado de consistencia del hormigón (finos).

Tabla 40: Valores de M (Faury)

Consistencia	Compactación	Naturaleza de los áridos		
		Arena rodada Grava rodada	Arena rodada Grava chancada	Arena chancada Grava chancada
Muy fluida	Nula	32 o más	34 o más	38 o más
Fluida	Débil	30 - 32	32 - 34	36 - 38
Blanda	Media	28 - 30	30 - 32	34 - 36
Plástica	Cuidadosa	26 - 28	28 - 30	32 - 34
Muy firme	Potente	24 - 26	26 - 28	30 - 32
De tierra húmeda	Muy potente	22 - 24	24 - 26	28 - 30
Extra seca	Excep. potente	22 o menos	26 o menos	28 o menos

En esta Tabla se ha supuesto que la consistencia está ligada a la fluidez a través de la compactación necesaria, lo cual implica que los coeficientes K y M deben ser elegidos para igual condición de compactación.



➤ *Determinación de la razón agua/cemento.*

Para este objeto se puede seguir el mismo criterio señalado al respecto en el Método Inglés o ACI de dosificación.

➤ *Determinación de la dosificación.*

Las condiciones de partida señaladas en los párrafos anteriores permiten calcular las cantidades en que los diferentes componentes del hormigón deben mezclarse para obtener las características previstas. El procedimiento para este objeto es el que se describe a continuación:

➤ *Determinación de la dosis de agua.*

En función de los valores del porcentaje de huecos establecido en la forma señalada anteriormente se puede determinarse la dosis de agua expresada en litros por metro cúbico mediante la expresión:

$$A = 1000 \cdot h$$

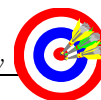
➤ *Determinación de la dosis de cemento.*

La dosis de cemento es posible determinarla en base al cociente entre la dosis de agua determinada en la forma señalada en el párrafo anterior y la razón agua/cemento definida.

En el caso de haberse previsto el empleo de un incorporador de aire, la cantidad de aire incorporado debe sumarse a la dosis de agua para el efecto del cálculo de la dosis de cemento.

$$C = \frac{(W + a)}{W/C} \quad (\text{kg/m}^3)$$





➤ *Determinación de las dosis de áridos.*

La determinación de las dosis de áridos debe efectuarse estableciendo proporciones para cada uno de ellos, de manera tal que la curva granulométrica total obtenida mezclándolos en dichas proporciones logre el mejor ajuste posible a la **Curva Ideal** obtenida en la forma señalada anteriormente. Para este objeto, Faury ha propuesto un sistema, denominado de los **Indices Ponderales**, el cual permite obtener este ajuste óptimo tomando en cuenta la diferente importancia granulométrica de las partículas componentes en función de su tamaño. Este Índice Ponderal aparece definido en la Fig. 23, para cada partícula de un tamaño determinado.

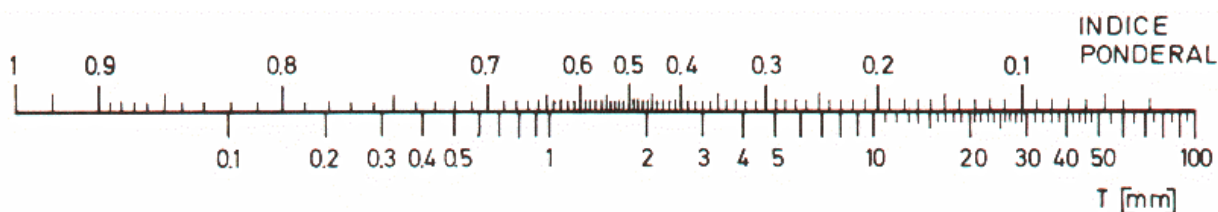


Fig. 23: Índices Ponderales

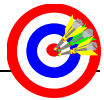
Sin embargo, su aplicación debe tener en consideración que un árido está compuesto de partículas de diferente tamaño en proporciones que se determinan mediante su análisis granulométrico efectuado empleando una serie normalizada de mallas. Por este motivo, se asigna a las partículas comprendidas entre dos mallas sucesivas el valor promedio definido por el gráfico antes mencionado.

En la Tabla 41 indica dichos Índices Ponderales para los tamaños de partículas correspondientes a una granulometría efectuada por la serie normal ASTM.

Tabla 41: Índices ponderales (Faury)

Tamiz	3"	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	#4	#8	#16	#30	#50	#100
(mm)	75	50	40	25	20	12,5	10	5	2,5	1,25	0,63	0,31	0,15
I.Pond	0,038	0,054	0,087	0,119	0,152	0,189	0,246	0,340	0,496	0,664	0,730	0,774	0,955

En esta tabla el Índice Ponderal ha sido calculado para las partículas de tamaño comprendido entre dos mallas sucesivas de la serie y anotado frente a la malla de tamaño superior.



Los valores señalados permiten definir el Índice Ponderal del Árido, calculado como la suma de los productos de los porcentajes granulométricos comprendidos entre dos mallas sucesivas por el Índice Ponderal correspondiente a las aberturas de los tamices relacionados con cada porcentaje granulométrico. Para este objeto hay que calcular los porcentajes acumulados usando las ecuaciones para graficar:

$$t < \frac{T}{2} \quad z(t) = Z \frac{\sqrt[5]{t} - \sqrt[5]{0.0052}}{\sqrt[5]{\frac{T}{2}} - \sqrt[5]{0.0052}} \quad \%$$

$$\frac{T}{2} < t < T \quad \frac{100 - Z}{\sqrt[5]{T} - \sqrt[5]{\frac{T}{2}}} \sqrt[5]{t} + \frac{Z - 100\sqrt[5]{0.5}}{1 - \sqrt[5]{0.5}} \quad \%$$

A su vez, es posible calcular el Índice Ponderal del Árido Combinado, determinado mediante la suma de los productos de los Índices Ponderales de los Áridos por un determinado porcentaje de mezcla de dichos áridos.

Este mismo procedimiento es posible aplicarlo a la Curva Ideal, considerando los porcentajes granulométricos que ella define.

Sobre las bases enunciadas, el método establece que los porcentajes óptimos de combinación de los áridos se obtienen cuando el **Índice Ponderal del Árido Combinado es igual al de la Curva Ideal**. De esta manera, si para el hormigón se ha previsto el empleo de dos áridos, uno grueso y otro fino, los porcentajes óptimos de combinación se obtienen resolviendo el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\alpha_c + \alpha_f + \alpha_g = 1$$

$$\alpha_c \cdot l_c + \alpha_f \cdot l_f + \alpha_g \cdot l_g = l_i$$

siendo :

α_c, α_f y α_g : porcentajes de volumen real de cemento, árido fino y árido grueso, respectivamente. Estos porcentajes deben expresarse en



proporción del volumen real total de sólidos, puesto que así está definida la Curva Ideal.

El valor de α_c , que corresponde al cemento, es determinado a partir de la dosis de cemento C, mediante la siguiente expresión:

$$\alpha_c = \frac{C}{1000 \cdot (1-h) \cdot \rho_c}$$

l_c, l_f, l_g : índices Ponderales del cemento, árido fino y árido grueso. El correspondiente al cemento debe considerarse igual a 1.

l_i : índice Ponderal de la Curva Ideal Total.

ρ_c : densidad real del cemento

Un procedimiento similar puede emplearse si el número de áridos previstos es superior a dos.

En este caso, dado que el sistema de ecuaciones sería indeterminado, es necesario efectuar tantas igualaciones adicionales de Índices Ponderales como sea la cantidad de áridos sobre dos. Para este objeto, es conveniente elegir como puntos de igualación de los Índices Ponderales de los áridos combinados y de la curva ideal los correspondientes a los tamaños máximos de cada uno de los áridos componentes. Ello permite ampliar el sistema de ecuaciones hasta obtener tantas ecuaciones como áridos intervienen.

