



Steel Framing: Arquitectura

*Arlene María Sarmanho Freitas,
Renata Cristina Moraes de Crasto*

alacero

ASOCIACIÓN
LATINOAMERICANA
DEL ACERO

ARLENE MARIA SARMANHO FREITAS

RENATA CRISTINA MORAES DE CRASTO

STEEL FRAMING: ARQUITECTURA

Editado por: Asociación Latinoamericana del Acero, Alacero

En base al original en portugués editado por el INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA
CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO EM AÇO - Adaptado en versión español para
su difusión en América Latina

(c)2006 INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA/CENTRO BRASILEÑO DE CONSTRUCCIÓN EN ACERO
(c)2007 INSTITUTO LATINOAMERICANO DEL FIERRO Y EL ACERO

Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida por medio alguno sin previa autorización de esta editorial.

Ficha catalográfica

Freitas, Arlene Maria Sarmanho
Steel Framing: Arquitectura/Arlene Maria Sarmanho Freitas,
Renata Cristina Moraes de Crasto. -
Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006 / Santiago de Chile ILAFA 2007.

ISBN: 978-956-8181-02-4

119 p.;

Bibliografía

1- Light Steel Framing 2-Steel Framing 3-Paneles de muros 4- Entrepisos
5-Cubiertas 6-Cerramientos verticales 7-Uniones 8-Montaje 9-Construcción civil
10-Arquitectura 11-Perfiles 12- Perfiles conformados 13- Perfiles zincados
14-Vivienda

Traducción al español de Annemarie Hoffa.
Revisión técnica y adaptación de la versión española: Esteban Jauregui
Coordinación con el Manual de Ingeniería: Roberto Dannemann

Asociación Latinoamericana del Acero, Alacero
Benjamín 2944. Piso 5
Las Condes, Santiago, Chile
E-mail: docentes@alacero.org
Sites: www.construccionenacero.com, www.alacero.org

F866s
CDU 692(035)

Tabla de Contenido

Capítulo 1	
Introducción	09
Capítulo 2	
Características del sistema steel framing (SF)	11
2.1 Ventajas del uso del sistema steel framing	16
2.2 Aplicaciones	18
2.3 Perfiles conformados en frío y su utilización en la construcción civil	21
2.4 Tipos de perfiles utilizados para el SF	22
2.5 Métodos de construcción	24
2.6 Fundaciones	26
2.6.1 Platea de hormigón armado	26
2.6.2 Zapata corrida o viga de fundación	27
2.6.3 Fijación de los paneles en la fundación	27
Capítulo 3	
Paneles de muros	29
3.1 Paneles estructurales o autoportantes	30
3.1.1 Abertura de vanos en un panel estructural	31
3.1.2 Estabilización de la estructura	35
3.1.3 Rigidización Horizontal	40
3.1.4 Encuentro de paneles	42
3.1.5 Empalme de solera	44
3.2 Paneles no estructurales	45
3.3 Paredes curvas, arcos y formas atípicas	46
Capítulo 4	
Entrepisos	49
4.1 Tipos de entrepisos	52
4.2 Vigas de entepiso	54
4.3 Rigidización horizontal	58
4.4 Escaleras	59
Capítulo 5	
Cubiertas	61
5.1 Tipos de cubiertas	62
5.1.1 Cubiertas planas	62
5.1.2 Cubiertas inclinadas	63
5.2 Cubiertas estructuradas con cabios y vigas	63
5.2.1 Estabilización de la cubierta estructurada con cabios y vigas	65
5.3 Cubiertas estructuradas con cabriadas o cerchas	66
5.3.1 Estabilidad de la cubierta estructurada con cabriadas	71

Capítulo 6

Cerramientos	75
6.1 Paneles de OSB	77
6.1.1 Revestimientos vinílico	79
6.1.2 Revoques	81
6.2 Mampostería	82
6.3 Placas cementicias	82
6.4 Yeso cartón	84
6.4.1 Características de las placas de yeso cartón	85
6.4.2 Perfiles de acero para sistemas de tabiques en seco	85
6.4.3 Aspectos de proyecto y ejecución	85
6.4.4 Montaje del sistema tabiques en seco	86
6.5 Aislamiento termoacústico	87
6.5.1 Aislamiento acústico	87
6.5.2 Aislamiento térmico	90

Capítulo 7

Uniones y montaje	93
7.1 Uniones	94
7.1.1 Tornillos	94
7.1.2 Aplicaciones	95
7.2 Montaje	96
7.2.1 Sistema de paneles	97
7.2.2 Montaje de la estructura de paneles de la planta baja	98
7.2.3 Montaje de la estructura de entepiso	100
7.2.4 Montaje de la estructura de paneles del piso superior	101
7.2.5 Montaje de la estructura del techo	102

Capítulo 8

Directivas para proyectos	105
8.1 Industrialización de la construcción	106
8.2 Coordinación modular	108
8.3 Reticulados modulares	109
8.4 Proyecto para producción	110
8.5 Directrices para el proyecto de arquitectura	112
8.5.1 Estudio preliminar	112
8.5.2 Anteproyecto	112
8.5.3 Proyecto ejecutivo y de detalle	113

Referencias Bibliográficas	115
----------------------------	-----

El sistema constructivo denominado Steel Framing, que consiste básicamente en un entramado de perfiles cincados conformados en frío, constituye uno de los usos con crecimiento y potencial más importante de la construcción actual de viviendas.

Por esa razón ILAFA (Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero) ha encarado la edición de este texto sobre Arquitectura del Steel Framing. Para ello ha optado por la traducción al español de un texto editado por el Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) que se ha adaptado para su utilización en el resto de América Latina.

Agradecemos muy especialmente la cesión de los respectivos derechos por las autoras: Arlene Maria Sarmanho Freitas y Renata Cristina Moraes de Crasto, así como del Instituto Brasileiro de Siderurgia y el mencionado CBCA, gracias a la gestión de su Directora Ejecutiva Cátia Mac Cord Simões Coelho.

Este texto se complementará con otro de Steel Framing: Ingeniería, que también editará ILAFA, y con el que conformará una unidad conceptual. Al respecto gran parte de los términos técnicos con los sinónimos que se utilizan en distintos países, están definidos en el capítulo 1 del Manual de Ingeniería.

Santiago de Chile, diciembre de 2007

Capítulo 1

Introducción

Dado el crecimiento demográfico y de los avances tecnológicos, la industria de la construcción civil del mundo ha buscado sistemas más eficientes de construcción con el objetivo de aumentar la productividad, disminuir el desperdicio y cubrir la creciente demanda. La construcción civil en la mayoría de los países de América Latina es todavía predominantemente artesanal, caracterizándose por su baja productividad y principalmente por el gran volumen de desperdicios. Es por esta razón que el mercado ha insistido en que esta situación debe cambiar y que el uso de nuevas tecnologías es la mejor forma de permitir la industrialización y racionalización de los procesos. Desde ese punto de vista, el uso del acero en la construcción civil aparece como una de las alternativas para cambiar el panorama del sector.

Aunque en América Latina existen países que están entre los mayores productores mundiales de acero, el empleo de este material en estructuras de edificaciones ha sido reducido en comparación al potencial del parque industrial regional. Paralelamente, el desarrollo de productos siderúrgicos amplía las alternativas de soluciones constructivas disponibles.

Un parámetro importante es que la utilización de sistemas constructivos con acero exige profesionales preparados, proyectos detallados e integrados, a fin de minimizar las pérdidas y los plazos en la construcción. En este aspecto el arquitecto desempeña un papel fundamental como promotor de la utilización de nuevas técnicas y productos.

Una acción generadora de una mayor utilización de sistemas constructivos en acero es el acceso a información de calidad, y orientada al arquitecto, y esta es precisamente la premisa de este manual.

Es así como este manual tiene el objetivo de orientar a los arquitectos y otros profesionales del área en la concepción de proyectos de edificaciones con el sistema Steel Framing (SF).

Este manual presenta los aspectos relacionados con el proyecto y montaje de edificios con el sistema constructivo Steel Framing, basado en una extensa investigación bibliográfica, objeto de la tesis de magíster en 2005 de Renata Crasto, titulada "Arquitectura y Tecnología de Sistemas Constructivos Industrializados-Light Steel Framing", del Programa de Postgrado en Construcción Metálica de la Escuela de Minas de la Universidad Federal de Ouro Preto, visitas técnicas, seguimiento de obras y capacitación.

Capítulo 2

Características del sistema
steel framing

Características del sistema steel framing

El sistema del Steel Framing (SF), como se le conoce a nivel mundial, es un sistema constructivo de concepción racional, cuya principal característica es una estructura constituida por perfiles formados en frío de acero galvanizado que son utilizados para la composición de paneles estructurales y no estructurales, vigas secundarias, vigas de piso, cabios del techo y otros componentes (Foto 2.1). Por ser un sistema industrializado, posibilita una construcción en seco de gran rapidez de ejecución. Gracias a estas características, el sistema Steel Framing también es conocido como Sistema Autoportante de Construcción en Seco.



Foto 2.1- Estructura de una vivienda en Steel Framing, São Paulo. (Fuente: Construtora Sequência)

La interpretación de la expresión inglesa “Steel Framing”, “steel = acero” y “framing” que deriva de “frame = estructura, esqueleto, disposición, construcción” (Diccionario Michaelis, 1987), puede ser definida como: Proceso por el que se compone un esqueleto estructural en acero formado por diversos elementos individuales unidos entre sí, que así funcionan en conjunto para resistir las cargas que solicitan al edificio y a la estructura y le dan su forma. Así, el sistema SF no sólo está restringido a su estructura. Como un sistema destinado a la construcción de edificios, abarca varios componentes y “subsistemas”. Estos subsistemas incluyen además el estructural, aislamiento termoacústico, de cierres interno y externos y de instalaciones eléctricas e hidráulicas (ConsulSteel, 2002)

Muchas publicaciones usan el término Light Gauge Steel Frame en que “gauge” es una unidad de medida, ahora casi en desuso, que define el espesor de las chapas de metal.

Para que el sistema cumpla con las funciones para el cual fue proyectado y construido es necesario que los subsistemas estén correctamente interrelacionados y que los materiales utilizados sean los adecuados. Por lo tanto, la selección de los materiales y de la mano de obra es esencial para la velocidad de construcción y el desempeño del sistema (Foto 2.2).

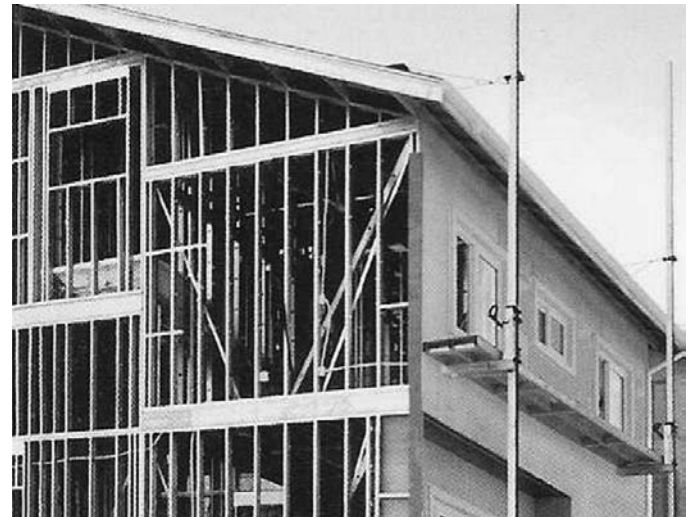


Foto 2.2 - Montaje de una casa en Steel Framing, São Paulo- SP (Fuente: Construtora Sequência)

A pesar de ser considerada como una tecnología nueva, el origen del Steel Framing se remonta al inicio del siglo XIX. De hecho, históricamente se inicia con las casas de madera construidas por los colonizadores en el territorio norteamericano en esa época. Para atender el crecimiento de la población hubo que recurrir a métodos más rápidos y productivos en la construcción de viviendas, utilizando los materiales disponibles en la región, en este caso la madera. Ese método consistía en una estructura compuesta de piezas de madera aserrada de pequeña sección transversal, lo que se conoció como Balloon Framing (ConsulSteel, 2002) (Figura 2.1).

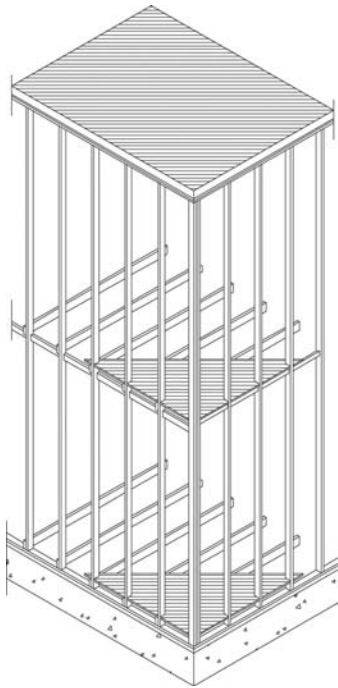


Figura 2.1- "Balloon framing" (de EE.UU)

A partir de ahí, las construcciones en madera, conocidas como "Wood Frame", se convirtieron en la tipología residencial más común en los Estados Unidos. Aproximadamente un siglo más tarde, en 1933, producto del gran desarrollo de la industria del acero en los Estados Unidos, se lanzó en la Feria Mundial de Chicago el prototipo de una residencia en Steel Framing (Foto 2.3) que utilizó perfiles de acero en lugar de la estructura de madera (Frechette, 1999).

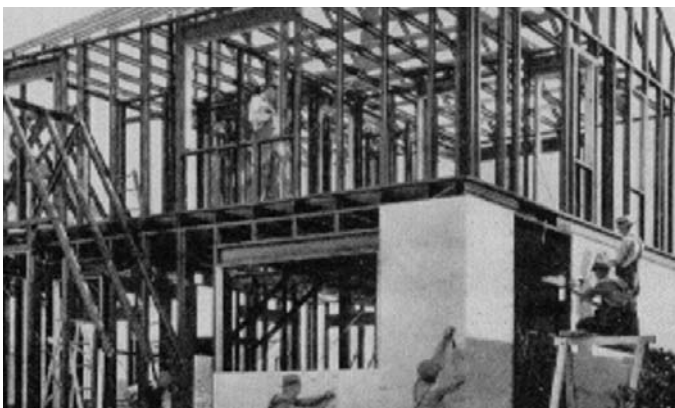


Foto 2.3 - Prototipo de residencia en Light Steel Framing en la Exposición Mundial de Chicago en 1933 (Fuente: disponible en: <http://webpages.marshall.edu/~brooks/STRAN/stran1.htm>)

El crecimiento de la economía norteamericana y la abundante producción de acero en el período post-Segunda Guerra contribuyó al des-

arrollo de los procesos de fabricación de perfiles conformados en frío, y el uso de los perfiles de acero en sustitución de los de madera, que ofrecían las ventajas de la mayor resistencia y eficiencia estructural del acero y la capacidad de la estructura de resistir a catástrofes naturales, tales como terremotos y huracanes (Foto 2.4). En la década de los años 90, las fluctuaciones en el precio y en la calidad de la madera para construcción civil estimularon el uso de los perfiles de acero en la edificación residencial. Se estima que hasta el final de la década 90, un 25% de la edificación residencial en Estados Unidos se basó en el sistema del SF (Bateman,1998).

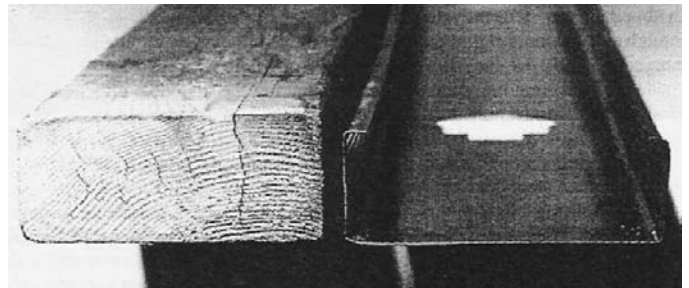


Foto 2.4 - Perfiles estructurales de madera y acero galvanizado. (Fuente: Robert Scharff).

En Japón, las primeras construcciones en SF comenzaron a aparecer después de la Segunda Guerra Mundial cuando hubo que reconstruir cuatro millones de viviendas destruidas por los bombardeos. La madera, material usado en la estructura de las casas, había sido un factor agravante de los incendios que se propagaron durante los ataques. Luego el gobierno japonés restringió el uso de la madera en construcciones autoportantes a fin de proteger los recursos forestales que de otro modo se habrían podido agotar y también para promover la construcción con materiales no inflamables. La industria japonesa del acero, viendo en esas restricciones un nicho de mercado, comenzó a producir perfiles livianos de acero para la construcción como un sustituto de los productos estructurales de madera. En consecuencia, Japón presenta un mercado y una industria altamente desarrollados en lo que respecta a la construcción con perfiles livianos de acero (Foto 2.5).

Características del sistema steel framing



Foto 2.5- Línea de montaje de módulos residenciales en Japón. (Fuente: SCI)

A pesar de que el SF es un sistema de construcción bastante usado en países donde la construcción civil es predominantemente industrializada, en la mayoría de los países de América Latina donde prevalece el método artesanal, aún es poco conocido. Así en primera instancia para ayudar a visualizar el sistema LSF vamos a recurrir al tabique en seco (Drywall), que es ampliamente utilizado en los tabiques interiores en la región, que a pesar de no tener una función estructural, utiliza perfiles galvanizados para componer un esqueleto en el que se fijan las placas de cerramiento. Sin embargo, hasta aquí no más llega la semejanza, ya que el sistema SF, como ya se explicó, es un sistema mucho más amplio, capaz de integrar todos los componentes necesarios para construir un edificio cuya estructura es fundamental. La ilustración permite visualizar esquemáticamente la estructura y los subsistemas de una vivienda en SF (Figura 2.2). La estructura del SF está básicamente compuesta por paredes, pisos y techo, que en conjunto posibilitan la integridad estructural del edificio, con la debida resistencia a los esfuerzos a los que está expuesta la estructura.

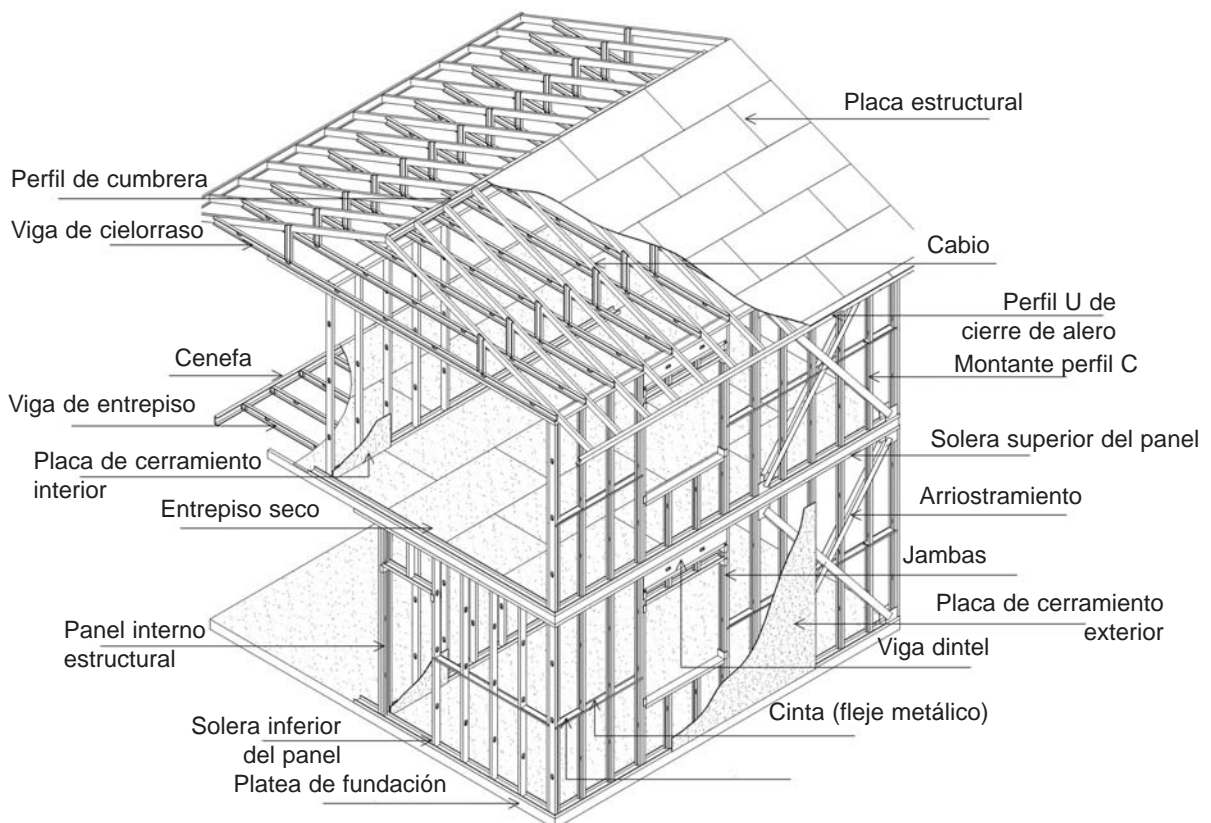


Figura 2.2- Vista esquemática de una vivienda en Steel Framing.