De la manera señalada pueden determinarse los porcentajes óptimos de combinación de los áridos y, a partir de ellos, las cantidades por metro cúbico correspondientes a cada uno de ellos de acuerdo a la siguiente expresión general:

$$A_i = 1000 \cdot (1 - h) \cdot \alpha_i \cdot \rho_i$$

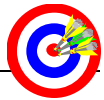
siendo :

A_i = cantidad del árido i en kg/m^3

α_i = porcentaje del árido i



$\rho_i =$ densidad real del árido i



Método de Dosificación de Faury

Índice ponderal del árido :

$$I_{ij} = \sum_{k=0}^{k=i} \Delta(\text{Arido } j) * k$$

Índice ponderal de la mezcla:

$$I_{ihorm} = \sum_{j=1}^{j=n} I_{ij} * a_j + c * 1$$

Volumen absoluto cemento :

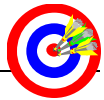
$$c = \frac{C}{1000 * (1 - h) * P_c}$$

Índice ponderal mezcla ideal:

$$I_i = \sum_{k=0}^{k=i} \Delta(\text{hormigón ideal}) * k$$

Cantidades en m³ :

$$A_j = 1000 * (1 - h) * a_j * P_j$$



➤ **Comentarios al método de Faury.**

El Método Faury para Dosificación de Hormigones presenta un enfoque más flexible que el explicado anteriormente para el Método ACI.

Esta flexibilidad proviene de la introducción de parámetros que permiten definir con mayor precisión las condiciones previstas para el hormigón que se dosifica y a la posibilidad de empleo de tantos áridos como se desee. En las últimas dos décadas se ha utilizado el método Faury para todo tipo de hormigón como se ve reflejado en la Tabla 42 y Fig. 24 y 25.

Tabla 42: Curvas ideales para varios tipos de hormigón de tamaño máximo 40 mm (Zabaleta)

Tipo de hormigón	Asentamiento de cono [cm]	Compactación	Z aproximado
HCR	0	Rodillo vibratorio liso	50 – 60 %
Seco	0 – 4	Vibración	60 – 65 %
Convencional	4 – 8	Vibración	65 – 68 %
Bombeados	8 – 15	Vibración	68 – 72 %
Fluidos	> 15	Autocompactable	72 – 82 %

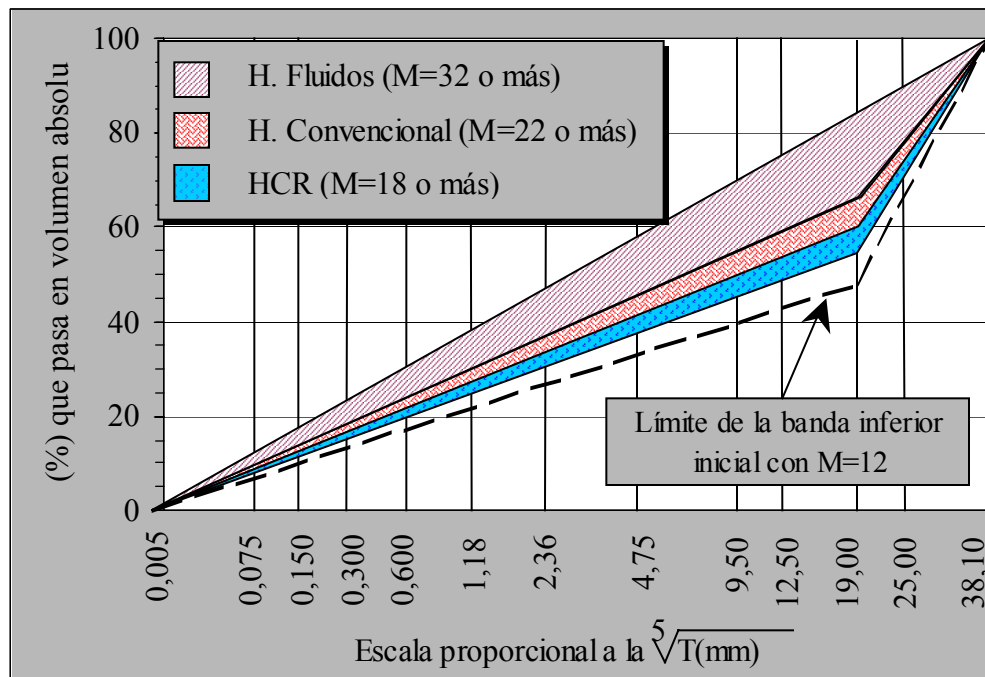


Fig. 24: Curvas ideales para varios tipos de hormigón de tamaño máximo 40 mm (Zabaleta)

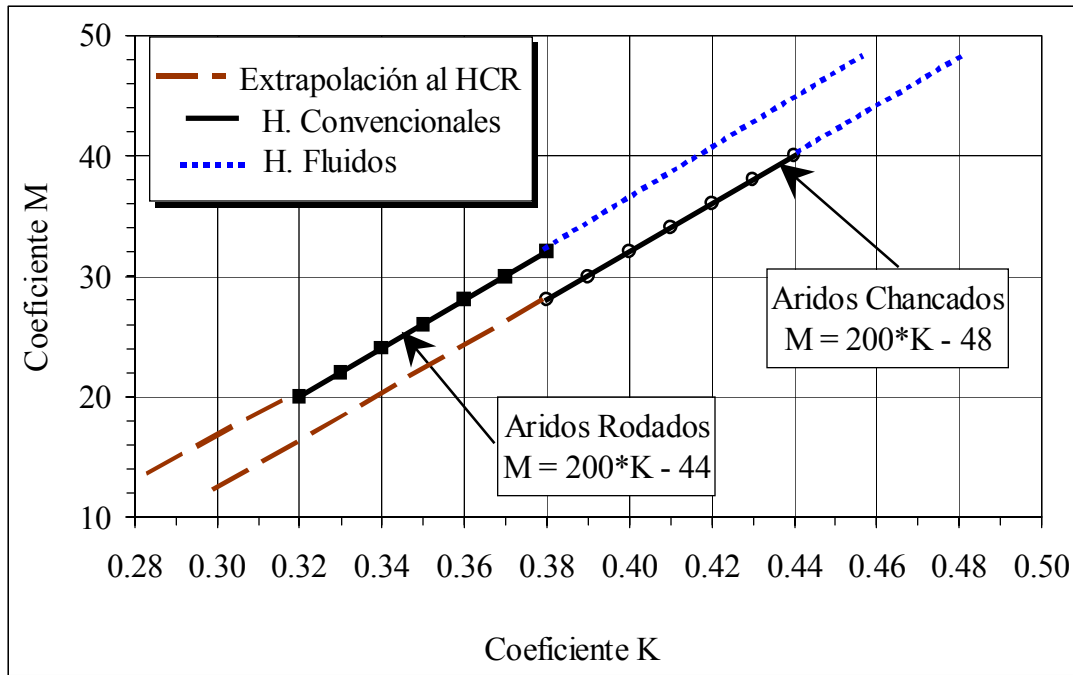
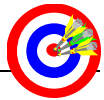
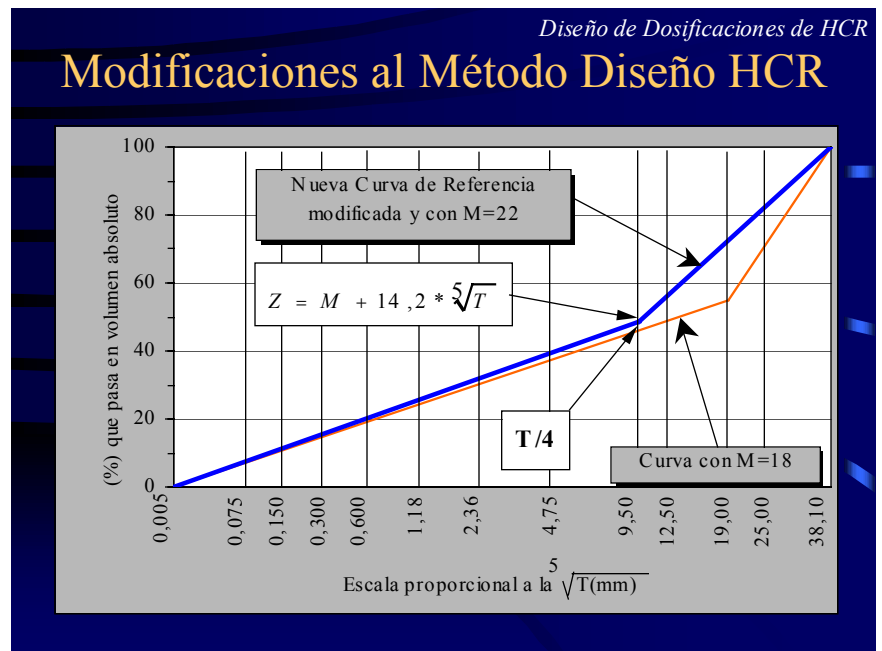
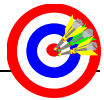


Fig. 25: Extrapolación de coeficientes del Método de Faury (Zabaleta)

Su mayor inconveniente proviene de la mayor complejidad de las operaciones de cálculo, aspecto que actualmente resulta fácil de superar mediante el empleo de computadora para su ejecución.