Las paredes que constituyen la estructura son llamados paneles estructurales o autoportantes; que están compuestas por una gran cantidad de perfiles galvanizados muy livianos, llamados montantes, que van separados entre si por 400 o 600 mm (Foto 2.6). Esta dimensión es definida de acuerdo con el cálculo estructural, y determina la modulación del proyecto. La modulación optimiza costos y mano de obra en la medida en que se estandaricen los componentes estructurales, los de cerramiento y de revestimiento. Los paneles tienen la función de distribuir uniformemente las cargas y transmitir las hasta el suelo. El cerramiento de estos paneles puede hacerse con diversos materiales, aunque normalmente se aplican externamente placas cementicias o placas de OSB (por sus siglas en inglés: oriented strand board, virutas de madera orientadas perpendicularmente) y para interiores, placas de yeso cartón.



Foto 2.6- Paneles sobre el suelo de tierra de vivienda habitacional Belo Horizonte - MG (Fuente: Archivo del autor)

Los entrepisos, partiendo del mismo principio de los paneles, utilizan perfiles galvanizados, dispuestos en la horizontal, obedeciendo a la misma modulación de los montantes. Estos perfiles son las vigas del entrepiso, sirviendo de estructura de apoyo a los materiales que forman la superficie del contrapiso. Las vigas del entrepiso van apoyadas en los montantes a fin de permitir que sus almas coincidan con las almas de los montantes, dando origen al concepto de estructura alineada o “in-line framing”. Esta disposición permite garantizar que predominen los esfuerzos axiales en los elementos de la estructura (Foto 2.7).



Foto 2.7 - Vista de la estructura del entrepiso con vigas de perfiles galvanizados y contrapiso en OSB. (Fuente: Archivo del autor).

Actualmente, dada la pluralidad de manifestaciones arquitectónicas, el arquitecto dispone de varias soluciones para las cubiertas de sus edificios. Muchas veces, la selección del tejado puede estar sometida a un estilo o una tendencia de época. Independiente de la tipología adoptada, desde el techo plano hasta unos tejados más elaborados, la versatilidad del sistema SF le ofrece al arquitecto libertad de expresión. Cuando se trata de techos inclinados, la solución se asemeja mucho a la construcción convencional con uso de montantes, pero substituyendo el maderamen por perfiles galvanizados (Foto 2.8). Las tejas de las techumbres pueden ser cerámicas, de acero, de cemento reforzado con fibras sintéticas o de concreto. También se usan tejas tipo “shingles”, compuestas de material asfáltico.



Foto 2.8 - Estructura del tejado de vivienda en Steel Framing. (Fuente: Archivo del autor)

Características del sistema steel framing

Así, de acuerdo con lo descrito anteriormente, podemos definir los fundamentos del sistema SF como:

- Estructura “panelizada”
- Modulación - tanto de los elementos estructurales, como de los demás componentes de cerramiento y de revestimiento, etc.
- Estructura alineada (in-line framing)

El uso de la estructura de acero no impone al proyecto que la misma esté a la vista. Muchos usuarios y proyectistas descartan la construcción de acero por pensar que resultará en una arquitectura demasiado peculiar o de alta tecnología. Esa resistencia es aún mayor cuando se trata de arquitectura residencial. Pero esta construcción en acero es muy versátil y posibilita cualquier proyecto arquitectónico, desde el momento en que es concebido y planeado considerando el comportamiento del sistema. La racionalización, industrialización y rapidez de ejecución, características tan apreciadas en la construcción, sólo son posibles si hay un planeamiento integral de la obra, lo que implica un proyecto ampliamente detallado. Lo mismo sucede con el Steel Framing donde el detalle de los proyectos tanto de arquitectura, como el estructural y los complementarios son esenciales para el mejor desempeño del sistema y para evitar patologías. Pero en este sistema la estructura nunca se presenta a la vista, ya que los elementos estructurales que forman las paredes, pisos y techos siempre van cubiertos por los materiales de cerramiento, de modo que el resultado final se asemeja al de una construcción convencional (Foto 2.9).



Foto 2.9 - Residencias construidas con el sistema Light Steel Framing en Cotia - São Paulo. (Fuente: Archivo del autor)

La estructura de perfiles de acero galvanizado es la parte principal del sistema SF. Para componer un conjunto autoportante capaz de resistir los esfuerzos solicitados por el edificio es necesario que el dimensionamiento de los perfiles y el proyecto estructural sean ejecutados por profesionales especializados.

Para el dimensionamiento y diseño estructural se recomienda consultar al manual Steel Framing - Ingeniería también editado por ILAFA (2007). Todo proyecto debe cumplir las normas editadas por AISI (American Iron and Steel Institute) y las normas locales de los países del área.

2.1. Ventajas del Uso del Sistema Steel Framing

Los siguientes son los principales beneficios y ventajas del uso del sistema Steel Framing (SF) en la construcción de edificios:

- Los productos que constituyen el sistema son estandarizados de tecnología avanzada, ya que los elementos constructivos son producidos industrialmente, donde la materia prima utilizada, los

procesos de fabricación, sus características técnicas y de acabado pasan por rigurosos controles de calidad;

- El acero es un material de comprobada resistencia y el alto control de calidad desde la producción de las materias primas hasta sus productos, lo que redundará en una mayor precisión dimensional y un mejor desempeño de la estructura;
- Facilidad de suministro de los perfiles conformados en frío, que sean de producción estándar por la industria local;
- Durabilidad y vida útil de la estructura, gracias al proceso de galvanización de las chapas a partir de las que se obtienen los perfiles;
- Facilidad de montaje, manejo y transporte gracias al bajo peso de los elementos;
- Construcción en seco, lo que minimiza el uso de recursos naturales y los desperdicios;
- Los perfiles perforados previamente y la utilización de los paneles de yeso cartón facilitan las instalaciones eléctricas e hidráulicas;
- Mejores niveles de desempeño termoacústico se logran mediante la combinación de materiales de cerramiento y aislamiento;
- Facilidad de ejecución de las uniones;
- Rapidez de construcción, ya que el terreno se transforma en el sitio de montaje;
- El acero es un material incombustible;
- El acero puede ser reciclado muchas

veces sin perder sus propiedades;

- Gran flexibilidad en el proyecto arquitectónico, sin limitar la creatividad del arquitecto.

2.2. Aplicaciones

Las aplicaciones del sistema Steel Framing son variadas según los siguientes ejemplos:

a) Residencias Unifamiliares:



Foto 2.10 - Residencia en Cotia - SP (Fuente: Archivo autor)

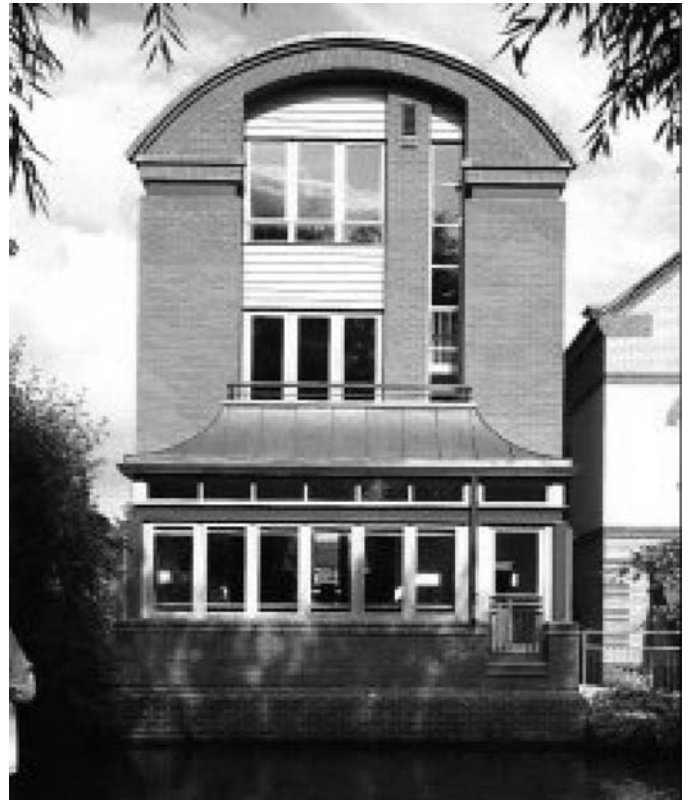


Foto 2.12 - Residencia en Oxford - Inglaterra (Fuente: disponible: <http://www.steel-sci.org/lightsteel/>)



Foto 2.11 - Residencia en Chile. (Fuente: Guy Wenborne¹)



Foto 2.13 - Residencia en São Paulo. (Fuente: Disponible en: <http://www.construtorasequencia.comr>)

¹ Imagen originalmente publicada en: PETERSON, Eduard. *Arquitectura Minimalista*. Barcelona: Atrium Group de Ediciones y Publicaciones, S.L., 2004.



Foto 2.15 - Prototipo de una residencia unifamiliar de la empresa USIMINAS.

b) Edificios residenciales y comerciales de hasta cuatro pisos:



Foto 2.14 - Prototipo de una residencia unifamiliar en Paris (Fuente: Revista Architecture à Vivre)



Foto 2.16 - Edificio en Inglaterra. (Fuente: SCI)

Características del sistema steel framing



Foto 2.17 - Edificio en Dublin - Irlanda (Fuente: disponible en: <http://www.steel-sci.org/lightsteel>)

c) Hoteles:



Foto 2.18 - Hotel en Inglaterra (Fuente: disponible en: <http://www.steel-sci.org/lightsteel>)

d) Hospitales, clínicas, establecimientos educativos:



Foto 2.19 - Clínica de Neumología Anglo Gold - Nova Lima - MG (Fuente: Archivo del autor)

e) Unidades modulares.

En lo que respecta a unidades modulares existen módulos individuales prefabricados de baños, cocinas, y otras dependencias para la construcción de edificios residenciales, comerciales, hoteles, etc.



Foto 2.20 - 1.425 módulos en LSF conforman este edificio en Inglaterra. (Fuente: disponible en: http://www.corusconstruction.con/page_9088.htm).



Foto 2.21 - Módulos de baños prefabricados y colocados en el Hotel Mondial Airport Business en São Paulo. (Fuente: Zigurate Editora)²

f) Remodelación de edificios.

Para el caso de remodelación de edificios puede utilizarse el sistema Steel Framing para el revestimiento de fachadas, la construcción de altillos y techos, para la sustitución de techos, etc.

² Imagen originalmente publicada en Dias, Luís Andrade de Mattos. *acero y Arquitectura: Estudio de Edificaciones en Brasil*. São Paulo: Zigurate Editora, 2001. pg. 169.



Foto 2.22 - Reforma de fachada usando Steel Framing.
(Fuente: disponible en: <http://www.steel-sci.org/lightsteel>)

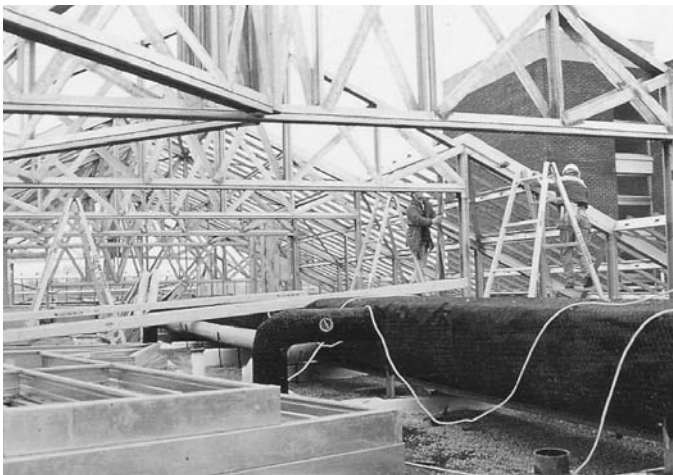


Foto 2.23 - Reforma de techumbres usando en reemplazo montantes fabricados con perfiles conformados en frío.
(Fuente: SCI)

2.3. Perfiles Conformados en Frío y su Utilización en la Construcción Civil

Las estructuras de acero están compuestas de dos “familias” de elementos estructurales. Una es la de perfiles laminados en caliente y la otra es la de los perfiles conformados en frío. Los perfiles estructurales de acero conformados en frío se obtienen a partir del doblado en prensa dobladora, o por perfilado en un conjunto de matrices rotatorias (Foto 2.24), de flejes de acero cortados de chapas o bobinas laminadas en frío o en caliente, revestidas o no.

De este modo se pueden fabricar secciones de diversa forma y/o dimensión. Estas operaciones ocurren con el acero a la temperatura ambiente, de ahí el término “conformado en frío”.



Foto 2.24 - Fabricación por perfilado de perfiles de sección C.
(Fuente: SCI)

Con el desarrollo de la ingeniería civil, estas estructuras más livianas y económicas asociadas a la industrialización del proceso de construcción, han avanzado satisfaciendo las expectativas tecnológicas. Los perfiles de acero conformados en frío se encuadran perfectamente en este escenario. La utilización en ingeniería civil de estructuras de acero compuestas por perfiles conformados en frío se encuentra actualmente en América Latina en una fase de rápido crecimiento, en virtud de las diversas ventajas que el empleo de estos perfiles ofrece.

Las ventajas fundamentales son la gran versatilidad, tanto en la fabricación de las secciones en formas bastante variadas que puedan ser adaptadas a un gran número de aplicaciones, en la construcción y montaje de las estructuras, ya que son elementos extraordinariamente livianos en comparación a otros perfiles. En la práctica estas ventajas ofrecen la posibilidad de construir diversos tipos de estructuras a un costo relativamente bajo. En consecuencia, la utilización de perfiles conformados en frío se ha hecho cada vez más común en la construcción de estructuras para

edificios residenciales y comerciales, techumbres, galpones, pasarelas, residencias, estanterías industriales para almacenamiento, etc.

2.4. Tipos de Perfiles Utilizados para el SF

Los perfiles típicos para el uso en Steel Framing se obtienen por perfilado a partir de bobinas de acero revestidas con cinc o una aleación de cinc-aluminio en el proceso continuo de inmersión en caliente o por electrodeposición, cuyo producto es conocido como acero galvanizado.

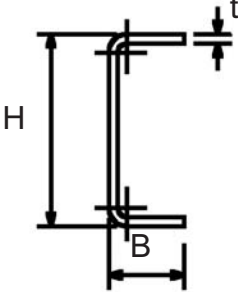
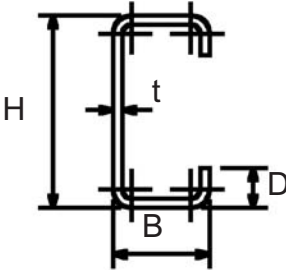
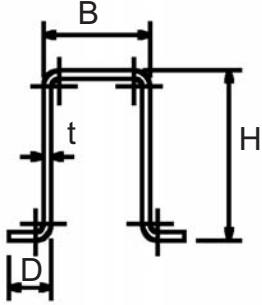
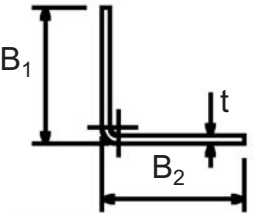
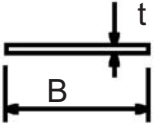
Las masas mínimas de revestimiento se encuentran entre los 100 y los 150 gramos por m² computado en ambas caras. El espesor de la chapa varía entre 0,8 y 3,2 mm para los perfiles del SF y perfiles de hasta 0,4 mm para tabiques no portantes. Las secciones más comunes para la construcción en Steel Framing son las en forma de "C" para montantes y vigas y el perfil "U" que es usado como solera en la base y en el tope de los paneles.

La Tabla 2.1 presenta las secciones transversales de los perfiles utilizados y sus aplicaciones. La sección del perfil U (solera) tiene un alma (H) y ala (B) pero sin la pestaña (D) que tiene el montante, lo que permite que encaje en la solera. Las soleras no deben transmitir ni absorber los esfuerzos; los que lo hacen son los montantes, las vigas y eventualmente los pilares presentes en la estructura.

Las dimensiones del alma de los perfiles C varían generalmente entre 40 y 300 mm (medidas externas), a pesar de que es posible usar otras dimensiones. Los perfiles U presentan un ancho de alma mayor que el del perfil C, a fin de permitir el encaje en el perfil guía solera o U. Las alas pueden variar entre 25 y 50 mm, según el fabricante y el tipo de perfil. Los otros perfiles que pueden ser necesarios para estructuras de SF son tiras planas (cintas), los perfiles L y perfiles galera. Los flejes, que vienen en una varie-

dad de anchos, son utilizados típicamente para la estabilización de los paneles y la formación de uniones. Los perfiles L se utilizan por lo general en las conexiones de elementos donde un perfil C no es adecuado, y el perfil Galera se emplea normalmente como listón de tejado (Garner, 1996). Además del espesor (tn), la resistencia de un perfil de acero depende de la dimensión, forma y límite de elasticidad del acero. El límite de elasticidad de los perfiles de acero cincado no debe ser inferior a 230 MPa. Detalles de las especificaciones del producto disponibles en los diferentes países de la región pueden encontrarse en: www.construccionesa-cero.com

Tabla 2.1- Ejemplo de identificación de perfiles conformados en frío y sus aplicaciones

SECCIÓN TRANSVERSAL	Designación	Utilización
	<p>Perfil U</p> <p>$H \times B \times t$</p>	<p>Solera</p> <p>Puntal</p> <p>Bloqueador</p> <p>Cenefa</p> <p>Atiesador</p>
	<p>Perfil C</p> <p>$H \times B \times D \times t$</p>	<p>Montante</p> <p>Viga</p> <p>Puntal</p> <p>Atiesador</p> <p>Bloqueador</p> <p>Correa</p> <p>Cabio</p> <p>Larguero</p>
	<p>Perfil Galera</p> <p>$H \times B \times D \times t$</p>	<p>Correa</p> <p>Larguero</p> <p>Puntal</p>
	<p>Angulo Conector</p> <p>$B_1 \times B_2 \times t$</p>	<p>Conector</p> <p>Atiesador</p> <p>Puntal</p>
	<p>Cinta Fleje</p> <p>$B \times t$</p>	<p>Riostras</p> <p>Tensores</p> <p>Diagonales</p>

Designaciones:

- H Altura del alma (web)
- B Ancho del ala (flange)
- t Espesor (thickness)
- D Ancho de pestaña (lip)

2.5. Métodos de Construcción

Esencialmente existen tres métodos de construcción de Steel Framing:

a) Método "Fabricación en obra":

En este método de construcción los perfiles son cortados en el sitio de la obra, y los paneles, losas, columnas, arriostramientos y cabriadas de techo son montados en la obra misma (Foto 2.25). Los perfiles pueden venir perforados para el paso de las instalaciones eléctricas e hidráulicas y los demás subsistemas son instalados después del montaje de la estructura. Esta técnica puede ser usada en los lugares en los que la prefabricación no es viable. Las ventajas de este método de construcción son:

- No hay necesidad que el constructor tenga un lugar de prefabricación del sistema.
- Facilidad de transporte de las piezas hasta el lugar de la obra;
- Las uniones de los elementos son de fácil ejecución, a pesar del aumento de actividades en la obra.



Foto 2.25-Steel framing montado mediante el método "Fabricación en obra" (Fuente: Robert Scharff).

b) Método por Paneles Prefabricados:

Los paneles estructurales o no estructurales, arriostramientos, entrepisos y cabriadas de techo pueden ser prefabricados fuera de la obra y montados en el sitio de construcción (Foto 2.26). También algunos materiales de cerramiento pueden aplicarse en la prefabricación para reducir el tiempo de construcción. Los tabiques y subsistemas se conectan en la obra mediante técnicas convencionales (tornillos autoperforantes) Las siguientes son sus principales ventajas:

- Rapidez de montaje;
- Alto control de calidad en la producción de los sistemas;
- Minimización del trabajo en la obra;
- Aumento de la debida precisión dimensional gracias a las condiciones más propicias de montaje de los sistemas en la planta de prefabricación.



Foto 2.26- Elementos estructurales como cerchas y paneles son prefabricados en plantas de prefabricación y llevados a la obra para el montaje de la estructura. (Fuente: <http://www.aegismetalframing.com>).

c) Construcción de Módulos:

Las unidades modulares son completamente prefabricadas para la entrega en el sitio de la obra con todos los acabados internos, tales como revestimientos, artefactos sanitarios, mobiliario fijo, metales, instalaciones eléc-

tricas e hidráulicas, etc. Las unidades pueden almacenarse apiladas, una sobre otra según la forma de la construcción final (Foto 2.27). Un ejemplo muy común de este tipo de construcción son los módulos de baño para edificios comerciales o residenciales de gran tamaño (Foto 2.28).



Foto 2.27 - Unidades modulares apiladas de acuerdo a la construcción final, el espacio que se ve al centro formará la vía de circulación de acceso a las unidades. (Fuente: SCI)

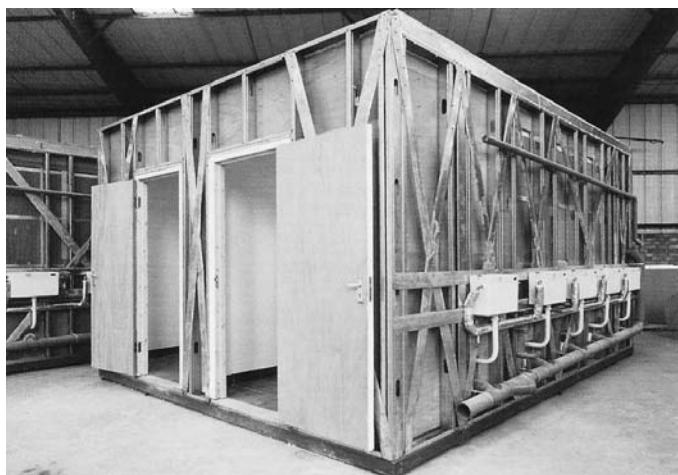


Foto 2.28 - Módulo de baño. (Fuente: SCI)

2.5.1 “Balloon Framing” y “Platform Framing”

La construcción de fabricación en obra o por paneles puede ser hecha en forma de “Balloon” o “Platform”. En la construcción “Balloon”, la estructura del piso se fija a los montantes; los paneles generalmente muy grandes van más allá de un piso. (Figura 2.3).

En la construcción “Platform” (por pisos), los entrepisos y las paredes se construyen en secuencia, planta por planta, y los paneles no son estructuralmente continuos. Las cargas de entrepiso son transmitidas axialmente a los montantes (Figura 2.4). Este método es bastante utilizado en la construcción actual, por lo que será abordado en forma más detallada.

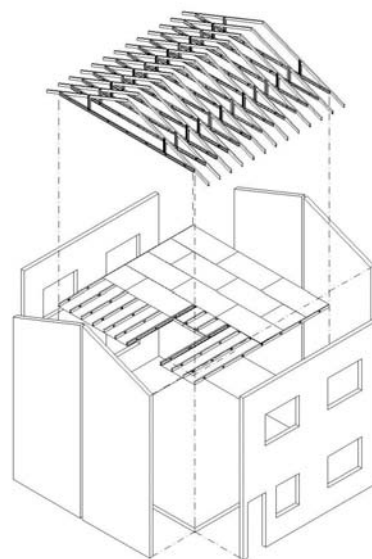


Figura 2.3 - Esquema de construcción tipo “balloon” (de pisos múltiples). (Fuente: SCI).

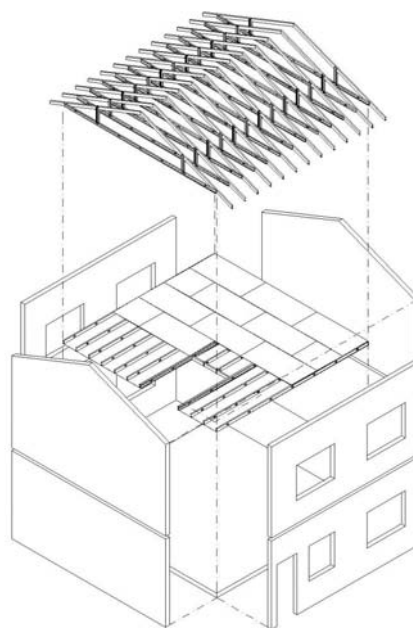


Figura 2.4 - Esquema de construcción tipo “platform” (por pisos). (Fuente: SCI)

2.6. Fundaciones

Por ser muy liviana, la estructura SF y los componentes de cerramiento exigen bastante menos a la fundación que en otros tipos de construcción. Pero como la estructura distribuye la carga uniformemente a lo largo de los paneles estructurales, la fundación debe ser continua y soportar los paneles en toda su extensión. La selección del tipo de fundación también dependerá de la topografía, del tipo de suelo, del nivel de la capa freática y de la profundidad del suelo firme. Estos datos los proporciona el estudio de suelo.

La construcción de las fundaciones se hace según el proceso convencional y como en cualquier otro caso debe observarse el aislamiento contra la humedad.

Es importante destacar que un buen proyecto y una buena ejecución de la fundación proporcionan una mayor eficiencia estructural. La calidad final de la fundación está íntimamente ligada al correcto funcionamiento de los subsistemas que forman el edificio (ConsulSteel, 2002). Es así como una base correctamente nivelada y escuadrada posibilita una mayor precisión de montaje de la estructura y demás componentes del sistema.

A continuación se describen las fundaciones tipo platea de hormigón y zapata corrida a fin de ilustrar el anclaje de los paneles a la fundación.

2.6.1. Platea de Hormigón Armado

La platea de hormigón es un tipo de fundación superficial que funciona como una losa y transmite las cargas de la estructura al terreno. Los componentes estructurales fundamentales de la platea, son la losa continua de concreto y las vigas en el perímetro de la losa y bajo las paredes estructurales o columnas, donde es más necesario tener rigidez en el plano de la fundación (Figura 2.5). Siempre que el tipo de terreno lo permite, la platea de hormigón es la fundación más comúnmente utilizada para viviendas en construcción Steel Framing.

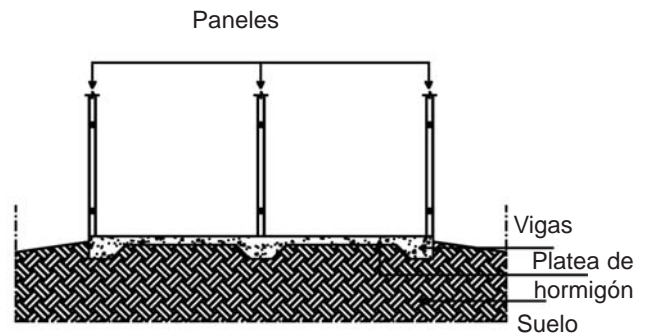


Figura 2.5 - Corte esquemático de una platea de hormigón (radier)

El dimensionamiento de la platea será el resultado del cálculo estructural y su procedimiento de ejecución debe observar algunas condiciones, tales como por ejemplo:

- A fin de evitar la humedad del suelo o la infiltración de agua en el edificio, es necesario mantener el nivel del contrapiso a un mínimo de 15 cm sobre el suelo;
- En las veredas alrededor del edificio, garajes y terrazas (Foto 2.29) deberá considerarse el escurrimiento del agua mediante una inclinación de por lo menos 5%.



Foto 2.29- Platea de hormigón (Fuente: Disponible en: www.metálica.com.br)

La Figura 2.6 muestra el detalle del esquema de anclaje de un panel estructural a una platea:

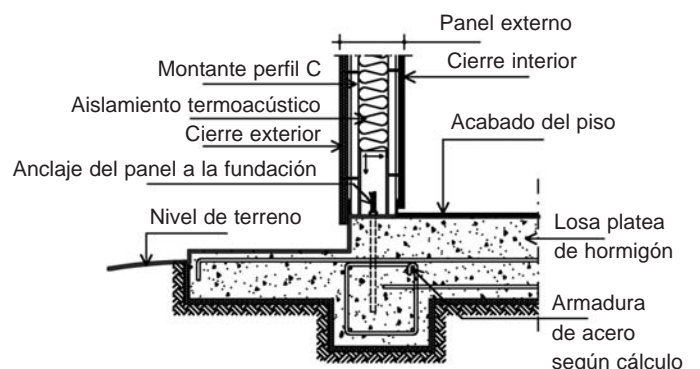


Figura 2.6 - Detalle esquemático de anclaje del panel estructural a una platea de hormigón (adaptado de Consul Steel, 2002).

2.6.2. Zapata Continua o Viga de Fundación

La zapata continua es el tipo indicado de fundación para construcciones con paredes portantes, donde la distribución de la carga es continua a lo largo de las paredes. Está constituido por vigas que pueden ser de hormigón armado, de bloques de hormigón o mampostería que se colocan bajo los paneles estructurales. El contrapiso de la planta baja para este tipo de fundación puede ser de hormigón o construido con perfiles galvanizados que apoyados en la fundación constituyen una estructura de soporte de los materiales que forman la superficie del contrapiso, como ocurre con los entrepisos (Ver capítulo 4). (Figura 2.7).

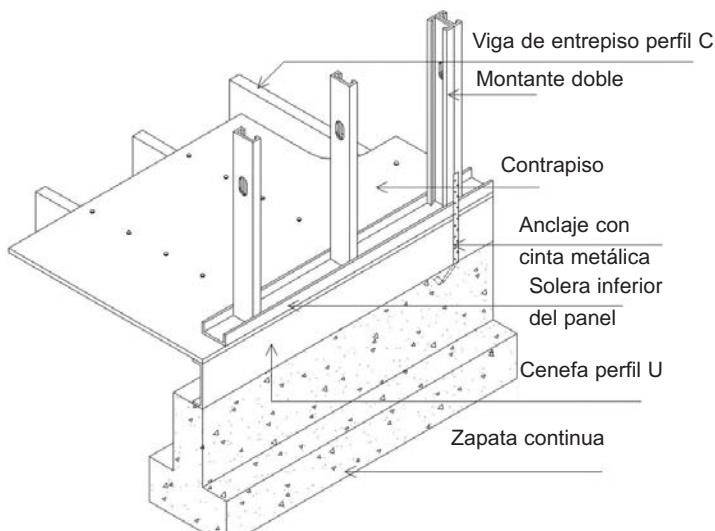


Figura 2.7 - Fundación tipo zapata continua

2.6.3. Fijación de los Paneles en la Fundación

Para evitar el movimiento del edificio debido a la presión del viento, la superestructura debe estar firmemente anclada en la fundación. Estos movimientos pueden ser de traslación o volcamiento con rotación del edificio (Figura 2.8). La traslación es una acción por la que el edificio es dislocado lateralmente debido a la acción del viento. Volcamiento es una elevación de la estructura en que la rotación puede ser causada por una asimetría en la dirección de los vientos que afectan al edificio. (Scharff, 1996)

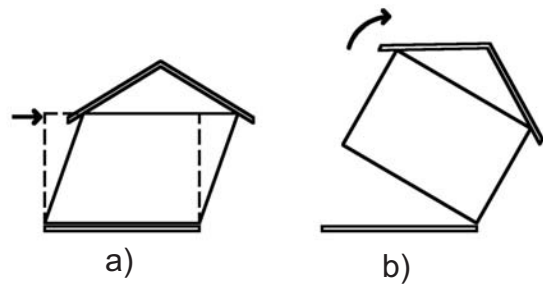


Figura 2.8 - Efectos de la carga del viento en la estructura: a) traslación y b). volcamiento.

La selección del anclaje más eficiente depende del tipo de fundación y de las solicitaciones a la que está sometida la estructura debido a las cargas, condiciones climáticas y ocurrencia de movimientos sísmicos (Consul Steel, 2002). El tipo de anclaje, sus dimensiones y su separación, se definen mediante cálculo estructural. Los tipos más utilizados de anclaje son: el químico con varilla roscada y bulones de anclaje de expansión.

a) Anclaje químico con varilla roscada:

El anclaje químico con varilla roscada se coloca después del hormigonado de la fundación. Consiste en una varilla roscada con arandela y tuerca, que se fija en el hormigón por medio de la perforación llenada con una resina química para formar una interfaz resistente con el hormigón. La fijación a la estructura se logra por medio de una pieza de acero que va conectada a la varilla roscada y a la solera inferior y atornillada al montante generalmente doble. La Figura 2.9 y la Foto 2.30 ilustran la fijación del panel a la fundación.

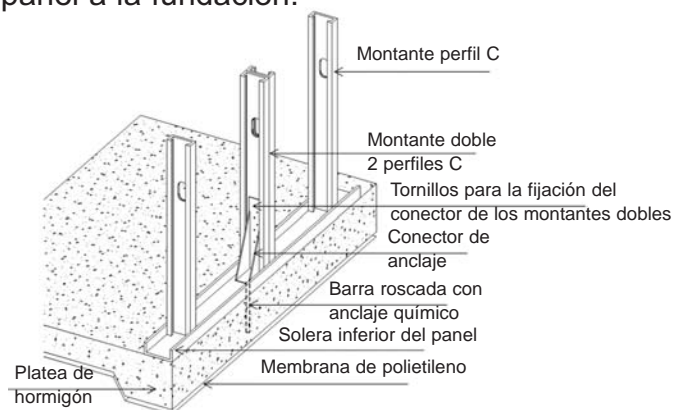


Figura 2.9 -Esquema general de anclaje químico con varilla roscada

Características del sistema steel framing



Foto 2.30- Detalle de la pieza de refuerzo en el anclaje de la estructura a la fundación por medio de varilla roscada. (Fuente: Archivo personal)



Foto 2.32 -Anclaje provisorio. (Fuente: Archivo del autor)

b) Anclaje expansible con bulón de anclaje



Foto 2.31 -Anclaje por bulones de anclaje (Fuente: Fischer)

c) Anclaje provisorio:

En el proceso de montaje de la estructura en la planta baja, los paneles son fijados a la fundación mediante el anclaje con herramientas accionadas con pólvora (Foto 2.32). Este método es utilizado para mantener los paneles a plomo cuando se montan y conectan a otros paneles del nivel hasta que termine el anclaje definitivo. También se utiliza fijación en el caso de paneles no estructurales y para evitar dislocaciones laterales.

Capítulo 3

Paneles de muros

Los paneles en el sistema Steel Framing no sólo pueden funcionar como tabiques de un edificio, sino también como el sistema estructural del mismo. Los paneles asociados a elementos de separación ejercen la misma función que las paredes de las construcciones convencionales.

Los paneles estructurales o portantes cuando forman la estructura, soportando las cargas de la edificación; pueden ser internos o externos. Son no estructurales cuando funcionan sólo como cerramiento externo o división interna, o sea, cuando no ejercen una función estructural.

En este capítulo se presentan detalladamente los paneles estructurales y sus elementos componentes y la forma de estabilización de la estructura.

3.1. Paneles Estructurales o Autoportantes

Los paneles estructurales están sujetos a cargas horizontales de viento y movimientos sísmicos, como asimismo de las cargas verticales de entrepisos, techados y otros paneles. Estas cargas verticales las origina el propio peso de la estructura y sus componentes constructivos y la sobrecarga por utilización (personas, muebles, máquinas, aguas lluvias, etc.). Por lo tanto, la función de los paneles consiste en resistir estos esfuerzos y transmitirlos a la fundación.

Los paneles están compuestos por una determinada cantidad de elementos verticales de perfil C llamados montantes y elementos horizontales transversales tipo U denominados soleras.

Los montantes de los paneles, por lo general, transfieren las cargas verticales por contacto directo a través de sus almas, ya que sus secciones coinciden de un nivel a otro, dando así origen al concepto de estructura ali-

neada. La Figura 3.1 ilustra la distribución de la carga y el detalle del alineamiento entre los elementos que componen el panel. Las vigas de entrepiso, cabriadas de techo y arriostramientos también deben estar alineados con los montantes. En caso de no poder lograr este alineamiento, deberá colocarse debajo del panel una viga capaz de distribuir uniformemente las cargas excéntricas.

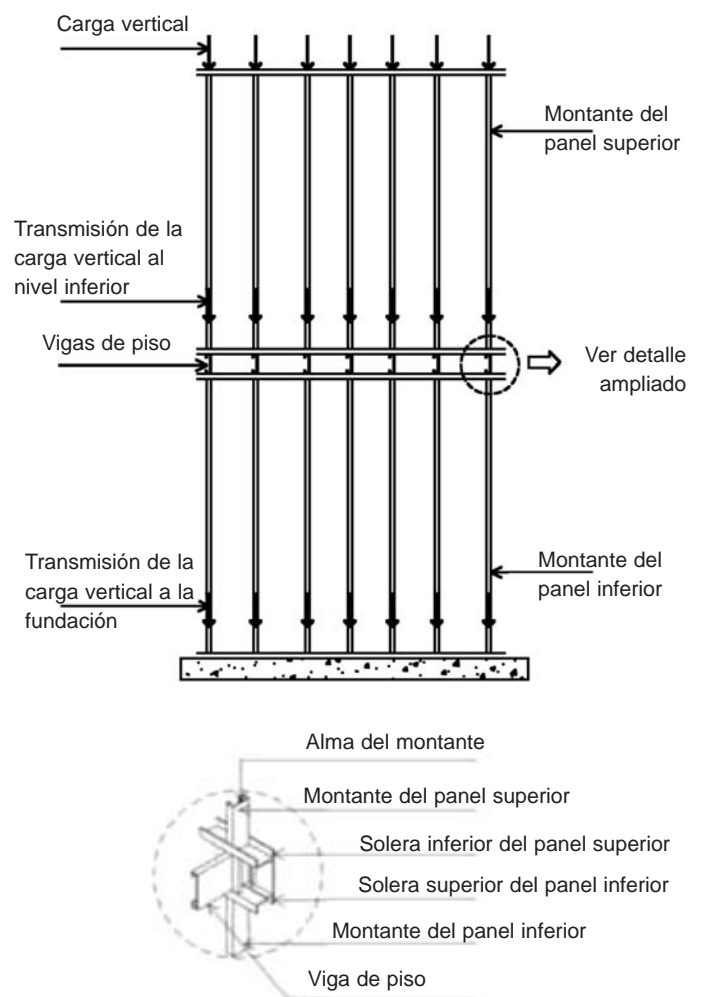


Figura 3.1- Transmisión de la carga vertical a la fundación.

La distancia entre los montantes o modulación, generalmente de 400 o 600 mm, la determinan las solicitaciones a que cada perfil es sometido. Lógicamente, cuanto mayor la separación entre los montantes, tanto menor será la cantidad de los mismos y, por consiguiente, mayor será la carga que cada uno debe absorber. Hay casos en que esta modula-

ción puede llegar a 200 mm, cuando los paneles soportan grandes cargas, tales como los tanques de agua (Foto 3.1).



Foto 3.1- Panel cuya modulación es de 200 mm debido a la carga de estanque de agua (Fuente: Archivo del autor)

Los montantes van unidos en sus extremos inferiores y superiores por las soleras, perfil de sección transversal U simple. Su función consiste en fijar los montantes a fin de constituir un entramado estructural. El largo de las soleras define el ancho del panel y el largo de los montantes, su altura (Figura 3.2). Los paneles estructurales deben descargar directamente sobre las fundaciones, otros paneles estructurales o sobre una viga principal (Elhajj; Bielat, 2000).