Investigaciones recientes permiten recomendar las modificaciones al método de Faury mostradas en la Fig. 26 cuando se aplica a hormigón rodillado:





➤ Ejemplos de Dosificación usando el Método Faury

Ejemplo C

Dosificar utilizando el Método Faury un hormigón de 25 MPa a 28 días con 10% de defectuosos para un muro de 15 cm de espesor y enfierradura doble malla ϕ 8 @ 15.

Se conoce la desviación estándar de la obra : $s = 5$ MPa.

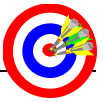
Este muro estará sometido a ciclos hielo-deshielo.

Se usará hormigón convencional compactado con vibrador de inmersión y transportado con grúa y capacho.

Utilizar los áridos indicados en tabla adjunta.

Utilizar Cemento corriente con densidad real del cemento de 3 kg/dm^3 .

Tamiz [mm]	Porcentaje que pasa		
	Grava	Gravilla	Arena
40	100		
25	47		
20	14	100	
12.5	1	70	
10		36	100
5		2	78
2.5		1	60
1.25			45
0.63			29
0.32			12
0.16			4
Densidad real	2,72	2,71	2,68
Densidad aparente	1,54	1,52	1,75
Absorción (%)	0,7	0,9	1,7



• **METODO DE VALETTE**

El Método de Valette, desarrollado por el ingeniero francés Valette, emplea técnicas experimentales para obtener las dosis de los materiales componentes que permitan obtener las condiciones previstas para el hormigón. Por este hecho su aplicación requiere de técnicas de laboratorio, las que pueden resumirse en las etapas que se indican a continuación:

⇒ Determinación de las características físicas de los materiales

✓ **Pesos específicos cemento y áridos**

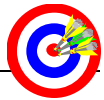
✓ **Densidades aparentes áridos**

✓ **Agua de mojado cemento y áridos**

⇒ Mortero lleno con mínimo contenido de cemento

⇒ Hormigón de dosis mínima de cemento

⇒ Corrección de la dosis de cemento



➤ *Determinación de las características físicas de los materiales componentes.*

Las características a determinar son las siguientes:

- Pesos específicos del cemento y los áridos.

Su determinación debe efectuarse en conformidad con la Normas respectivas.

- Densidades aparentes de los áridos.

Debe determinarse en conformidad con las Normas respectivas, considerando los áridos en estado seco y suelto.

- Agua de mojado del cemento y los áridos.

El agua de mojado del cemento corresponde a su agua de consistencia normal.

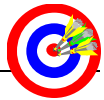
Para la arena en cambio debe establecerse de manera tal que la cantidad de agua añadida le confiera la consistencia necesaria como para permitirle formar una bola con la mano.

Para el árido grueso, el agua de mojado corresponde a aquella que hace aparecer brillante la superficie de los granos que lo constituyen.

➤ *Determinación del mortero lleno, de mínimo contenido de cemento.*

Su determinación se basa en la idea que los huecos de la arena con su agua de mojado deben quedar exactamente llenos, con un 10% de exceso, por la pasta de cemento con su agua de consistencia normal.

Calculadas las cantidades que producen esta condición, debe prepararse el mortero con dichas cantidades. Este debe presentar un aspecto superficialmente brillante, sin exudación de agua y debe, además, ser plástico, deformándose elásticamente a la presión de un dedo. En caso de no cumplirse estas condiciones, debe corregirse el agua de mojado y repetir el proceso hasta obtenerla.



➤ *Determinación del hormigón lleno, de mínima dosis de cemento.*

Al mortero, preparado según el párrafo anterior, se le adiciona el máximo posible de árido grueso con su agua de mojado correspondiente. Esta adición se efectúa con el hormigón colocado y compactado en un molde que reproduzca lo más exactamente posible las condiciones de obra, apreciándose si la docilidad obtenida es adecuada y la colocación fácil.

Si estas condiciones no se obtienen, debe variarse el agua de mojado del árido grueso según sea el resultado obtenido y repetir el proceso.

➤ *Determinación de la dosificación final.*

De acuerdo a los pesos de materiales usados y el volumen obtenido según las etapas anteriormente descritas, puede calcularse la dosificación obtenida. Si ella no conduce a la dosis de cemento prevista, deberá efectuarse la corrección intercambiando iguales volúmenes reales de arena y cemento con sus respectivas aguas de mojado hasta conseguirla.

➤ *Comentarios al Método de Valette.*

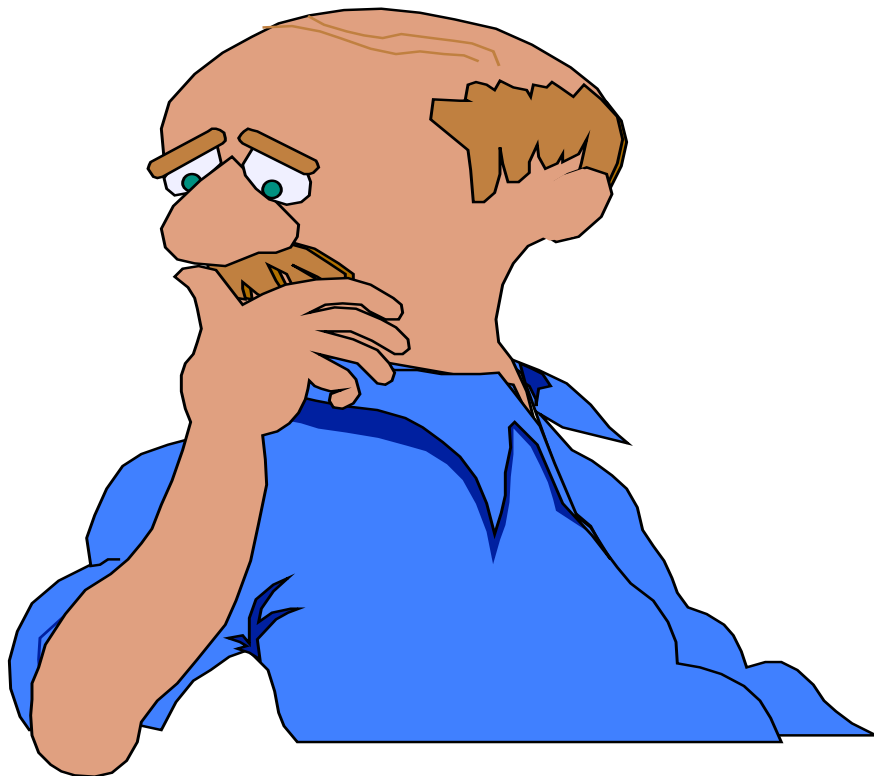
El Método de Valette es eminentemente experimental para la determinación de la dosificación, hecho en el cual reside su principal mérito, puesto que se trabaja directamente con el hormigón que se va a utilizar en obra.

Sin embargo, este mérito constituye también su principal debilidad, puesto que el resultado obtenido es subjetivo, quedando condicionado al criterio del operador, el cual no coincide normalmente con el usuario del hormigón en estudio.

Es discutible, además, el concepto básico que define la condición de mortero y hormigón lleno, puesto que en la realidad la confección de un hormigón es más bien un proceso de mezcla de granos que uno de relleno de huecos de un material grueso por otro más fino.



CORRECCIONES DE DOSIFICACION





● CORRECCIONES POR HUMEDAD

La dosificación de hormigones considera áridos en estado saturado con superficie seca (sss). Por cuanto en obra los áridos se encuentren normalmente con cierto grado de humedad distinto, hay que corregir la dosificación original para no alterar los valores calculados inicialmente.

➤ *Dosificación medida en peso*

Un cierto peso de árido húmedo o mojado está compuesto por el árido como tal más el agua que contiene. En la humedad total están comprendidas la absorción y la humedad libre superficial. Esta última es la que aporta agua a la dosificación.

Para corregir esta situación se debe:

- 1. Determinar la humedad total y absorción del árido.***
- 2. Corregir la dosificación sss considerando el árido seco.***
- 3. Corregir la dosificación seca considerando la humedad total del árido.***

NOTA: La dosificación debe llevarse a árido seco ya que los valores de humedad y absorción obtenidos en laboratorio están referidos al peso seco del árido.

Sin embargo, existe la costumbre en obra de considerar como aproximación o simplificación que la humedad libre (diferencia entre la humedad total y la absorción), estuviera referida al peso sss con lo cual se evita pasar por la dosificación seca.



✓ **Determinar la humedad total y absorción del árido.**

Este paso se realiza en un laboratorio. La humedad libre viene dada por:

$$H_l = H_t - A$$

✓ **Corregir la dosificación sss considerando el árido seco.**

Se determina mediante el valor de la absorción la cantidad de agua contenida en los áridos la cual se suma a la dosis de agua y se resta de los áridos.

El agua de absorción se calcula como:

$$W_{abs} = \frac{P_{sss} * A}{(A + 1)} = P_s * A$$

Alternativamente se puede calcular directamente el peso seco áridos por:

$$P_s = \frac{P_{sss}}{(A + 1)}$$

✓ **Corregir la dosificación seca considerando la humedad total del árido.**

Se determina la humedad total existente en los áridos y que no es necesaria aportar con la dosis de agua. Este valor se resta de la dosis de agua y se suma a los áridos.

El agua de humedad total se calcula como:

$$W_{total} = P_s * H_t$$

Alternativamente se puede calcular directamente el peso seco áridos por:

$$P_h = \frac{P_{sss} * (H_t + 1)}{(A + 1)} = P_s * (H_t + 1)$$

Cuando se asume que la humedad libre está referida al peso sss del árido, se calcula inmediatamente el agua libre la cual se resta de la dosis de agua y se suma a los áridos.



✓ **Ejemplo.**

Propiedades áridos:

Arido	Humedad Total (%) $H_t = (P_h - P_s)/P_s$	Absorción (%) $A = (P_{sss} - P_s)/P_s$	Humedad libre (%) $H_l = H_t - A$
Grava A	1,8	0,6	1,2
Arena B	5,8	1,1	4,7

Dosificación:

Materiales	Dosificación áridos sss (kg/m ³)	Corrección (kg/m ³) $= \frac{P_{sss}A}{(A+1)}$	Dosificación áridos secos (kg/m ³)	Corrección (kg/m ³) $= H_t * P_s$	Dosificación áridos húmedos (kg/m ³)
Cemento	330	-	330	-	330
Agua amasado	174		189	-49	125
Agua absorción áridos	-	+15	-	-15	-
Grava A	1.157	- 7	1.150	+21	1.171
Arena B	743	- 8	735	+43	778
Peso hormigón	2.404	0	2.404	0	2.404



➤ *Dosificación medida en volumen*

Hay que determinar en obra el esponjamiento de la arena:

$$E = \frac{(V_h - V_s)}{V_s}$$

En la dosificación sólo se corrige la arena, agregando un volumen igual al valor del esponjamiento.

El agua de amasado se corrige tal como en las mediciones en peso.

El volumen a medir de arena se calcula como:

$$V_E = (1 + E) * V$$

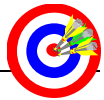
✓ **Ejemplo.**

Suponiendo que se debe agregar 431 litros de arena seca y que ésta tiene 26% de esponjamiento, la corrección será:

$$431 * 26 / 100 = 112 \text{ litros}$$

La dosificación corregida es:

Materiales	Dosificación áridos secos (kg/m ³)	Densidad aparente	Dosificación áridos secos por m ³	Corrección	Dosificación áridos húmedos por m ³
Cemento	330		330 kg.	-	330 kg.
Agua	189		189 l.	- 64 l.	125 l.
Grava A	1.150	1,575	730 l.	-	730 l.
Arena B	735	1,705	431 l.	+112 l.	543 l.



• CORRECCION POR RENDIMIENTO

Es necesario *comprobar en terreno si se está fabricando el volumen de hormigón que se ha determinado teóricamente*. La dosificación fue calculada para obtener 1 m³ de hormigón después de mezclar los componentes y compactar adecuadamente el hormigón.

Si este objetivo no se logra, es necesario determinar la dosis real de cemento utilizada en la amasada. Se consideran aceptables variaciones de la dosis de cemento de ± 3%.

✓ **Cuando existan diferencias se pueden dar los dos pasos siguientes:**

1. Calcular la dosificación real utilizada.

Como la densidad medida es la real, se determina un factor por el cual se multiplican todas las dosis determinadas teóricamente de modo que la suma de las nuevas dosis calculadas sea igual a la real. Este factor es igual al cociente entre la densidad teórica del hormigón y la densidad medida.

$$\text{Factor de corrección} = \frac{\text{Densidad teórica}}{\text{Densidad medida}}$$

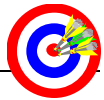
2. Proponer una dosificación corregida.

Si la dosis de agua y la razón W/C determinadas en la dosificación teórica son adecuadas para satisfacer los requerimientos constructivos y de diseño, lo lógico sería mantenerlas y compensar la diferencia de densidad (teórica y medida) exclusivamente con los áridos de acuerdo a las proporciones determinadas en la dosificación teórica.

✓ **Para comprobar el rendimiento existen dos métodos:**

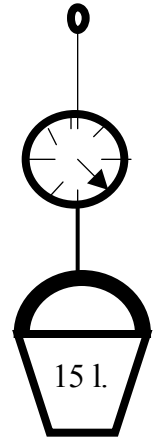
1. **Método de la densidad aparente real:** método preferido por la Norma NCh 1564.

2. **Método práctico:** mediante medición en un cajón de volumen conocido.



➤ **Método de la densidad aparente real**

Se procede a determinar la densidad aparente real del hormigón usando para ello un recipiente de volumen conocido y no menor a 15 litros, el cual se llena, compacta y pesa según procedimiento normalizado.



La densidad aparente medida d_a es: $d_a = \frac{m}{v}$

en que:

m = masa de hormigón (masa pesada – masa recipiente)

v = volumen recipiente

El rendimiento relativo de la amasada se calcula como:

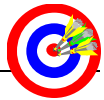
$$R_r = \frac{d_t}{d_a} \times 100(\%) \quad \text{o} \quad R_r = \frac{V_a}{V_t} \times 100(\%)$$

en que d_t y V_t son la densidad y volumen teórico de la amasada en uso

Si $R_r < 100\%$ \Rightarrow Dosis de cemento en uso es superior a teórica

Ejemplo:

Materiales	Dosificación (kg/m ³)		
	Teórica	Real	Corregida
Cemento	350	352	350
Agua	180	181	180
Aridos	1890	1904	1907
Densidad (kg/m ³)	2420	2437	2437



➤ Método práctico

En forma práctica se define rendimiento como la cantidad de litros de hormigón que se pueden fabricar con un saco de cemento.