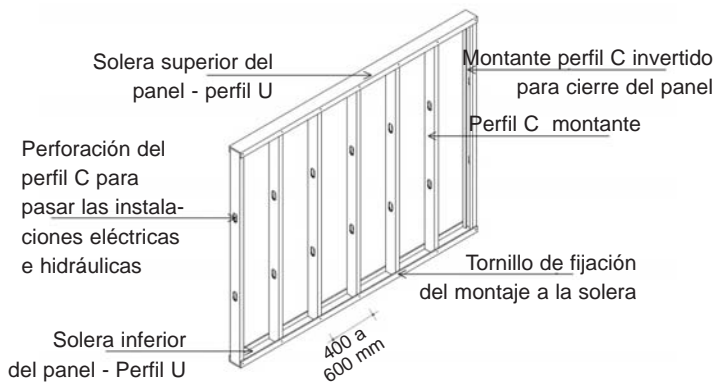


Figura 3.2 - Panel típico en Light Steel Framing

El método más usado para unir los perfiles que componen la estructura es la unión por medio de tornillos galvanizados del tipo auto-perforantes. El tipo específico de tornillo (cabeza, largo, diámetro, punta) varía según las piezas que se unen y su función en la estructura. Este se abordará en el capítulo 7.

3.1.1. Abertura de Vanos en un Panel Estructural

Las aberturas para puertas y ventanas en un panel portante requieren elementos estructurales tales como dinteles (Foto 3.2) a fin de redistribuir la carga de los montantes interrumpidos a los montantes que delimitan el vano lateralmente, denominadas jambas. La Figura 3.3 ilustra estos elementos como asimismo la distribución de la carga en el panel.

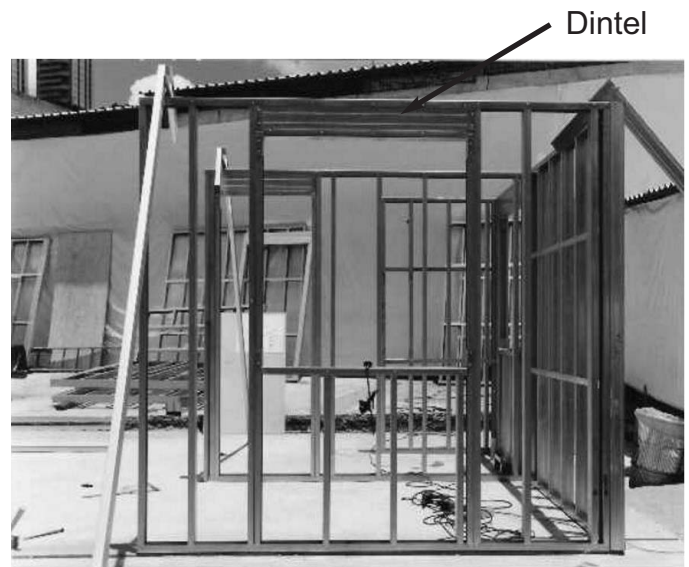


Foto 3.2- Panel con apertura de ventana. (Fuente: Archivo del autor)

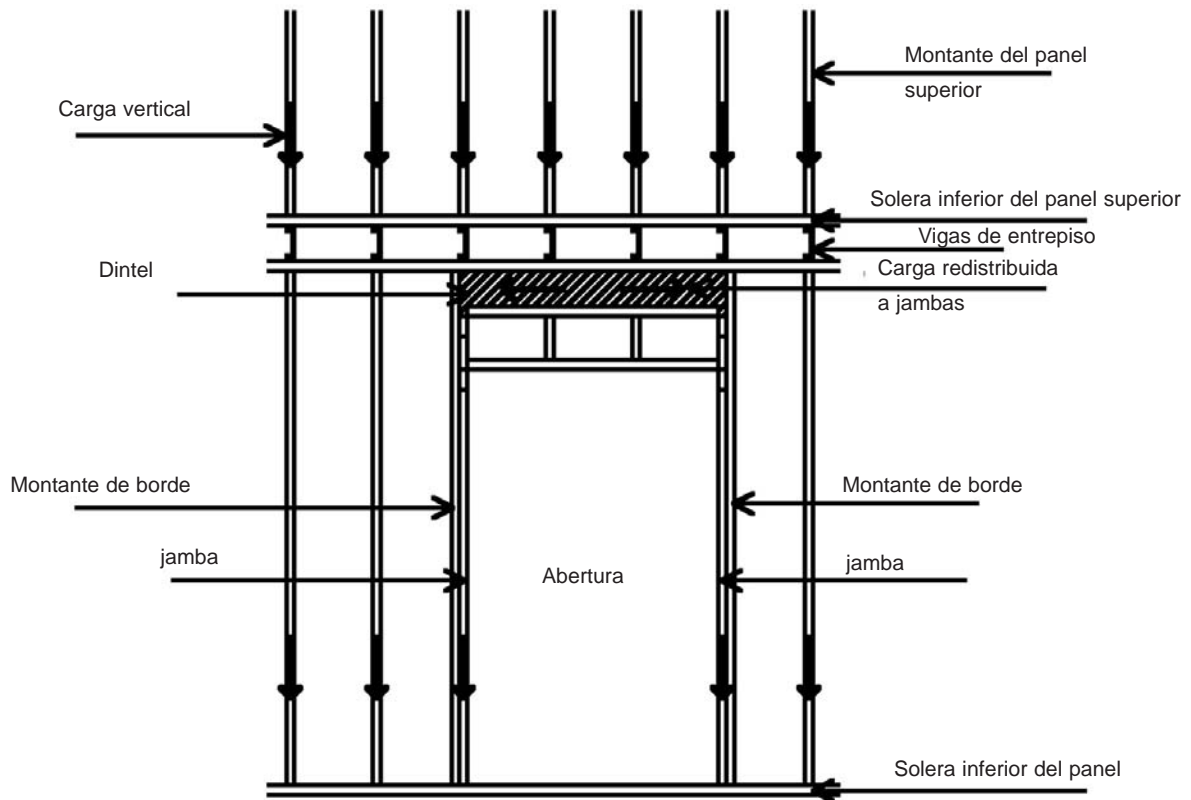


Figura 3.3 - Distribución de los esfuerzos a través de la viga dintel para las jambas.

La viga dintel (Foto 3.3) puede tener varias combinaciones (Figura 3.4), aunque básicamente está compuesta por dos perfiles C conectados por medio de una pieza atornillada en cada extremidad, generalmente un perfil U, (de altura igual a la viga dintel menos el ala de la solera superior del panel) y por una pieza llamada solera de la viga dintel que va fijada a las alas inferiores de los dos perfiles C. Además la solera de la viga dintel va conectada a las jambas a fin de evitar la rotación de la viga dintel; también permite la fijación de los montantes de dintel (Figura 3.5), que no tienen una función estructural y están localizados entre la viga dintel y la abertura, a fin de permitir la fijación de las placas de cerramiento.



Foto 3.3 - Detalle de viga dintel para la abertura de ventanas.
(Fuente: Archivo del autor)

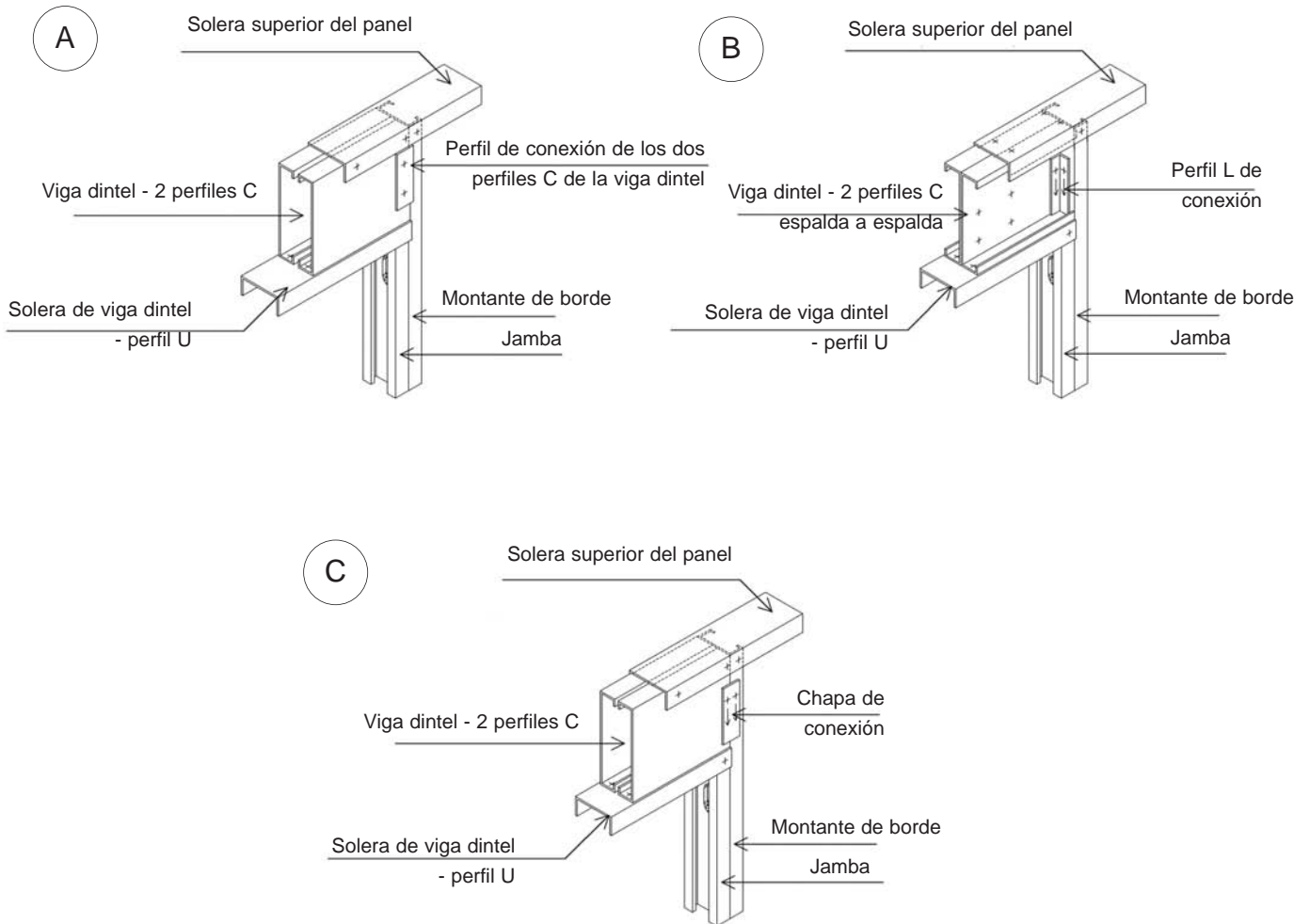


Figura 3.4 - Tipos de dinteles

Las jambas en los cuales se apoyan la viga dintel van desde la solera inferior del panel hasta la solera de dintel. La cantidad de jambas necesarios para el apoyo la define el cálculo estructural y depende del tamaño de la abertura. Puede establecerse por aproximación que el número de jambas (“jacks”) a cada lado de la abertura es igual al número de montantes interrumpidos por la viga dintel dividido por 2 (Figura 3.5). Cuando el resultado es un número impar deberá sumarse una jamba.

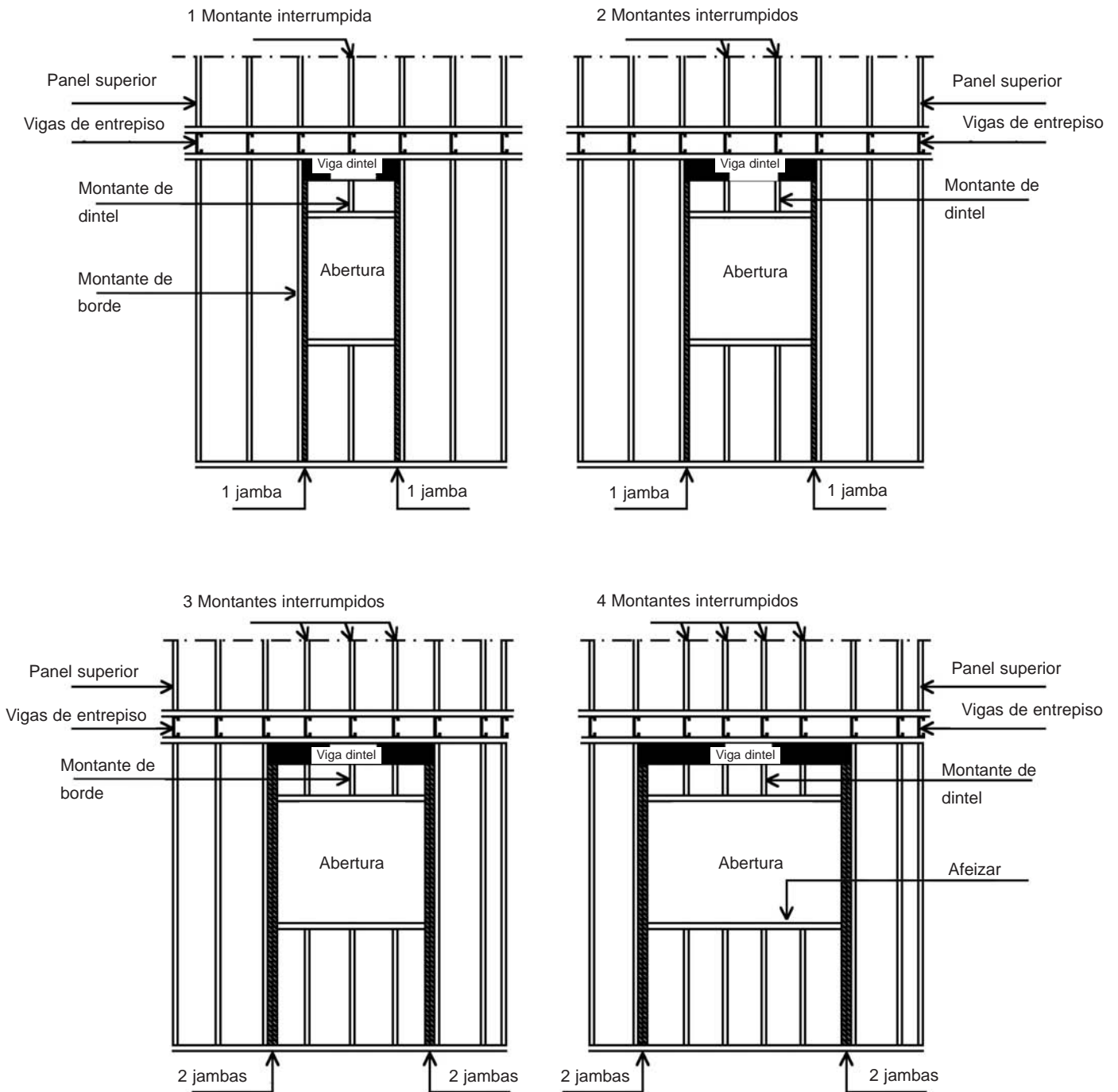


Figura 3.5 - Detalle de jambas

Los montantes en que están fijadas las jambas se denominan montantes de borde. Las vigas dintel también van fijadas en estos montantes con tornillos estructurales (hexagonales), que serán abordados en el capítulo 7.

El acabado superior o inferior de la abertura

es un perfil U cortado 20 cm más largo que el vano.

En la solera del vano se ha realizado un corte a 10 cm de cada extremidad. Este segmento es doblado en 90° para servir de conexión con las jambas (Figura 3.6). En los vanos de las puertas sólo se requiere este acabado en la parte superior de la abertura.

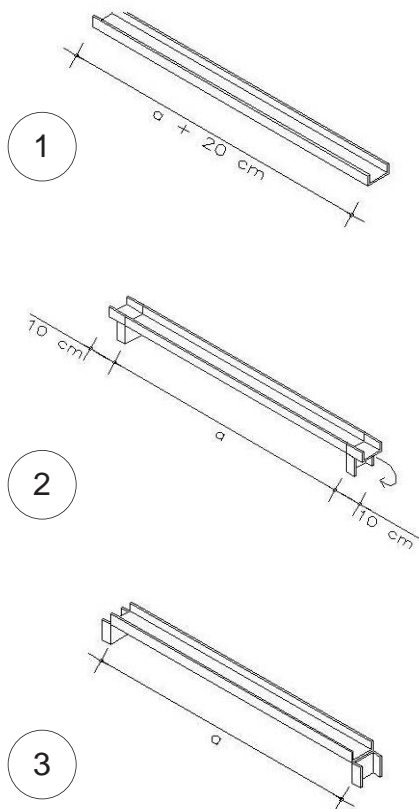


Figura 3.6 - Solera de dintel (Consul Steel, 2002)

También son posibles otras soluciones, siempre que su desempeño haya sido comprobado (Figura 3.7).

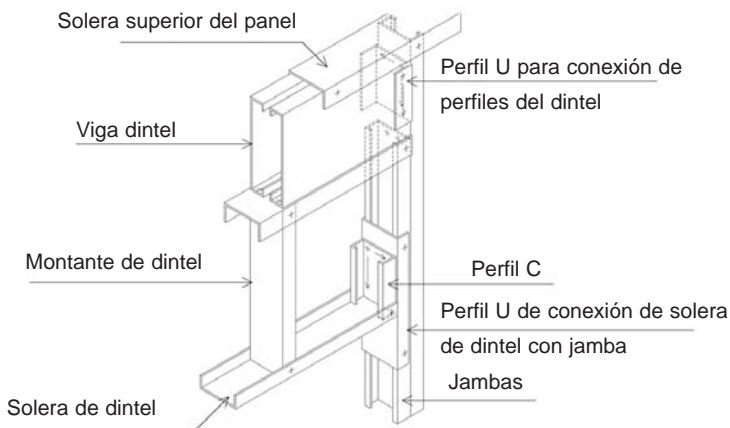


Figura 3.7 - Solución de vano de abertura

Cuando sucede que la abertura de la jamba esté vuelta hacia dentro del vano, debido a la colocación de un número impar de per-

files, se debe agregar a cada lado un perfil U, formando una sección de cajón junto con la jamba para dar un acabado a la abertura y para la fijación de las puertas y ventanas. La figura 3.8 muestra el esquema de un panel estructural con abertura de ventana.

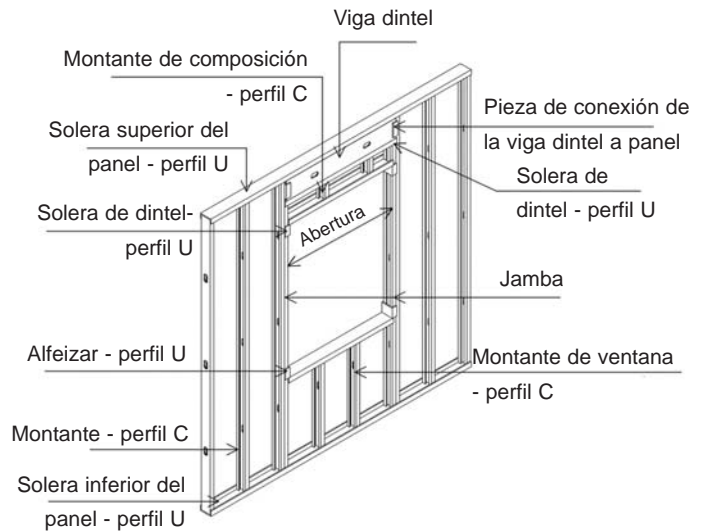


Figura 3.8- Diseño esquemático de un panel estructural con ventana

3.1.2. Estabilización de la Estructura

Los montantes aislados no son capaces de resistir los esfuerzos horizontales que solicitan la estructura, como acontece en el caso del viento. Estos esfuerzos pueden provocar una pérdida de estabilidad de la estructura causando deformaciones y hasta hacerla colapsar.

Para evitarlo debe proporcionarse a la estructura uniones rígidas o elementos capaces de transferir esos esfuerzos a las fundaciones. Las soluciones más comunes para resistir a los esfuerzos horizontales en las estructuras que se construyen según el sistema Light Steel Framing son las siguientes:

- Uso de arriostramientos en los paneles, combinado con un diafragma rígido a nivel del piso que actúa transmitiendo los esfuerzos a los paneles arriostrados.
- Revestimiento de la estructura con placas que funcionen como diafragmas rígidos en el plano vertical (paneles).