Se calcula dividiendo el peso neto de un saco de cemento (42,5 kg.) por la dosificación de cemento en kg/m^3 especificada y multiplicada por 1.000 l.

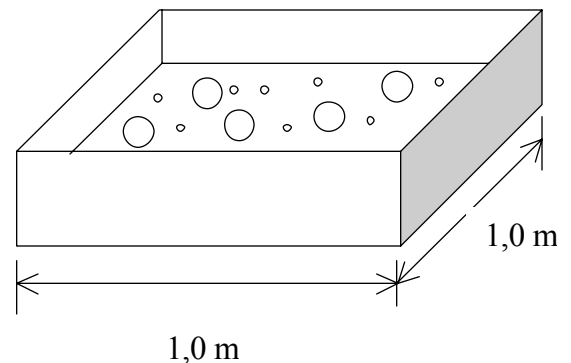
$$r_t = \frac{42,5}{C} \times 1.000 \quad \text{l/saco}$$

Por ejemplo, si la dosis de cemento de una dosificación es 300kg/m^3 , por cada saco de cemento deberá producir el siguiente volumen de hormigón:

$$r_t = 42,5 \times 1000 / 300 = 141,7 \text{ l/saco}$$

Este volumen teórico de hormigón debe compararse con el que se obtiene en terreno mediante amasadas de prueba.

Para la medición del volumen se sugiere preparar un cajón de 1 x 1 m de base y altura suficiente para contener a lo menos dos amasadas. Las masadas sucesivas se vacían al cajón, apisonando el hormigón y emparejando la superficie. La altura media se determina como el promedio de medidas hechas en los cuatro lados del cajón.



Siguiendo el mismo ejemplo anterior, si la altura media determinada en el cajón es de 28 cm. para dos amasadas, el volumen de hormigón será:

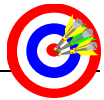
290 l. para 2 sacos de cemento o 145 l. para 1 saco de cemento

Rendimiento por saco de cemento:
$$\frac{r_t}{r_a} = \frac{V_t}{V_a} \times 100\%$$

Para el ejemplo: $r_t/r_a = 141,7 \times 100 / 145 = 97,7\%$; se acepta.

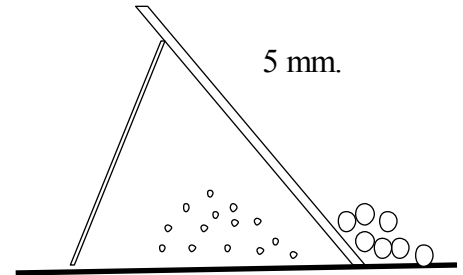


Valores de rendimiento menores que 100% indican que se está usando una dosis de cemento inferior a la especificada y viceversa.



• CORRECCION POR VARIACIONES DE LA GRANULOMETRIA

Frecuentemente en nuestro país se suministra arena que contiene ciertas proporciones de grava, que en algunos casos alcanza a cantidades superiores al 20% del total. Si no se modifica la proporción arena:grava, se estará agregando mayores cantidades de grava y menores de arena, lo que seguramente conducirá a hormigones de baja trabajabilidad y de difícil compactación.



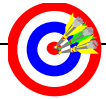
Si las dosificaciones han sido determinada por laboratorios especializados conociendo las características de los áridos que se emplearán, con toda seguridad en ellas están implícitas las correcciones por grava contenida en la arena y se ha considerado el cumplimiento de la banda granulométrica para el árido total.

El procedimiento práctico para corregir esta deficiencia es:

1. Secar hasta masa constante, a 100°C en estufa o anafre, una cantidad de arena mayor que 1 kg. registrándose su peso seco (m_a).
2. La muestra de arena se tamiza en un harnero o malla de 5 mm de abertura, registrándose las masas del material retenido (g) y del que pasa dicha malla (a). Se debe cumplir que: $m_a = g + a$
3. El porcentaje real de grava contenida en la arena es: $\% g_r = (g / m_a) \cdot 100$
y $\% a_r = (a / m_a) \cdot 100$
4. Este porcentaje debe compararse con el determinado o previsto en la dosificación inicial ($\% g_{rd}$)
5. En caso de diferencias, será necesario establecer las correcciones. Si el porcentaje real de grava es superior al previsto inicialmente, se deberá aumentar proporcionalmente la arena, disminuyendo la grava en la misma cantidad. Recíprocamente, si el porcentaje de grava es inferior al previsto, habrá que disminuir la arena compensando con igual cantidad de grava. Las dosis finales están dadas por las ecuaciones:

$$A = A_{\text{dosificada}} \cdot \frac{(100 - \%g_{rd})}{(100 - \%g_r)} = A_{\text{dosificada}} \cdot \frac{\%a_{rd}}{\%a_r}$$

$$G = G_{\text{dosificada}} - (A - A_{\text{dosificada}})$$



• FORMULARIOS CORRECCION DOSIFICACION

Dosificación áridos sss	Cemento	Agua	Arena	Gravilla	Grava
	[kg]	[kg o l]	[kg]	[kg]	
Por m ³ (áridos sss)	_____	_____	_____	_____	_____
Para _____ m ³	_____	_____	_____	_____	_____

DOSIFICACION ARIDOS SECOS

Corrección a áridos secos $W_{abs} = P_{sss} \times A / (1 + A)$ $P_s = P_{sss} / (1 + A)$

	Arena	Gravilla	Grava		
	[kg]	[kg]	[kg]		
Absorción	_____	_____	_____	=	
Aporte de Agua	_____	+	_____	+	
Dosificación Seca	Cemento	Agua	Arena	Gravilla	Grava
	[kg]	[kg o l]	[kg]	[kg]	[kg]
Por m ³ (áridos secos)	_____	_____	_____	_____	_____
Para _____ m ³	_____	_____	_____	_____	_____

DOSIFICACION ARIDOS HUMEDOS

Corrección por humedad de los áridos $W_{total} = P_s \times H_t$ $P_h = P_s \times (H_t + 1)$

	Arena	Gravilla	Grava		
	[kg]	[kg]	[kg]		
Humedad	_____	_____	_____	=	
Agua absorbida	_____	+	_____	+	
Dosificación Húmeda	Cemento	Agua	Arena	Gravilla	Grava
	[kg]	[kg o l]	[kg]	[kg]	[kg]
Por m ³ (áridos húm)	_____	_____	_____	_____	_____
Para _____ m ³	_____	_____	_____	_____	_____

CORRECCION POR DENSIDAD

Densidad Teórica = _____
 Densidad Medida = _____
 Por factor = _____ / _____ = _____

Dosificación	Cemento	Agua	Arena	Gravilla	Grava
	[kg]	[kg o l]	[kg]	[kg]	
Por m ³	_____	_____	_____	_____	_____
Para _____ m ³	_____	_____	_____	_____	_____



VERIFICACION DOSIFICACION CON HORMIGONES DE PRUEBA

Normalmente las dosificaciones se deben verificar en laboratorio o en obra antes de ser aplicadas. Para ello se preparan mezclas de prueba con los mismos materiales y en condiciones similares a las que se tendrán en la faena, lo que permitirá determinar el rendimiento del hormigón, observar su aspecto, y ajustar el agua de amasado necesaria para lograr el asentamiento requerido.

Si el rendimiento difiere en cantidades superiores al 3% de lo calculado, deberán corregirse los áridos proporcionalmente.

Cuando el aspecto muestre un exceso de áridos gruesos se recomienda disminuir la grava en un 2%.

Si hay exceso de árido fino se debe hacer la corrección en el sentido contrario. Es necesario verificar su efecto en otras mezclas de prueba.

Con este hormigón se preparan probetas para comprobar el cumplimiento de las resistencias exigidas. Es conveniente preparar suficiente número de probetas para determinar la curva de endurecimiento ensayando a distintas edades también es recomendable preparar otras series de mezclas de prueba variando la dosis de cemento, por ejemplo en $\pm 10\%$ de la calculada, para tomar una mejor decisión.

Si se emplean aditivos, las mezclas de prueba permiten ajustar la dosis óptima para obtener los beneficios que se persiguen, medir aire incorporado, comprobar reducciones de agua, determinar plazos de duración de efectos, etc.

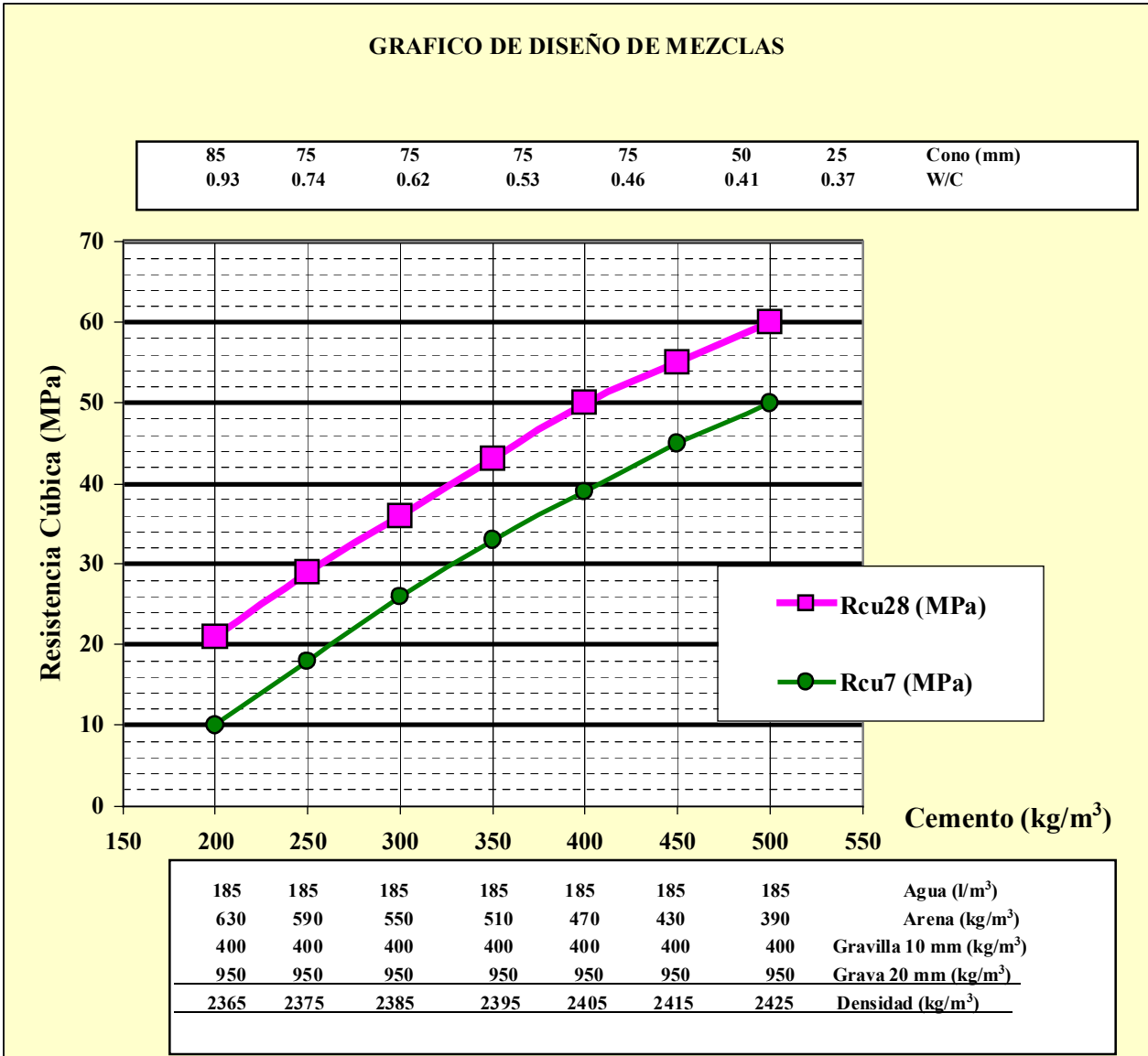
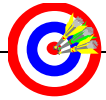


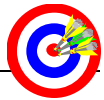
Fig. 27: Ejemplo Gráfico Diseño Mezclas Hormigones Premezclados



➤ Para Cambiar Asentamiento de Cono

Tabla 43: Variación en litros de la dosis de agua, para un metro cúbico de hormigón, requerido para modificar el asentamiento de cono.

		PARA CAMBIAR CONO (cm) DE =>																													
		0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
PARA CAMBIAR CONO A	0,5	0	-10	-16	-20	-23	-26	-29	-30	-32	-33	-35	-36	-37	-38	-39	-40	-41	-42	-42	-43	-44	-45	-45	-46	-46	-47	-48	-48	-49	-49
	1	10	0	-6	-10	-13	-16	-18	-20	-22	-23	-25	-28	-27	-28	-29	-30	-31	-32	-32	-33	-34	-35	-35	-36	-36	-37	-38	-38	-39	-39
	1,5	16	6	0	-4	-5	-10	-12	-14	-16	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-25	-26	-27	-28	-28	-29	-29	-30	-31	-31	-32	-32	-33	-33
	2	20	10	4	0	-3	-5	-8	-10	-12	-13	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-23	-24	-25	-25	-26	-26	-27	-28	-28	-29	-29
	2,5	23	13	8	3	0	-2	-5	-7	-9	-10	-11	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-19	-20	-21	-21	-22	-23	-23	-24	-24	-25	-25	-26
	3	26	16	10	5	2	0	-3	-5	-7	-8	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-18	-19	-20	-20	-21	-22	-22	-23	-23	-24	-24
	3,5	28	18	12	8	5	3	0	-2	-4	-5	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-15	-16	-17	-17	-18	-18	-19	-20	-20	-21	-21
	4	30	20	14	10	7	5	2	0	-2	-3	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-13	-14	-15	-15	-16	-16	-17	-18	-18	-19	-19
	4,5	32	22	16	12	9	7	4	2	0	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-12	-13	-13	-14	-15	-15	-16	-16	-17	-17
	5	33	23	18	13	10	8	5	3	2	0	-1	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-9	-10	-11	-11	-12	-13	-13	-14	-14	-15	-15	-16
	5,5	35	25	19	15	11	10	7	5	3	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-9	-10	-11	-11	-12	-12	-13	-13	-14	-14
	6	36	26	20	16	13	11	8	6	4	3	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-7	-8	-9	-9	-10	-11	-11	-12	-12	-13	-13
	6,5	37	27	21	17	14	12	9	7	5	4	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-6	-7	-8	-8	-9	-10	-10	-11	-11	-12	-12
	7	38	28	22	18	15	13	10	8	6	5	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-5	-6	-7	-7	-8	-9	-9	-10	-10	-11	-11
	7,5	39	29	23	19	16	14	11	9	7	6	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-3	-4	-5	-5	-6	-7	-7	-8	-8	-9	-9	-10
8	40	30	24	20	17	15	12	10	8	7	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-3	-4	-5	-5	-6	-7	-7	-8	-8	-9	-9	
8,5	41	31	25	21	18	16	13	11	9	8	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-2	-3	-4	-4	-5	-5	-6	-7	-7	-8	-8	
9	42	32	26	22	19	17	14	12	10	9	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-2	-3	-3	-4	-5	-5	-6	-6	-7	-7	
9,5	42	32	27	23	19	18	15	13	11	9	8	7	6	5	3	3	2	1	0	-1	-1	-2	-3	-3	-4	-4	-5	-6	-6	-7	
10	43	33	28	23	20	18	15	13	12	10	9	7	6	5	4	3	2	2	1	0	-1	-1	-2	-3	-3	-4	-4	-5	-5	-6	
10,5	44	34	28	24	21	19	16	14	12	11	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	0	-1	-1	-2	-2	-3	-4	-4	-5	-5	
11	45	35	29	25	21	20	17	15	13	11	10	9	8	7	5	5	4	3	2	1	1	0	-1	-1	-2	-2	-3	-4	-4	-5	
11,5	45	35	29	25	22	20	17	15	13	12	11	9	8	7	6	5	4	3	3	2	1	1	0	-1	-1	-2	-2	-3	-3	-4	
12	46	36	30	26	23	21	18	16	14	13	11	10	9	8	7	6	5	4	3	3	2	1	1	0	-1	-1	-2	-2	-3	-3	
12,5	46	36	31	26	23	22	18	16	15	13	12	11	10	9	7	6	5	5	4	3	2	2	1	1	0	-1	-1	-2	-2	-3	
13	47	37	31	27	24	22	19	17	15	14	12	11	10	9	8	7	6	5	4	4	3	2	2	1	1	0	-1	-1	-2	-2	
13,5	48	38	32	28	24	23	20	18	16	14	13	12	11	10	8	8	7	6	5	4	4	3	2	2	1	1	0	-1	-1	-2	
14	48	38	32	28	25	23	20	18	16	15	13	12	11	10	9	8	7	6	6	5	4	4	3	2	2	1	1	0	-1	-1	
14,5	49	39	33	29	25	24	21	19	17	15	14	13	12	11	9	9	8	7	6	5	5	4	3	3	2	2	1	1	0	-1	
15	49	39	33	29	26	24	21	19	17	16	14	13	12	11	10	9	8	7	7	6	5	5	4	3	3	2	2	1	1	0	