Conjuntamente con estos mecanismos ha de observarse un adecuado anclaje de la estructura a su fundación, tal como ya se ha mencionado.

a) Arriostramientos:

El método más común de estabilización de la estructura en SF es el arriostramiento en "X", (Cruz de San Andrés) que consiste en utilizar cintas de acero galvanizado fijados sobre la superficie exterior del panel (Foto 3.4), cuyo ancho, espesor y localización se determinan en el proyecto estructural.



Foto 3.4 - Panel con arriostramiento en "X" Cruz de San Andrés (Fuente: Archivo del autor)

La sección de la cinta debe ser dimensionada para que pueda transmitir el esfuerzo de tracción que resulta de la descomposición de la carga horizontal que actúa (V) en dirección de la diagonal (ConsulSteel, 2002). Las diagonales serán solicitadas ya sea por tracción o por compresión según el sentido de la aplicación de la fuerza del viento (Figura 3.9).

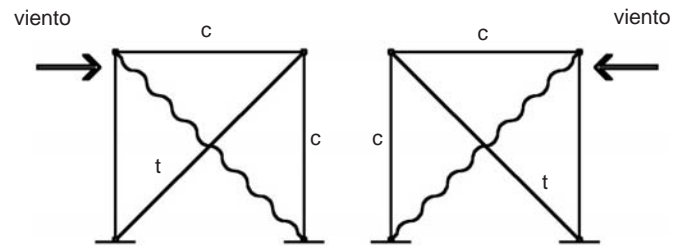


Figura 3.9. - Solicitación de las diagonales de arriostramiento (según DIAS, 1997)

El ángulo en que va instalada la cinta influye significativamente en la capacidad del arriostramiento de resistir las cargas horizontales. Cuanto menor sea el ángulo formado entre la horizontal y la diagonal, menor será la tensión en la cinta metálica (Scharff, 1996). En el caso de ángulos superiores a 60° , la diagonal pierde su eficiencia para evitar deformaciones. Para el mejor desempeño, la inclinación de las diagonales deberá estar comprendida preferencialmente entre 30° y 60° (ConsulSteel, 2002).

La fijación de la diagonal al panel se logra con una placa de acero galvanizado, (cartela) que se atornilla en montantes dobles y el anclaje del panel debe coincidir con éstas a fin de absorber los esfuerzos transmitidos por el arriostramiento (Figura 3.10).

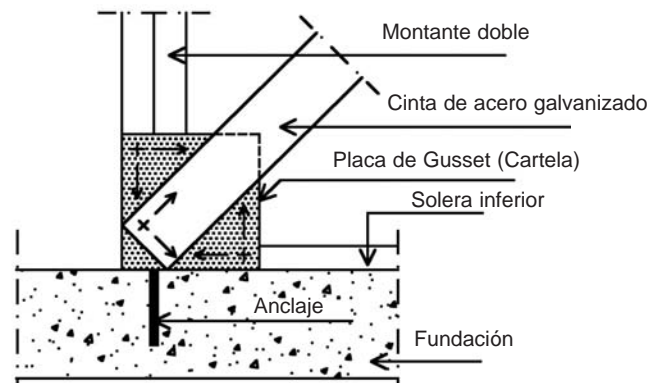


Figura 3.10- Fijación de las diagonales en los paneles con cartela. (Placa Gusset)

El anclaje en los paneles superiores también se hace en los montantes que reciban la diagonal y los esfuerzos son transmitidos al panel inmediatamente inferior que igualmente debe estar debidamente anclado y arriostrado (Figura 3.11).

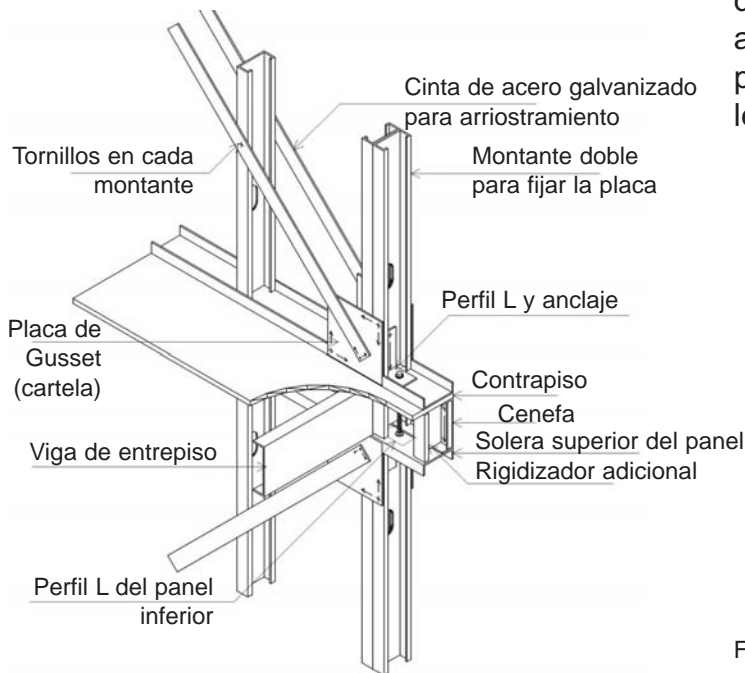


Figura 3.11 -Anclaje panel superior

Durante la instalación de las cintas de acero galvanizado es importante que estas sean firmemente tensionadas, a fin de evitar holguras que podrían comprometer su eficiencia en la transmisión de los esfuerzos, ocasionando una deformación de los paneles a los cuales están siendo fijados, antes que las cintas comiencen a actuar. (Garner, 1996).

Para evitar el efecto de rotación que puede ocurrir en los montantes dobles donde se han fijado las diagonales, debe colocarse arriostramiento en las dos caras del panel.

El uso del arriostramiento puede interferir en la colocación de las aberturas de puertas o ventanas en las fachadas. Ocasionalmente es necesario adoptar un ángulo de gran inclinación de la diagonal a fin de permitir la coloca-

ción de una abertura en el panel (Figura 3.12). De todos modos es preferible que para la colocación de los arriostramientos se prevean paneles ciegos en el proyecto. A pesar de que la estructura de piso hace de diafragma rígido, debe posibilitarse que solamente algunos paneles sean arriostrados. Se hace imprescindible la coordinación entre los proyectos de arquitectura e ingeniería para que el calculista pueda realizar la mejor distribución de los paneles arriostrados.

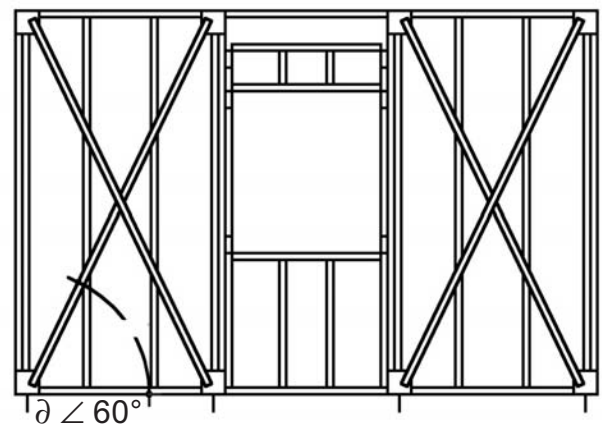


Figura 3.12 - Localización del arriostramiento en relación a las aberturas.



Foto 3.5 - Paneles arriostrados en función de las aberturas en el laboratorio en la Universidad Federal de Ouro Preto. (Fuente: Archivo Célio Firmo).

Cuando el uso del arriostramiento en "X" no es el más apropiado, porque el proyecto arquitectónico prevé muchas aberturas en una fachada, una alternativa es el arriostramiento en "K". Este sistema utiliza perfiles C fijados entre los montantes como lo ilustra la Foto 3.6:

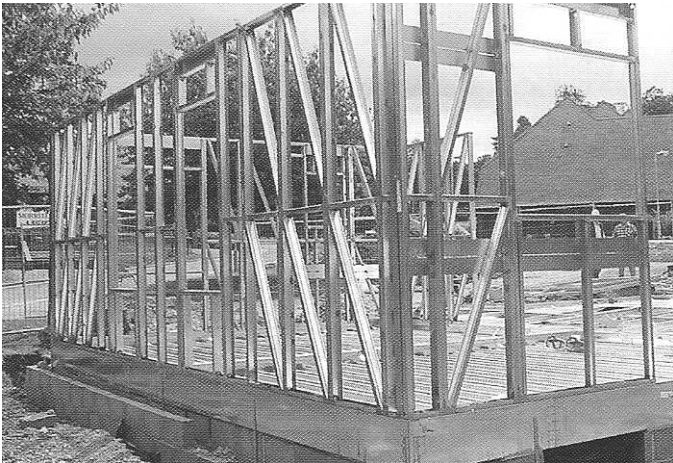


Foto 3.6 - Arriostramiento en "K" (Fuente: SCI)

Estos elementos actúan tanto frente a la tracción como a la compresión y junto a los montantes adyacentes forman un arriostramiento vertical. Las principales dificultades en este tipo de sistema son las condiciones de sus conexiones, la necesidad de montantes adyacentes más robustos en los paneles a sotavento y significativas excentricidades que pueden generarse en los paneles. Por estos motivos se aplica este sistema sólo cuando el arriostramiento en "X" no es posible. (Davies, 1999).

b) Diafragma de rigidización:

Los materiales de cerramiento externo de los paneles estructurales pueden ser utilizados como pared diafragma de rigidización. Estos materiales son placas estructurales capaces de proporcionar un aumento de la resistencia del panel, ya que absorben las cargas laterales a que puede estar expuesta la estructura, que pueden ser las fuerzas del viento los movimientos sísmicos que las transmiten a la fundación.

El desempeño estructural del diafragma de rigidización depende directamente de varios factores (Pereira Júnior, 2004):

- Configuración de los paneles (cantidad y tamaño de las aberturas, alto y ancho del panel);
- Capacidad de resistencia de los montantes que forman el panel;

- Tipo, cantidad y separación de los tornillos de fijación de la placa a la estructura;
- Resistencia y espesor de la placa utilizada.

El comportamiento de las placas de cerramiento que actúan como diafragma de rigidización puede ser determinado por medio de ensayos o de análisis estructurales que pueden realizarse con ayuda de programas computacionales.

Las placas de OSB (Oriented Strand Board) (Foto 3.7) pueden desempeñar la función de diafragma de rigidización vertical y horizontal en edificios de poca altura como lo ilustra la Foto 3.8.

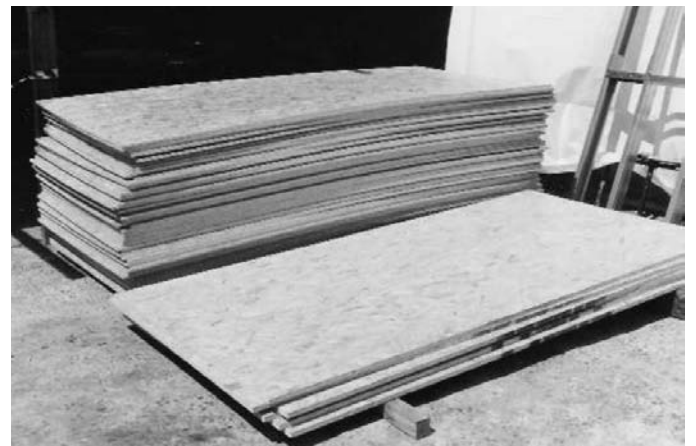


Foto 3.7 - Placas de OSB. (Fuente: Archivo del autor)



Foto 3.8 - Cerramiento de fachada con placas de OSB. (Fuente: Archivo del autor)

El OSB es un panel estructural de virutas de madera, generalmente provenientes de reforestaciones, orientadas en tres capas perpendiculares, lo que aumenta su resistencia mecánica y rigidez. Estos tableros de madera pegados

con resinas son prensados a altas temperaturas (Masisa, 2003).

Según el (American Iron and Steel Institute) y la NASFA (North American Steel Framing Alliance), el espesor mínimo de la placa de OSB para revestimiento externo de la pared diafragma debe ser de 12 mm. Internamente, el revestimiento de las placas de yeso cartón debe tener un espesor mínimo de 12,5 mm (R.L. Brockenbrough & Associates, 1998; Elhajj, Bielat, 2000).

Para que las placas estructurales de OSB funcionen como diafragma de rigidización, han de tomarse algunas medidas en la instalación:

- En los bordes de los paneles el ancho mínimo de la placa estructural debe ser de 1,20 m, a fin de mantener la resistencia de la placa (Elhajj; Bielat, 2000);
- No debe haber unión de placas consecutivas en coincidencia con los vértices de una abertura. En este caso, las placas deben cortarse en forma de “C”, según lo muestra la Figura 3.13.

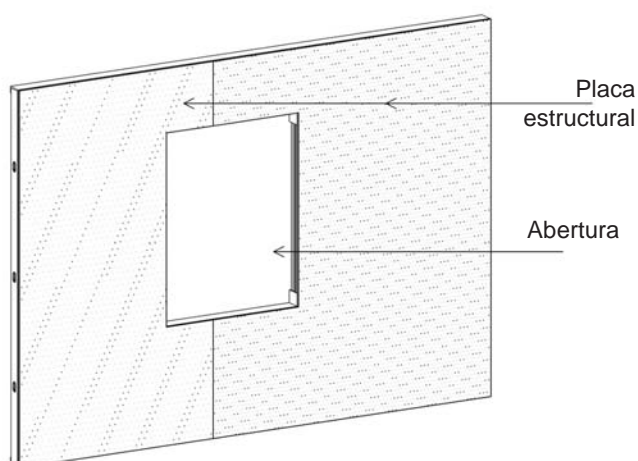


Figura 3.13 - Colocación de las placas estructurales en paneles con aberturas.

- No debe haber coincidencia en el encuentro de los vértices de cuatro placas, de modo que las juntas verticales no se topen;
- La unión entre dos placas adyacentes debe efectuarse sobre el ala de un montante, en

que cada placa comparta la mitad de esa ala. Los tornillos deben estar desfasados entre una placa y otra de modo que no perforen el ala del perfil en dos puntos de la misma altura (ConsulSteel, 2002). La Figura 3.14 ilustra la fijación de dos placas adyacentes:

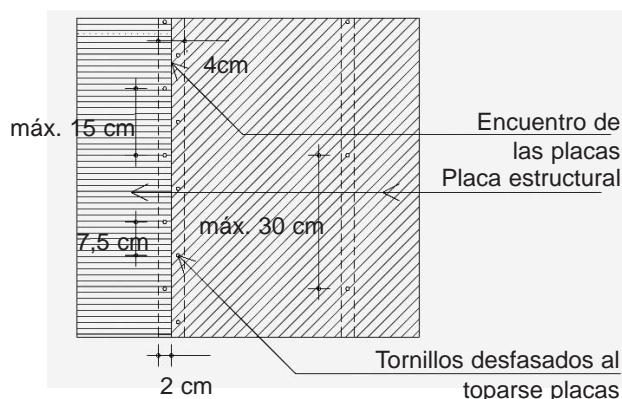


Figura 3.14- Esquema de fijación de placas estructurales con tornillos.

- El mejor desempeño de la placa estructural sólo se consigue cuando está apropiadamente fijada a los perfiles. Esta fijación se logra generalmente con tornillos autopercutorantes.

Para que los perfiles y las placas puedan desenvolver toda su capacidad de resistencia debe colocarse la cantidad y el tipo de tornillos adecuados. Según Grubb y Lawson (1997), los tornillos de fijación de las placas a los perfiles estructurales deben quedar a una distancia máxima de 150 mm entre sí en todo el perímetro de la placa y a 300 mm en los montantes intermedios, como lo ilustra la Figura 3.14, estando separados éstos por 400 mm o 600mm.

- Siempre que sea posible, el encuentro de los paneles no debe coincidir con el encuentro de las placas, debiendo superponerse las juntas para aumentar la rigidez del sistema, como lo muestra la Figura 3.15 (Consul Steel, 2002);

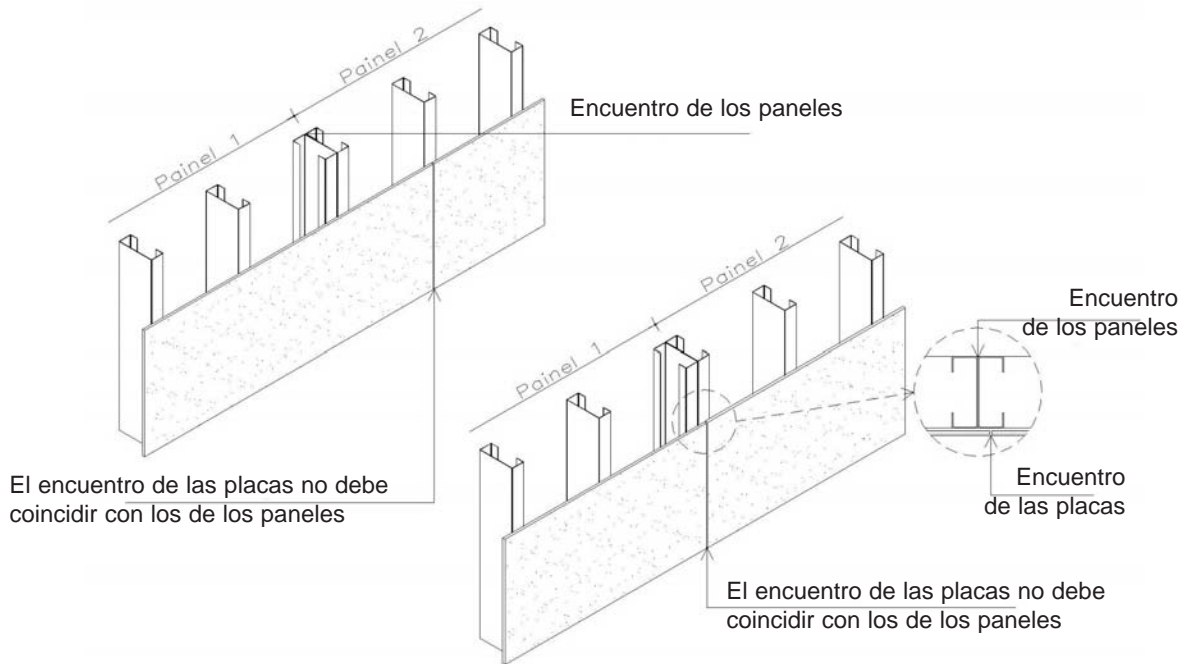


Figura 3.15- Encuentro de las placas estructurales en relación a los paneles.

- En el encuentro de dos paneles que forman una esquina, las placas deben ser colocadas de forma que una de ellas quede sobrepuesta sobre el otro panel, aumentando la rigidez del conjunto, como lo sugiere la Figura 3.16 (Consul Steel, 2002);

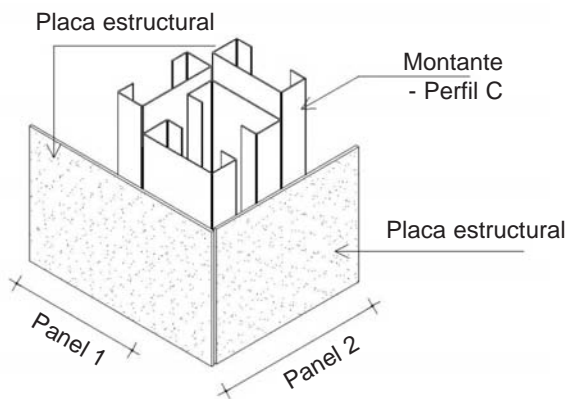


Figura 3.16- Encuentro entre dos placas estructurales en esquina.

Es fundamental distinguir entre placas de cerramiento y placas estructurales que funcionan como diafragma de rigidización, pues ellas no cumplen necesariamente las mismas funcio-

nes. Las placas estructurales actúan en general como cerramiento de los paneles y son utilizados en su cara externa. Pero tampoco todas las placas de cerramiento externo pueden actuar como diafragma de rigidización, por no presentar las características estructurales necesarias para resistir la acción de cargas horizontales. Por lo tanto, en los casos en que se utilizan paneles de cerramiento que no son estructurales, es necesario recurrir al uso de arriostramientos.

3.1.3. Rigidización Horizontal

A fin de aumentar la resistencia del panel estructural, se aplican cintas de acero galvanizado y los llamados bloqueadores compuestos a partir de perfiles C y U que son conectados a los montantes formando un sistema de rigidización horizontal (Foto 3.9).

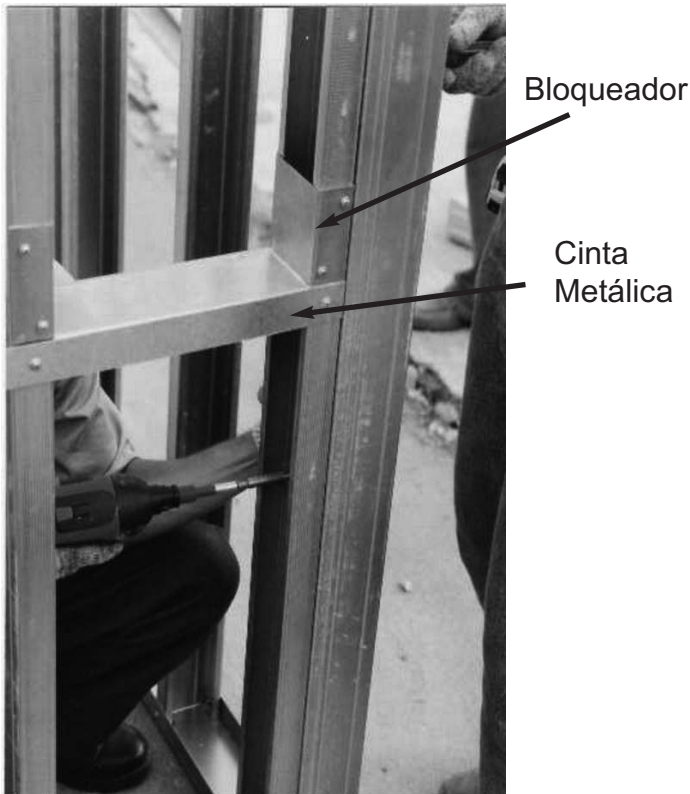


Foto 3.9 - Bloqueador y cinta de acero galvanizado fijados al panel para rigidización horizontal (Fuente: Archivo del autor)

La cinta metálica evita la rotación de los montantes cuando están sujetos a las cargas normales de compresión, además de disminuir el largo del pandeo de los mismos (Pereira Jr., 2004). La cinta metálica debe ser de acero galvanizado y tener por lo menos 38 mm de ancho por 0,84 de espesor (Elhajj; Bielat, 2000). Debe ser instalada en la horizontal a lo largo del panel y sus extremos deben estar sujetos a piezas tales como los montantes dobles o triples usados en el encuentro de los paneles (Figura 3.17). Las cintas se atornillan en todos los montantes mediante un tornillo, y se fijan en ambos lados del panel, a excepción de los paneles que en la cara externa llevan placas de diafragma rígido (ConsulSteel, 2002). Deben estar localizadas a media altura de los paneles hasta 2,50m y a cada 1,00 m aproximadamente en los paneles de entre 2,75 m y 3,00 m (Elhajj; Bielat, 2000).

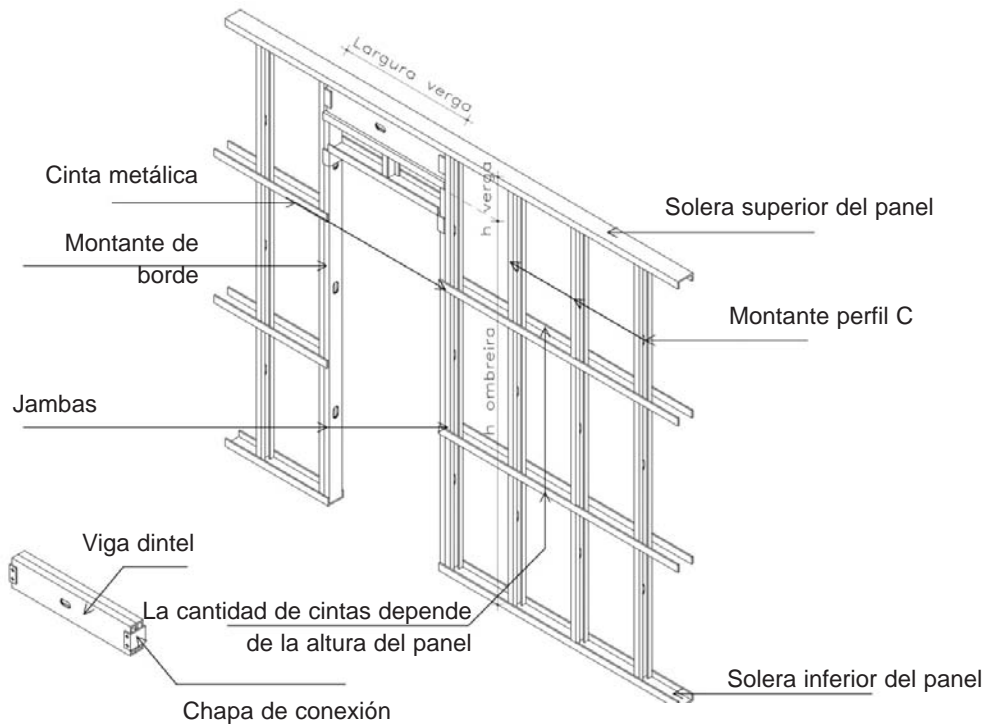


Figura 3.17- Cinta metálica para la rigidización de panel

La función de los bloqueadores consiste en rigidizar el panel estructural. Son piezas formadas por perfiles C y U y colocadas entre los montantes. Un perfil U, (solera) es cortado 20 cm. más largo que el vano, se le practica un corte en las alas a 10 cm de cada extremidad y en seguida se doblan los segmentos en 90° para servir de conexión con los montantes, según la Figura 3.18. Se encastra un perfil C (montante) en la pieza cortada y ambos son atornillados a la cinta metálica, siempre localizados en las extremidades del panel y a intervalos de 3,60 m (Elhajj; Bielat, 2000).

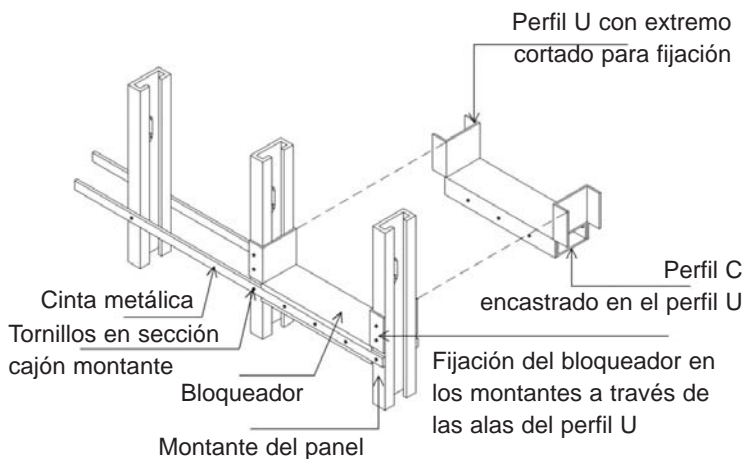


Figura 3.18 - Esquema de rigidización horizontal del panel con bloqueadores.

Otra forma de fijar el bloqueador a los montantes consiste en utilizar el perfil C cortado a lo ancho del vano y conectarlos a los montantes por medio de perfiles "L" (pieza en ángulo) atornillados a ambas piezas, tal como lo muestra la Figura 3.19 (Scharff, 1996).

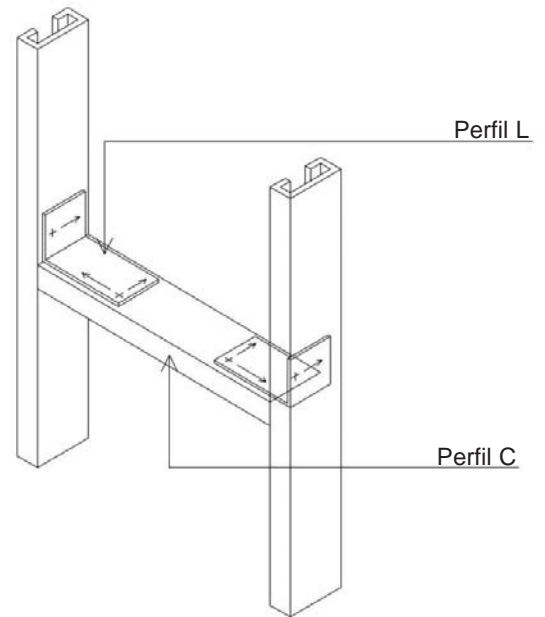


Figura 3.19- Esquema de fijación de bloqueador mediante piezas en ángulo o perfiles L

3.1.4. Encuentro de Paneles

Para el encuentro de paneles estructurales existen varias soluciones constructivas, que varían según el número de paneles que se unen y del ángulo entre estos. Siempre es importante garantizar la rigidez del sistema, la resistencia a los esfuerzos, la economía de material y proveer una superficie para la fijación de las placas de cerramiento interno o externo. Pueden utilizarse piezas premontadas para facilitar el montaje de estos encuentros, pero básicamente la unión de los paneles se da por montantes conectados entre si por medio de tornillos estructurales. Las principales configuraciones en el encuentro de paneles son:

A) Unión de dos paneles en esquina:

- Unión de dos montantes:

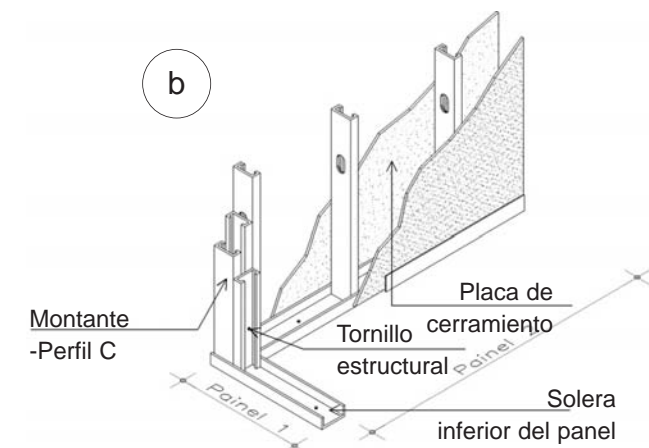
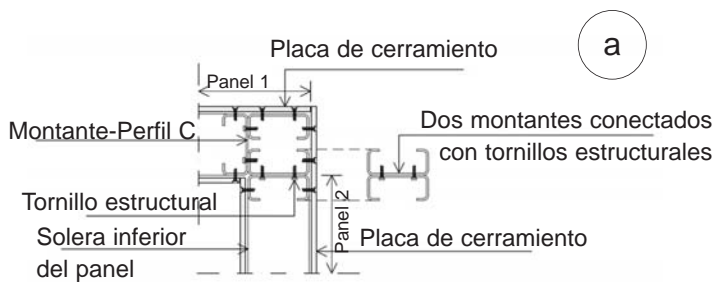


Figura 3.20 - Unión de dos montantes por el alma. a) planta; b) perspectiva.

• **Unión de tres montantes** (Scharff.1996):

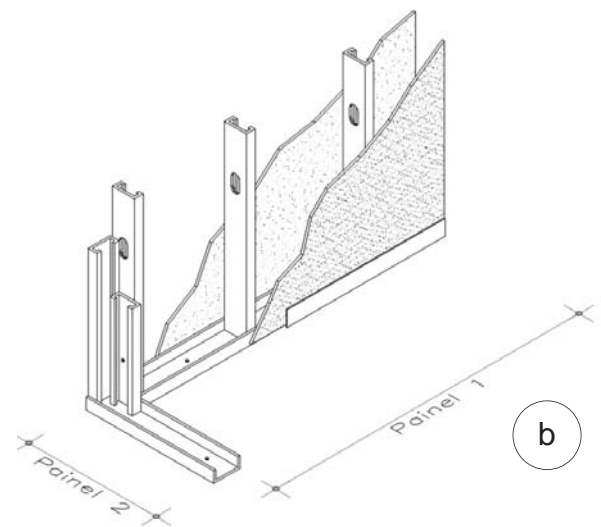
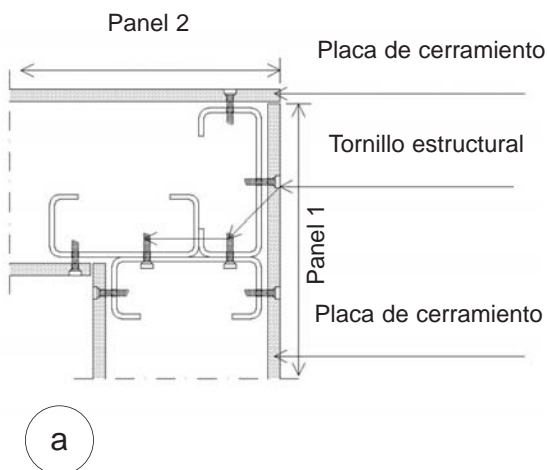


Figura 3.21 - Unión de tres montantes: a) planta; b) perspectiva

En ambos casos ilustrados en las figuras anteriores, la solera superior de uno de los paneles que se encuentran, debe ser 75 mm más larga que la longitud de la pared para que pueda ser fijada sobre la superior del otro panel, aumentando así la rigidez del conjunto. Las alas de este saliente se cortan y doblan como lo ilustra la Figura 3.22 (Garner, 1996):

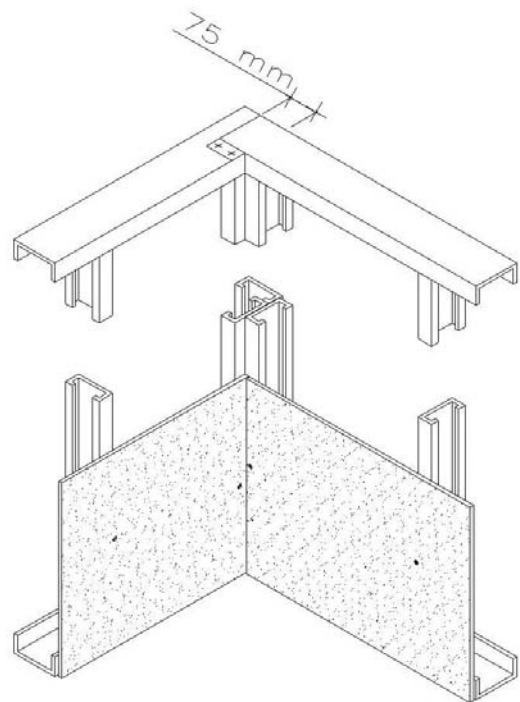


Figura 3.22- Fijación de paneles en esquina.

B) Unión de dos paneles formando una "T":

Cuando la extremidad de un panel está conectada perpendicularmente a otro panel, generando una unión en "T", el panel 1 que recibe el panel perpendicular debe ser continuo sin empalmes en la solera superior o inferior en el punto de unión con el panel 2:

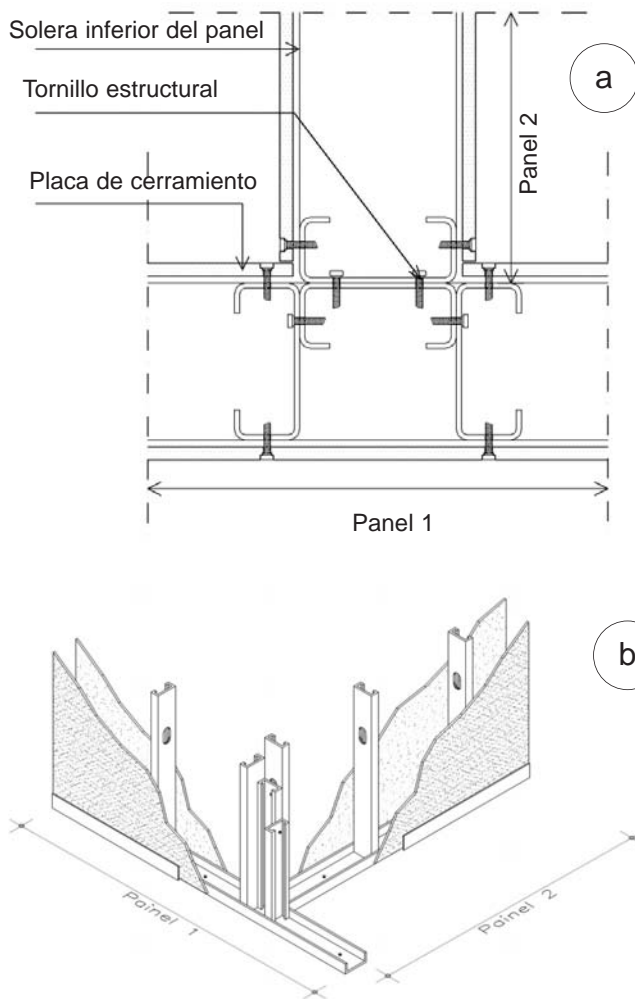


Figura 3.23 - Unión de dos paneles formando una "T": a) planta; b) perspectiva.

C) Unión de tres paneles:

Cuando los extremos de dos paneles están conectados a otro panel perpendicular, generando una unión en cruz, el panel perpendicular debe ser continuo sin empalmar en la solera superior o inferior en la unión con las

otras paredes. Esa unión puede lograrse como lo ilustra la siguiente Figura 3.24:

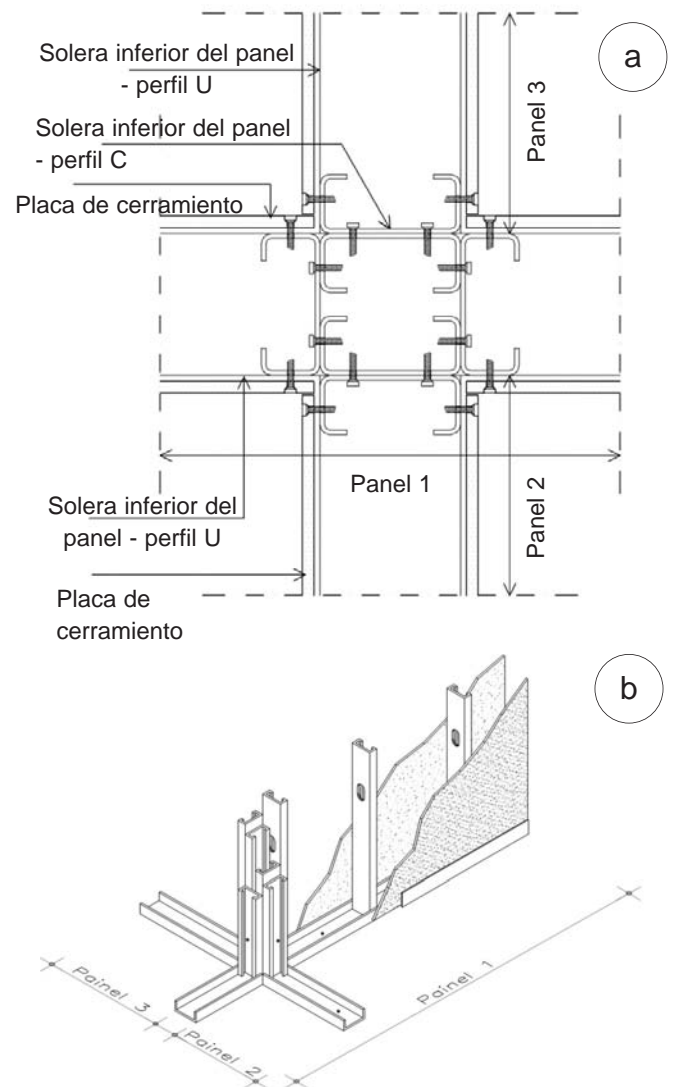


Figura 3.24 - Encuentro de tres paneles: a) planta; b) perspectiva.

3.1.5. Empalme de solera

Cuando la solera no tiene el largo necesario para el panel pueden unirse dos soleras por medio de un perfil C, el mismo usado en los montantes, encastrado en las soleras atornillando ambos por las alas, como lo muestra la Figura 3.25. El largo mínimo del perfil C debe ser de 15 cm (Elha-jj; Bielat, 2000) y empalme que debe hacerse en el vano entre dos montantes.