➤ *Ajuste de la Dosis de Cemento (razón W/C)*

Si se observa que la dosificación de los hormigones empleados en la faena entrega un hormigón de buena trabajabilidad y resistencia superior a la necesaria.

La dosis de cemento se ajusta, aumentando o disminuyendo los áridos en la misma proporción entre ellos que la dosificación original, con un peso similar a la variación de peso de cemento.

Los ajustes de disminución de cemento se recomienda realizarlos en cantidades de 10 kg por m³ cada vez.

Una vez realizado el ajuste, esperar a tener cinco muestras con ensayo a tres días, y si estas muestras arrojan valores 10% superiores a los mínimos indicados para el promedio y muestras individuales, proceder a una nueva reducción de cemento.

Si los valores para tres días están comprendidos entre 5% y 10% mayores a los valores indicados, esperar 5 resultados a siete días y analizar nuevamente los resultados a tres días, con el número de probetas existentes hasta ese momento.

Con esta información decidir sobre una nueva variación de dosis de cemento

Si los valores obtenidos a tres y siete días son menos de 5% mayores que los valores indicados anteriormente, realizar los ajustes con resultados a 28 días. Estos ajustes con resultados a 28 días se deben realizar en dosis de cemento menores a 10 kg por m³ cada vez.

También se puede utilizar la Fig. 28 (Relación entre la resistencia a la compresión y la razón Agua/Cemento con el método Inglés).

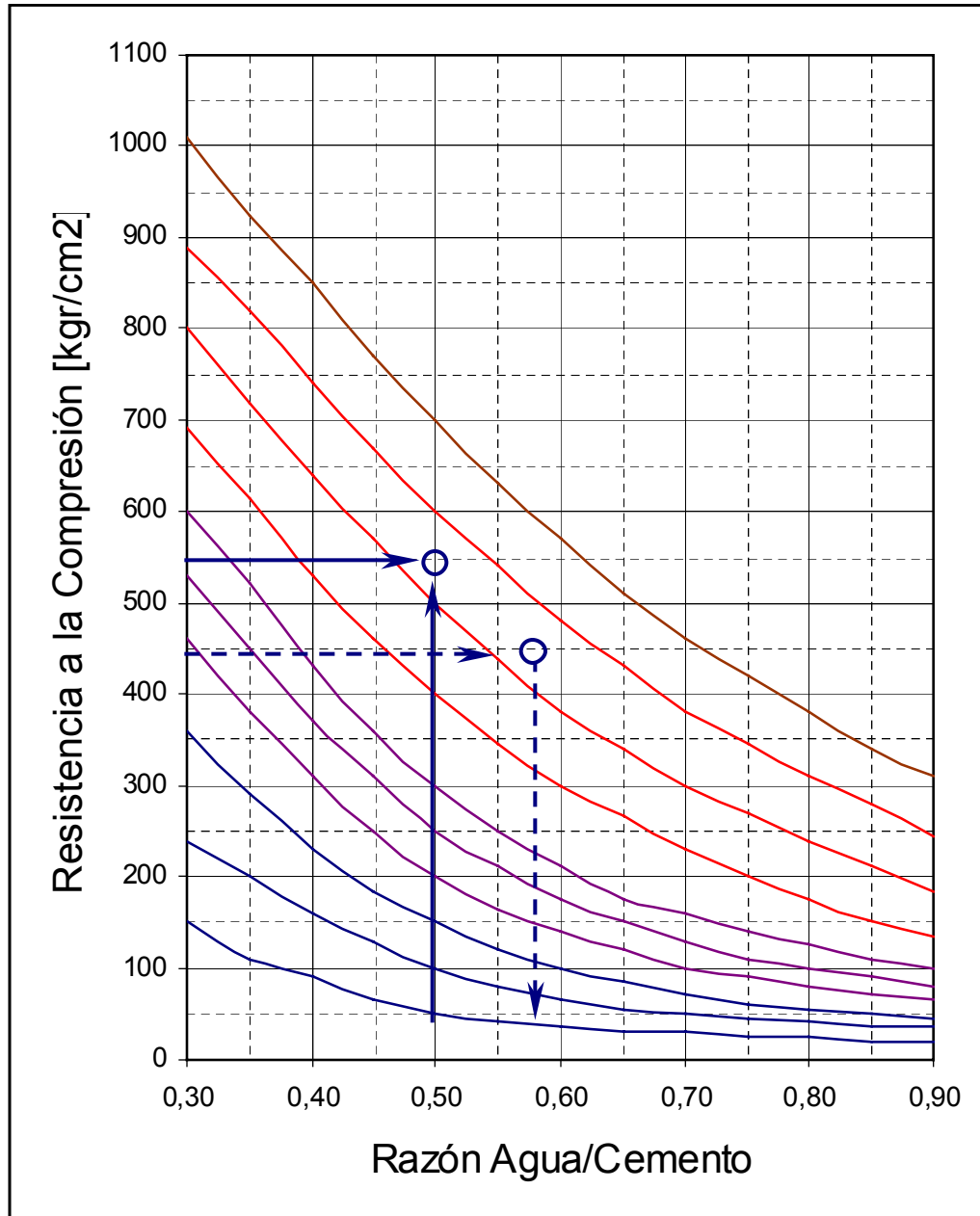
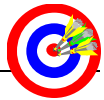


Fig. 28: Relación entre Resistencia a la Compresión y Razón Agua/Cemento



EJEMPLO:

PE 2

HORMIGON DE PRUEBA
DOSIFICACION Y CORRECCION

PE 2

Solicitado por INSTITUTO CHILENO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGON

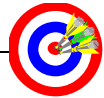
Identificación del hormigón H35(10)40-6-CA

Fecha confección Prop. Aídos (%) Proportión Coma Temp. horn
 Hora confección Gralla = Gralla = N°colg cam 39 %aire Temp. Amb
 Cemento (10%) = Arena Gruesa = Arena Meda = Ortos = Diferencia Com Agua
 agua (10%) = Ortos =

Tara	8180
Tara Hormigón	32400
Volumen	10016
Densidad (kg/m³)	2418

ESTUDIO DE LA DOSIFICACION										HORMIGON DE PRUEBA				Corregido/Correg. C = de							
Materia	Un.	Tipo	P. s.s.s.	Doss	Vol. Abs.	sss CORR	P. s.s.s.	Abs	P. seco	Hum	P. Húmedo	Cochocada	Dif.	P. Húmedo	P. Seco	P. s.s.s.	P. s.s.s.	P. s.s.s.	Vol. Abs.	P. s.s.s. CORR.	
Cemento	kg	P. dlp. Esp.	348	2.900	0.120	348	348	348	348	348	348	13.92	0.220	13.92	13.92	34.9	34.8	34.8	0.120	348	
Agua	L	P. dlp. Esp.	159	1.000	0.159	159	164	188	188	155	155	6.21	0.220	6.43	7.74	6.76	1.69	1.69	0.169	169	
Grava	kg	Pegson Orto	587	2.715	0.216	572	588	0.81	563	0.66	567	22.69		22.69	22.94	22.72	5.70	5.70	0.210	563	
Gravilla	kg	Medio Orto	313	2.723	0.115	305	308	1.02	300	0.94	301	12.04		12.04	12.00	12.12	3.04	3.04	0.112	300	
Arena Gruesa	kg	Medio Orto	391	2.689	0.145	381	378	1.37	373	3.19	385	15.39		15.39	14.92	15.12	3.79	3.80	0.141	375	
Arena Meda	kg	Lalura Rod	685	2.685	0.248	648	648	1.87	631	2.55	647	25.89		25.89	25.25	25.72	6.45	6.46	0.240	688	
Otros	kg		0		0.000	0	0	0	0	0	0	0.00		0.00	0.00	0	0	0	0.000	0	
Aditivo 1	kg	Aditast 21	1.534	1.130	0.001	1.534	1.534	0	1.534	1.534	1.534	0.061		0.06	0.061	1.539	1.534	1.534	0.001	1.534	
Aditivo 2	kg		0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Aire	%		0		0.015	0.000	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0.015	0	
Pasos específicos para los aditivos =			2.723	Vd. Abs. =	1.019	2413.10	2405.21	2454	2405.21	33.08	2404.91	56.20	0.22	56.42	56.42	241.8	241.8	241.8	1.008	2386.36	
Pasos específicos para los aditivos =			2.723	Vd. Abs. =	1.000	2405.21	2405.21	2405.21	2405.21	33.08	2404.91	40.00	0.22	40.22	40.22	2387.11				1.000	2386.36
Pasos específicos para los aditivos =			2.723	Vd. Abs. =	1.000	2405.21	2405.21	2405.21	2405.21	33.08	2404.91	40.00	0.22	40.22	40.22	2387.11				1.000	2386.36
Pasos específicos para los aditivos =			2.723	Vd. Abs. =	1.000	2405.21	2405.21	2405.21	2405.21	33.08	2404.91	40.00	0.22	40.22	40.22	2387.11				1.000	2386.36

W/C = 0.461 W/C = 0.461 W/C = 0.461 W/C = 0.461 W/C = 0.461 W/C = 0.461 W/C = 0.461 W/C = 0.461 W/C = 0.461 W/C = 0.461



APROBACION DISEÑO HORMIGONES

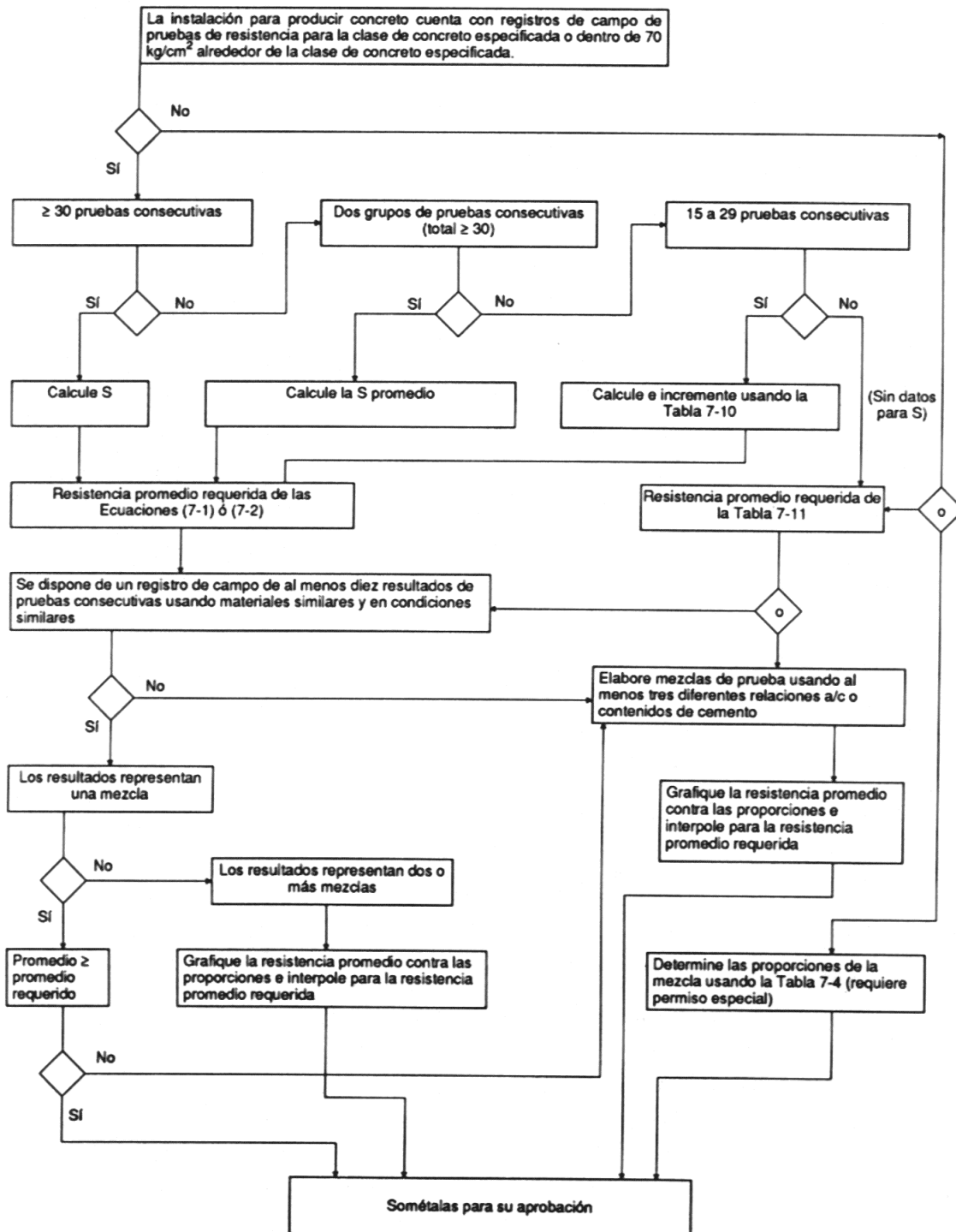


Fig. 29 Diagrama de Flujo ACI para Selección y Documentación Proporciones Hormigón



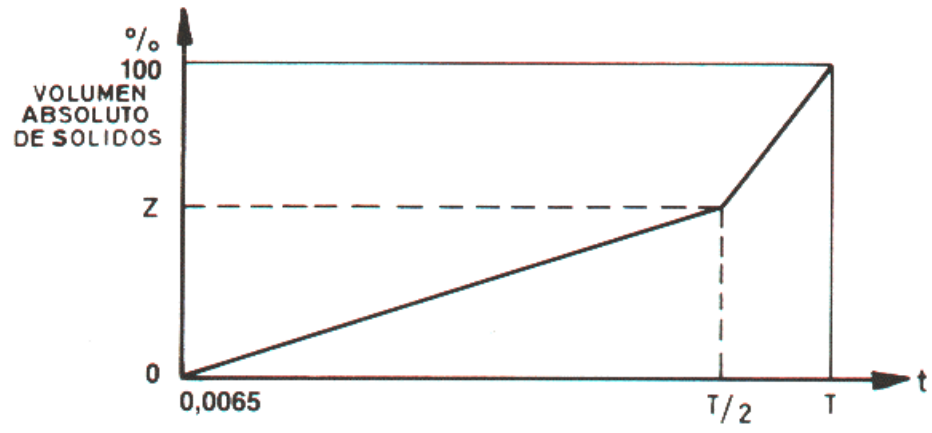
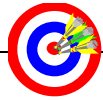


Fig. 21: Curva Granulométrica Ideal de Faury