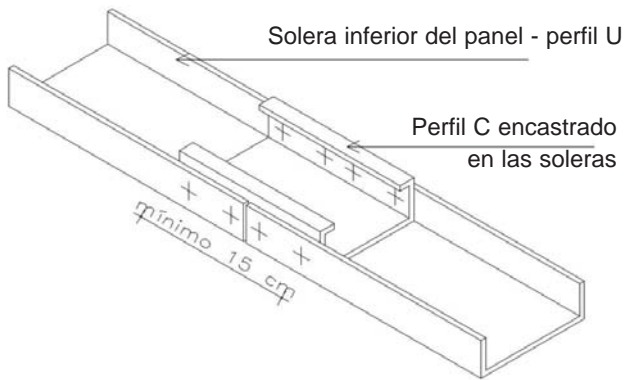


Figura 3.25- Empattillado de perfil solera.

3.2. Paneles No Estructurales

Paneles no estructurales son aquellos que no soportan carga, sino sólo el propio peso de sus componentes. Tienen la función de cerramiento externo o de división interna en los edificios.

Cuando se trata de paneles divisorios internos puede aplicarse el sistema de yeso cartón, en que las secciones de los perfiles de montantes y soleras tienen un espesor y dimensiones menores. Pero en el caso de los paneles divisorios externos y debido al peso de los componentes de cerramiento y revestimiento es recomendable utilizar los mismos perfiles que constituyen los paneles estructurales.

La solución para aberturas de puertas y ventanas en un panel no estructural es bastante más sencilla, puesto que no hay cargas verticales que soportar, por lo que no hay necesidad de usar vigas dintel y, por consiguiente, tampoco jambas. (jacks)

En esta forma, la delimitación lateral del vano está dada por un único montante al que será fijado el marco de la abertura. En algunos casos, para darle una mayor rigidez al mismo, podrá optarse por colocar montantes dobles en esta posición, o un perfil caja formado a partir del encaje de un montante y una solera.

El acabado superior e inferior de las aberturas se definen en forma similar a las de los paneles estructurales, utilizando la solera de las aberturas. Las figuras siguientes presentan la conformación de un panel no estructural:

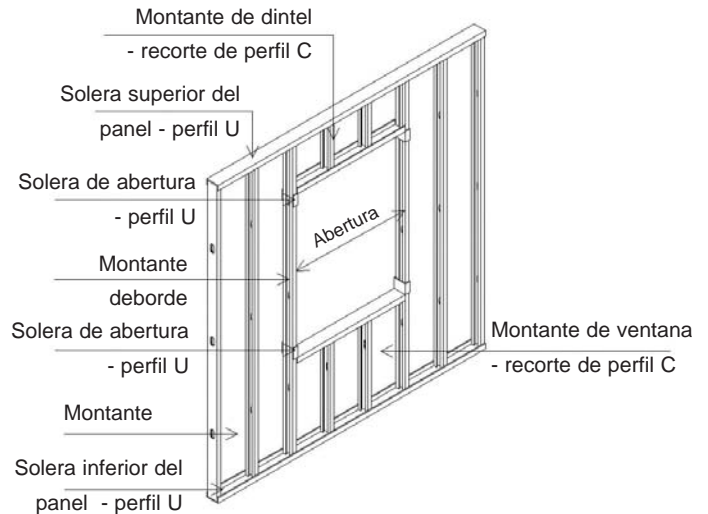


Figura 3.26 - Diseño esquemático de panel no estructural con abertura.



Foto 3.10 - Panel no-estructural de fachada de residencia. (Fuente: Archivo del autor)

3.3. Paredes Curvas, Arcos y Formas Atípicas.

Los paneles estructurales y no estructurales pueden ser conformados en una variedad de superficies curvas (Foto 3.11) y aberturas en arco.



Foto 3.11 - Montaje de paredes curvas proyectadas para la construcción con perfiles conformados en frío en un dispensario en Curitiba. (Fuente: US Home)

Para la construcción de paredes curvas es necesario que las soleras superior e inferior del panel tengan el ala de la cara externa y el alma cortados a intervalos de aproximadamente 5 cm en todo el largo del arco (Scharff, 1996). Es así como es posible curvar las soleras uniformemente hasta obtener el radio deseado. Pero las curvaturas no deben ser muy cerradas. Para mantener el radio de la curvatura y reforzar la solera, debe fijarse una cinta de acero galvanizado en la cara externa del ala de la solera, usando tornillos o “clinching”, como lo muestra la Figura 3.27, y solamente después deberán fijarse los montantes. Para el montaje del panel, lo más adecuado es que éste sea montado usando el método de fabricación en obra, o sea, primero se fijan las soleras inferior y superior en el piso y en la losa respectivamente, en la conformación de la curva y los montantes se colocan en el espacio de acuerdo al cálculo estructural.

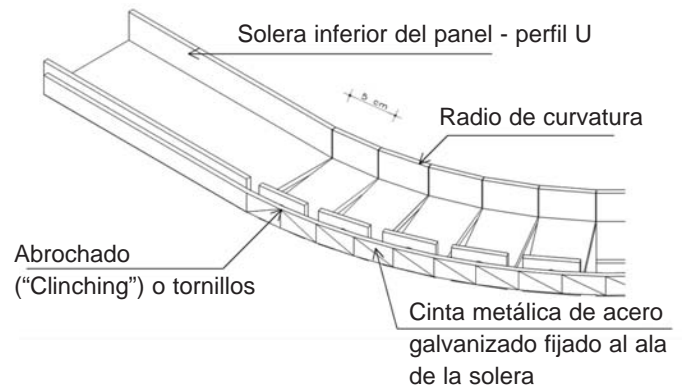


Figura 3.27- Método para la curvatura de perfiles U.

Como estos procedimientos generalmente son trabajosos y demandan tiempo, existen en el mercado norteamericano perfiles U de acero galvanizado flexibles que se asemejan a vértebras (Foto 3.12), y que se amoldan fácilmente a cualquier curvatura o formato ondulado, proporcionando un montaje mucho más rápido y seguro.

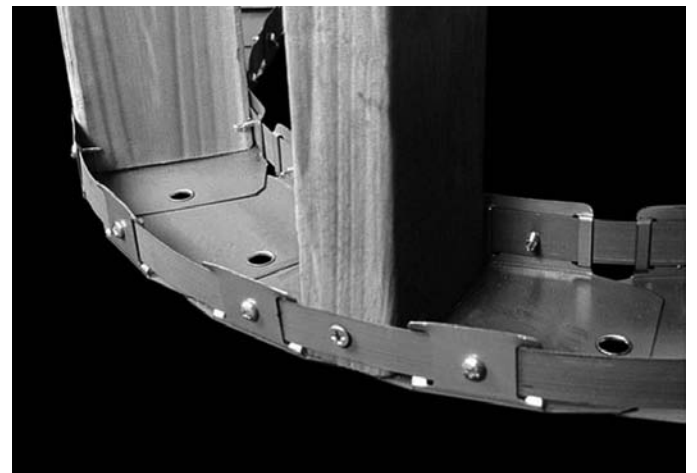


Foto 3.12 - Perfil U flexible. (Fuente: disponible en www.tool-base.org)

Se pueden construir aberturas en forma de arco de un panel estructural o no estructural, en que un perfil U tiene ambas alas cortadas para posibilitar la flexión del perfil en el radio o la curvatura exigida en el proyecto. Se instalan soportes en la solera de abertura y en las jambas para posibilitar la fijación del perfil como lo muestra la Figura 3.28.. Del mismo modo que en los paneles curvos, se puede usar perfiles flexibles para agilizar el trabajo de montaje.

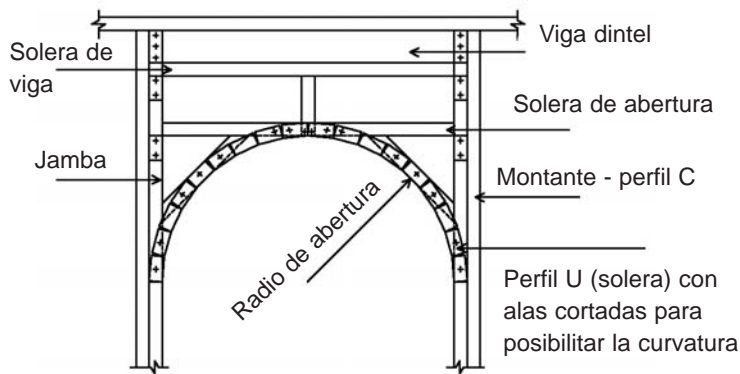


Figura 3.28 - Método para construcción de aberturas en arco.

Gracias a su versatilidad, los proyectos en Steel Framing posibilitan diversas formas arquitectónicas. Al arquitecto le cabe interactuar con el profesional responsable del cálculo para que las soluciones estructurales concreten las propuestas del proyecto.



Foto 3.13 - Paneles presentando diversas formas curvas. (Fuente: disponible en: <http://www.aegismetalframing.com>).

Capítulo 4

Entrepisos

Como ya se ha mencionado anteriormente, la estructura del entrepiso en Steel Framing (Figura 4.1) emplea el mismo principio de los paneles, o sea, perfiles galvanizados cuya separación equidistante de los elementos estructurales o modulación está determinada por las cargas a que cada perfil está sometido. Esta modulación, en la mayoría de los casos es la misma para toda la estructura: paneles, pisos y tejados.

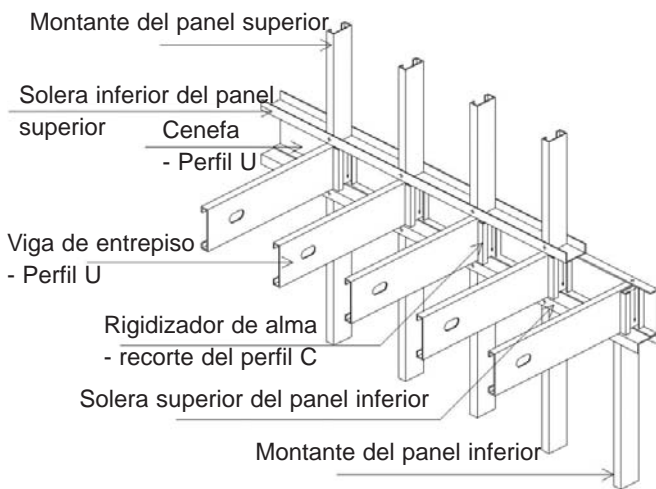


Figura 4.1- Estructura de entrepiso en Steel Framing.

Estos perfiles denominados vigas de entrepiso (Foto 4.1) utilizan perfiles de sección C dispuestos en horizontal, y cuyas alas normalmente tienen las mismas dimensiones que las alas de los montantes, pero la altura de alma es determinada por varios factores, tales como la modulación de la estructura y la luz entre apoyos. Así la disposición de las vigas de entrepiso debe generar la menor distancia entre los apoyos y, por consiguiente, perfiles de menor altura.



Foto 4.1- Vigas de entrepiso (Fuente: Archivo del autor)

Los perfiles deben ser suficientemente resistentes y rigidizados para soportar las cargas y evitar deformaciones mayores que las exigidas por la norma. Por lo tanto, no es recomendable cortar el ala de un perfil que actúa como viga. Las perforaciones ejecutadas en las almas de las vigas para el paso de cañerías, cuando exceden las dimensiones de las perforaciones ya existentes en los perfiles, deben venir especificadas en el proyecto estructural. Las normas prevén que: “en los perfiles pueden ejecutarse orificios sin refuerzos, siempre que hayan sido debidamente consideradas en el dimensionamiento y que el eje mayor de la perforación coincida con el eje longitudinal central del alma del perfil y la geometría de las perforaciones se ajuste a la de la Figura 4.2. La distancia entre los centros de perforaciones sucesivas debe ser mayor de 600 mm; la distancia mínima entre el extremo del perfil y el centro de la primera perforación debe ser de 300 mm; la distancia mínima entre el extremo de una abertura y la cara lateral del apoyo de la viga debe ser 250 mm”.

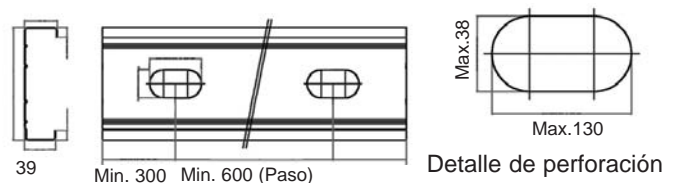


Figura 4.2-Aberturas en los perfiles para el paso de cañerías.

Para orificios con formas diferentes y dimensiones mayores que las recomendadas en la Figura 4.2, se deben ejecutar refuerzos en estos orificios, que han de ser proyectados conforme a las prácticas aceptadas por la ingeniería estructural. En estos casos, las perforaciones deben ser reforzadas con una chapa de acero galvanizado que tenga un espesor mínimo igual al del elemento perforado: y deberá extenderse 25 mm más allá de los bordes de la perforación. El refuerzo debe ser atornillado (Figura 4.3). Estas perforaciones no deberán exceder a lo ancho un 75% de la altura del alma del miembro estructural o exceder 152 mm del largo medidos a lo largo del alma (Elhajj; Bielat, 2000).

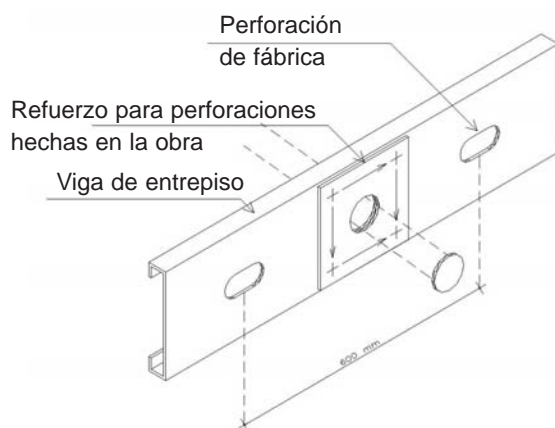


Figura 4.3 - Detalle de refuerzo en viga de entrepiso.

Las vigas de entrepiso son responsables de la transmisión de las cargas a que están sometidas (peso propio de la losa, personas, mobiliario, equipos, etc.); y también sirven de estructura de apoyo del contrapiso. Cuando los recubrimientos de los entrepisos son estructurales pueden trabajar como diafragma horizontal siempre que estén debidamente conectados a las vigas de entrepiso, ya que la resistencia y el espaciamiento de las uniones (tornillos) definen la capacidad del mismo de ser considerado como diafragma. (Elhajj; Crandell, 1999).

Las cargas relacionadas con las divisiones internas no portantes pueden ser soportadas por vigas de entrepiso aisladas, debidamente dimensionadas, o por la estructura del entrepiso en conjunto, de acuerdo al cálculo estructural. Los paneles estructurales deben ser apoyados directamente sobre otros paneles estructurales o vigas principales (Grubb, Lawson, 1997).

Además de las vigas de entrepiso son importantes otros elementos en la constitución de un sistema Steel Framing, como lo representan las Figuras 4.1 y 4.4.:

- Cenefa: perfil U en posición horizontal que se fija a los extremos de las vigas para dar forma a la estructura;
- Rigidizador de alma: recorte de perfil L C, generalmente montante, que fijado a través de su alma al alma de la viga en el apoyo de la misma, aumenta la resistencia en ese punto evitando el aplastamiento del alma de la viga. También se puede llamar rigidizador de apoyo;
- Viga cajón de borde: formado por la unión de perfiles U y C encastrados entre sí. Posibilita contar con un borde de la losa paralelo a las vigas, principalmente cuando debe servir de apoyo a un panel.
- Viga cajón compuesta: combinación de perfiles U y C a fin de aumentar la resistencia de la viga. Puede ser utilizada en el perímetro de una abertura en la losa, como por ejemplo, para permitir el acceso a través de una escalera, sirviendo de apoyo a las vigas interrumpidas.

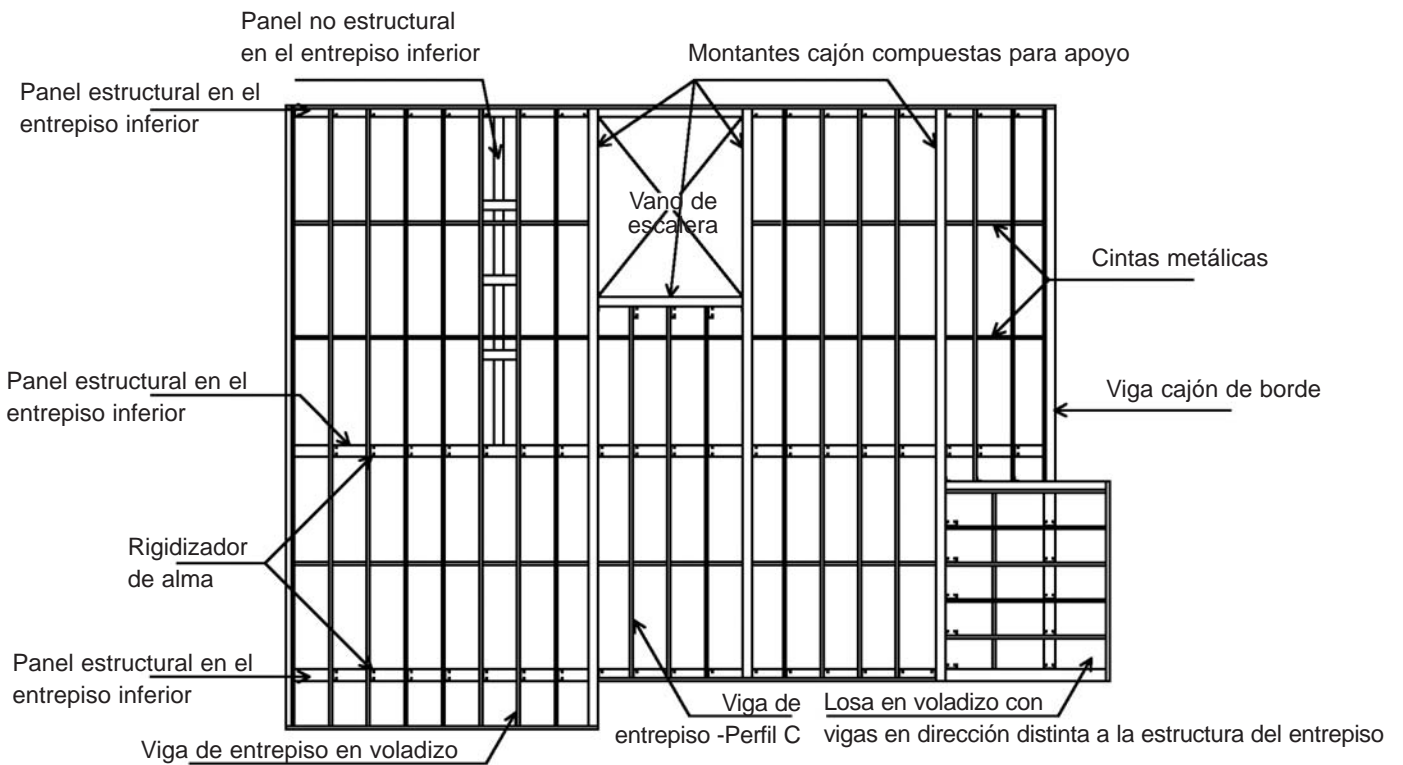


Figura 4.4 - Ejemplo de planta de estructura de entrapiso en Steel Framing



Foto 4.2 - Estructura de entrapiso en Steel Framing (Fuente: disponible en: <http://www.aegismetalframing.com>)

4.1. Tipos de Entrapiso

a) Entrapiso húmedo:

Los entrapisos húmedos están compuestos básicamente por una chapa ondulada de acero (Foto 4.3) que sirve de encofrado al hormigón; es atornillada a las vigas de entrapiso, y una capa de 4 a 6 cm de hormigón simple que formará la superficie del contrapiso.



Foto 4.3 -Encofrado de acero para entrapiso húmedo (Fuente: Archivo del autor).

El contrapiso de hormigón sirve como base para la colocación del acabado de entrepiso que puede ser cerámico, de madera, piedras, laminados, etc. Para evitar fisuras de retracción durante la cura del concreto es necesario usar una armadura de malla soldada colocada dentro del hormigón.

No ha de confundirse la losa húmeda con la losa colaborante, conocido también como "Steel Deck", ya que éste funciona como un elemento mixto y autoportante.

Para lograr un adecuado ambiente acústico se debe emplear un material de aislamiento entre el encofrado de acero y el concreto. Lo más común es la colocación de paneles de lana de vidrio compacta sobre la chapa de acero protegida por una película de polietileno para evitar la humidificación de la lana de vidrio durante el hormigonado.

Antes de la colocación de la chapa de acero debe fijarse en todo el borde del entrepiso un perfil galvanizado tipo angular que sirva de molde lateral para el hormigón. La Figura 4.5 muestra el esquema de una losa húmeda:

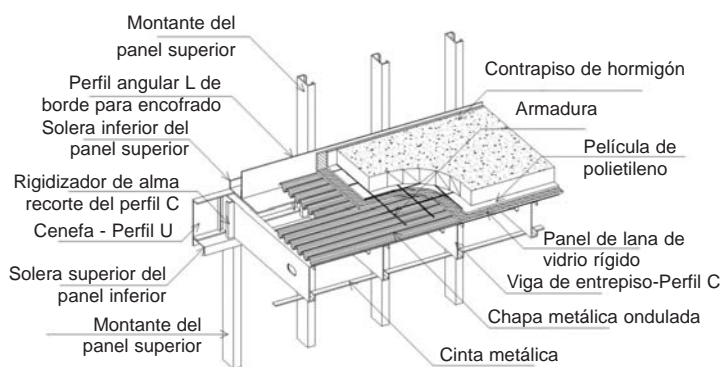


Figura 4.5 - Diseño esquemático de losa húmeda.

b) Entrepiso seco

El entrepiso seco consiste en el uso de placas rígidas atornilladas a las vigas de entre-

pisos; sirve de contrapiso, pudiendo desempeñar la función de diafragma horizontal, siempre que las placas sean estructurales.

La selección del tipo y del espesor de la placa está relacionada con la deformación requerida por las características de la misma, y fundamentalmente con el tipo de revestimiento que se usa. (Consul Steel, 2002).

La placa más utilizada es la OSB de 18 mm de espesor (Foto 4.4), que además de presentar propiedades estructurales que favorecen su uso como diafragma horizontal, es liviana y de fácil instalación.



Foto 4.4 - Placas de OSB utilizadas como entrepiso seco. (Fuente: Archivo del autor)

Para las áreas húmedas, tales como baños, cocinas, áreas de servicio y otras, es más recomendable usar la placa cementicia, ya que tiene una mayor resistencia a la humedad, pero las chapas cementicias requieren una base continua de apoyo, generalmente tableros de madera laminada, debido a las solicitaciones a la flexión (Loturco, 2003)

Para reducir el nivel de ruido entre un entrepiso y otro, es recomendable colocar lana de vidrio sobre las vigas cubierta con un film de polietileno bajo el contrapiso (Foto 4.5).



Foto 4.5 - Film de polietileno entre vigas de entrapiso y contrapiso con placas de OSB. (Fuente: Archivo del autor)

Las principales ventajas del uso del entrapiso seco son la menor carga por el peso propio, y una construcción en seco sin la necesidad de tener que usar agua en la obra y la mayor rapidez de ejecución. La Figura 4.6 muestra el corte esquemático de un entrapiso seco:

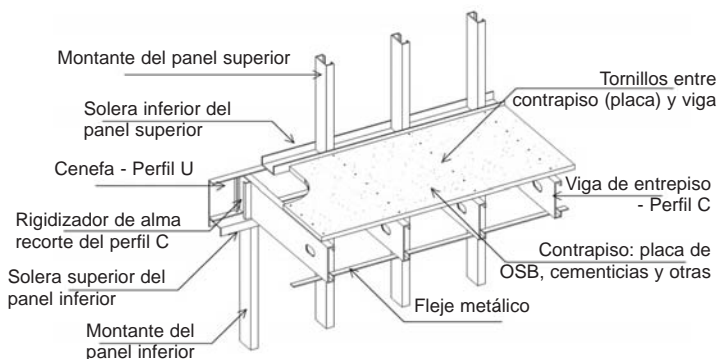


Figura 4.6 - Diseño esquemático de un entrapiso seco.

Algunos constructores consideran que es más productivo montar los paneles estructurales del piso superior sobre el contrapiso de la losa, ya sea seca o húmeda. Pero la bibliografía recomienda que los paneles portantes se monten directamente sobre la estructura del entrapiso, donde los montantes del panel superior hacen contacto directo con las vigas de entrapiso como forma de garantizar la correcta transmisión axial de los esfuerzos entre los componentes de la estructura, evitando las deformaciones por falta de nivelación o precisión dimensional de los elementos que forman el contrapiso.

4.2. Viguetas

Por lo general, las viguetas de entrapiso que lo formará se apoyan en los montantes, en que coinciden sus almas, dando origen al concepto de estructura alineada (Foto 4.6).



Foto 4.6 - Vigas de entrapiso apoyadas en montantes de paneles del entrapiso bajo (Fuente: Archivo del autor)

Pero hay situaciones en que otros elementos estructurales funcionan como apoyo. Un entrapiso de zapata corrida en Steel Framing puede apoyarse en una estructura tradicional (mampostería o concreto) pre-existente (Figura 4.7). O en construcciones en que las fundaciones son del tipo el entrapiso del nivel bajo en que la losa del entrapiso bajo se apoya directamente en la fundación (Figura 4.8).

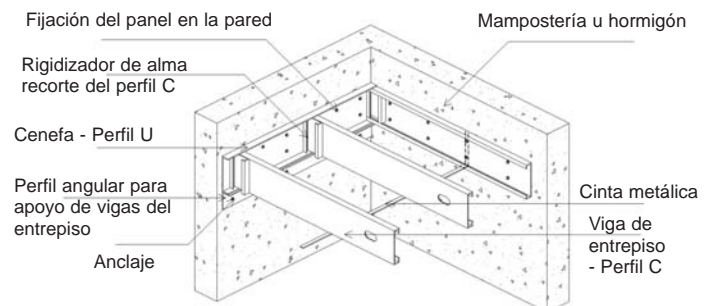


Figura 4.7 - Losa en Steel Framing apoyada sobre estructura tradicional.

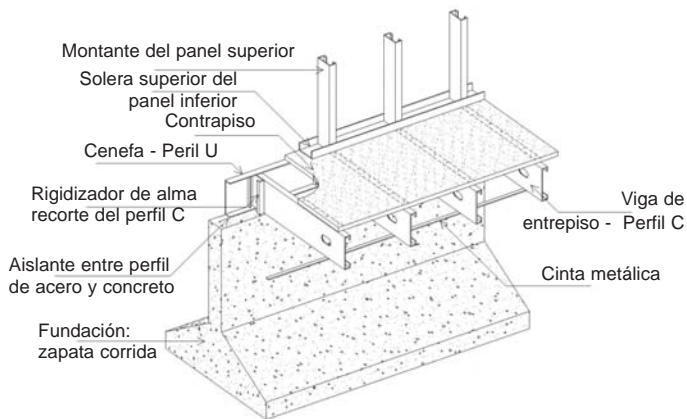


Figura 4.8 - Entrepiso en Steel Framing apoyado sobre fundación tipo zapata corrida

Para entrepisos en voladizo, por la ausencia de apoyo en una de los extremos de las vigas, se necesitan refuerzos especiales en la estructura, pudiendo considerarse dos casos. En el primero, las vigas del entrepiso en voladizo se encuentran en la misma dirección de las vigas de entrepiso, por lo que constituyen una prolongación de la estructura de entrepiso (Figura 4.9). Pero el segmento en voladizo se recomienda que tenga un largo máximo igual a la mitad del largo del segmento de las vigas que están entre los apoyos.

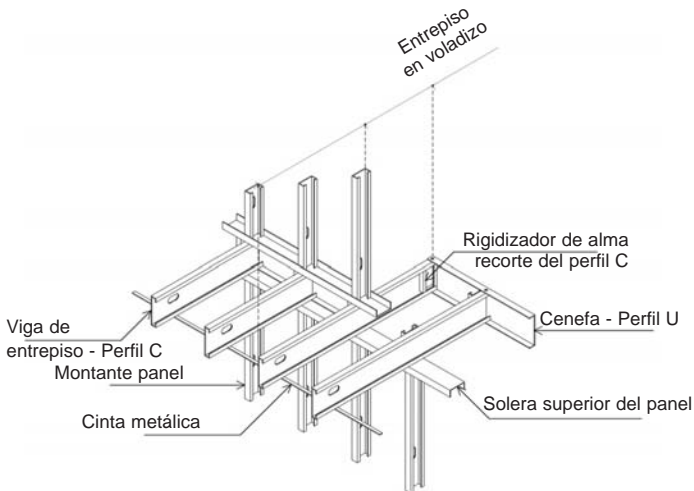


Figura 4.9 - Losa en voladizo.

En el segundo caso las vigas de la entrepiso en voladizo no están en la misma dirección que las vigas de la estructura del entrepiso, por

lo que será necesario disponer una nueva estructura para soportar las vigas que formarán el voladizo (Figura 4.10). Para esto, al igual que en el primer caso, las vigas deberán tener por lo menos el doble de largo que el voladizo, prolongándose hacia dentro de la construcción y estar entre apoyos. Uno de estos apoyos puede ser una viga de entrepiso reforzada según el cálculo, cuyas conexiones son semejantes a las descritas más adelante en lo concerniente a las vigas llamadas vigas principales. Las vigas de entrepiso que fueron interrumpidas pueden ser apoyadas en las vigas del voladizo, siempre que ellas estén debidamente reforzadas.

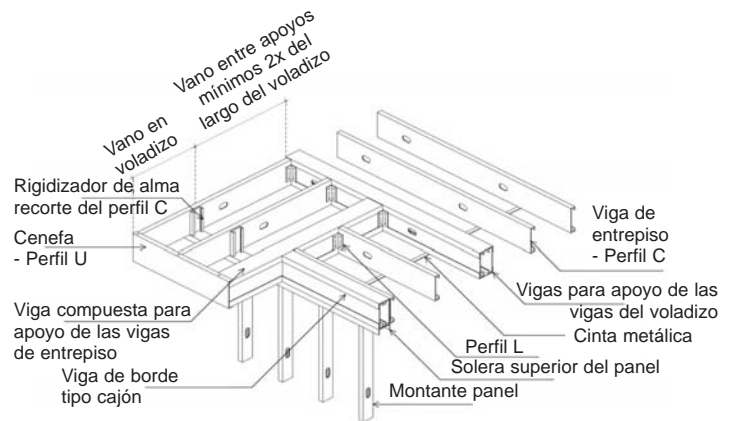


Figura 4.10 - Contrapiso en voladizo.

Si hubiera necesidad de diferencia de nivel entre contrapiso de entrepiso y contrapiso en voladizo, como suele ocurrir con balcones y áreas externas, en el caso de losas del tipo húmedo esto puede resolverse variando el espesor del contrapiso de hormigón.

En caso de losas secas, el desnivel se obtiene mediante el uso de perfiles de menor altura para la estructura del entrepiso en voladizo. Estos perfiles deben ser fijados a las vigas del entrepiso, traspasando la solera a través de cortes en su alma, y su largo también debe ser el doble del largo del segmento que forma el voladizo, como lo ilustra la Figura 4.11.

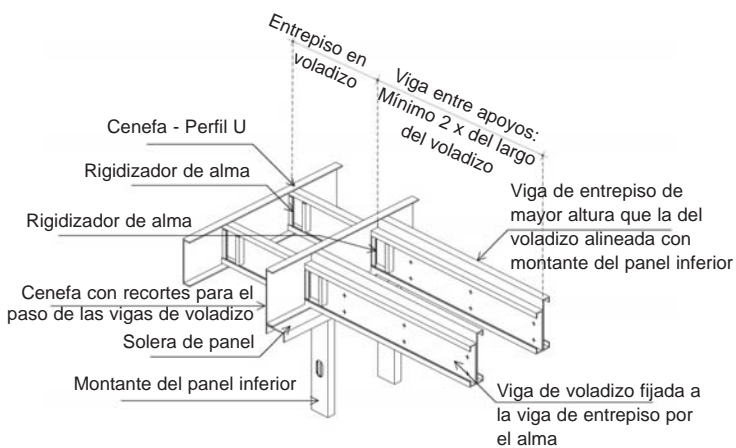


Figura 4.11 - Entrepiso en voladizo con contrapiso en diferentes niveles.

Especial atención debe prestarse a reproducir lo más fielmente posible las condiciones de apoyo supuestas en el proyecto estructural, al igual que a la adecuada fijación de las vigas a fin de garantizar la transferencia de las cargas que actúan sobre el entrepiso a los apoyos y, por consiguiente, a las fundaciones (Scharff, 1996).

En los casos en que la modulación de las vigas de entrepiso no coincida con la de los paneles, debe colocarse una viga cajón compuesta capaz de distribuir las cargas uniformemente a los montantes, según lo muestra la Figura 4.12.

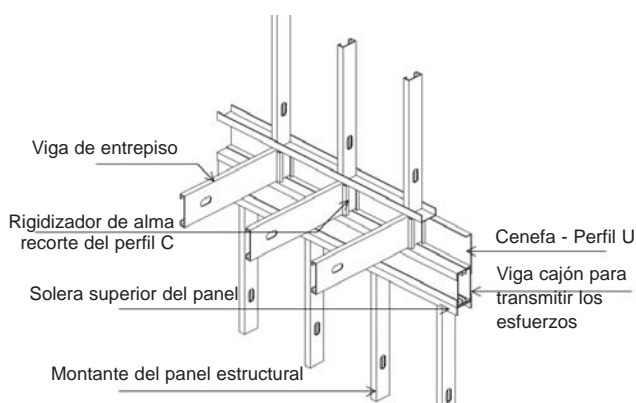


Figura 4.12 - Viga de distribución de la carga del entrepiso a los montantes

El arquitecto siempre debe considerar la altura de las vigas de entrepiso en su proyecto, para que estas no interfieran en la altura final del montante de los ambientes. La altura final del entrepiso

se la determina la altura del perfil (medida externa entre las alas) más el contrapiso, que varía de acuerdo al uso del entrepiso seco o húmedo.

La selección de un determinado perfil o la solución estructural dependen de varios factores: carga de utilización de la edificación, largo del vano, modulación del proyecto estructural, apoyos intermedios, largo de las vigas de entrepiso, etc. Normalmente, para aplicaciones habitacionales se recomiendan vanos de hasta 4,0 m, para el uso de perfiles C 200x40x0,95, estos, perfiles con altura de alma de 200 mm, ala de 40 mm y espesor de 0,95 mm. Sin embargo la definición de las viguetas debe ser por cálculo según las cargas aplicables.

Para vanos mayores, cuando las exigencias del proyecto y layout no permiten el uso de paneles intermedios de apoyo, se puede reforzar las vigas de entrepiso, a través de una combinación con otros perfiles, formando así vigas del tipo cajón, o aún utilizar una viga principal, en que se apoyan las vigas de entrepiso. Esta viga principal está hecha sobre la base de una combinación de dos o más perfiles, según la sollicitación que debe resistir, formando una viga cajón, como lo muestra la Figura 4.13:

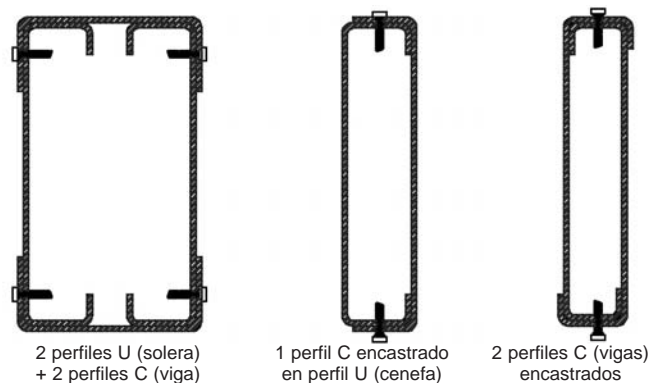


Figura 4.13 - Vigas compuestas para aumentar la resistencia.

La viga principal puede estar debajo de las vigas de entrepiso, o cuando haya una limitación de altura del montante, ellas pueden ser apoyadas en el mismo nivel mediante conexiones utilizando piezas tales como perfiles L o soportes ("hangers") (Figura 4.14).

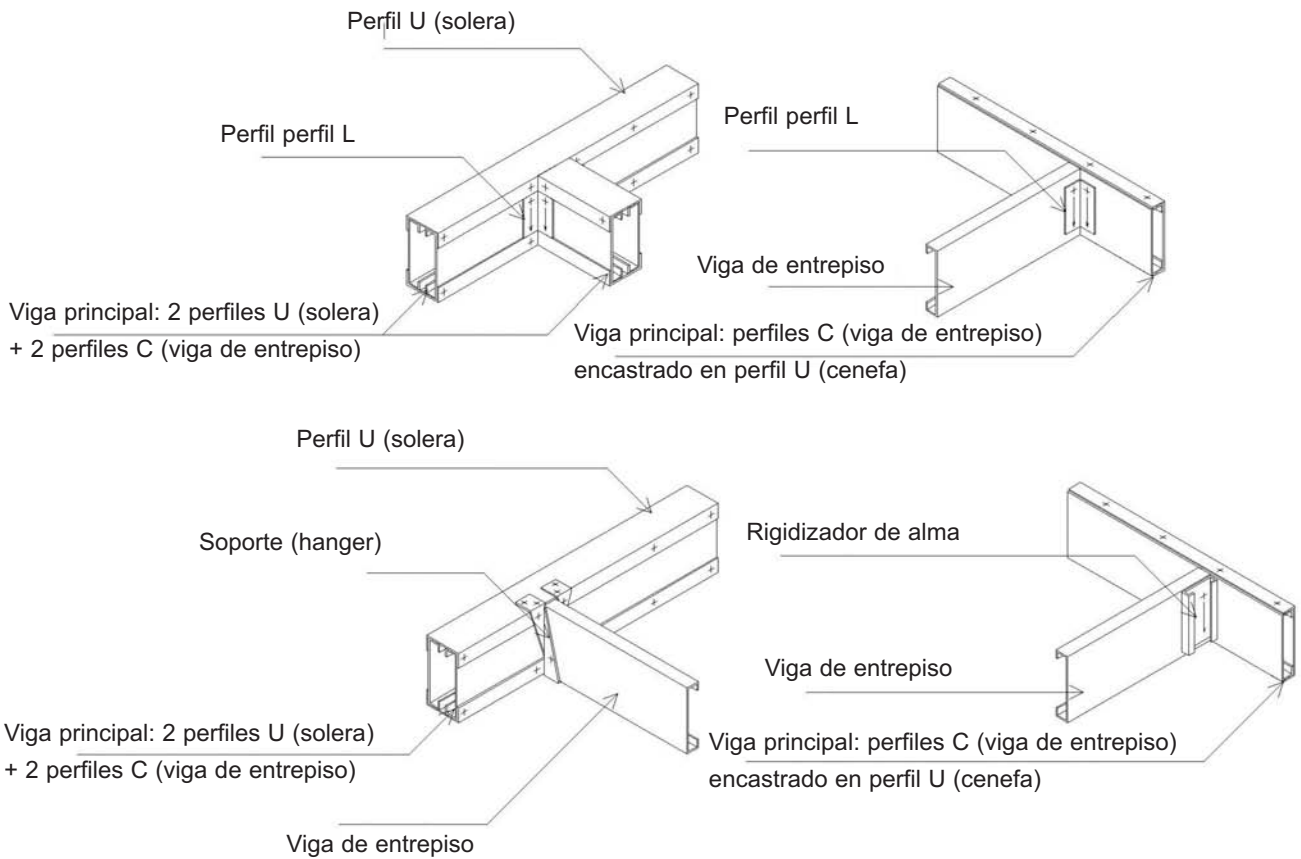


Figura 4.14 - Tipos de vigas principales para el apoyo de viguetas de entrepiso.

Para el soporte de las viguetas de entrepiso pueden también usarse vigas de acero soldadas o laminadas, como lo muestran la Figura 4.15 y la Foto 4.7, pero deberá prestarse especial atención a la protección de las piezas en contacto para evitar la corrosión.

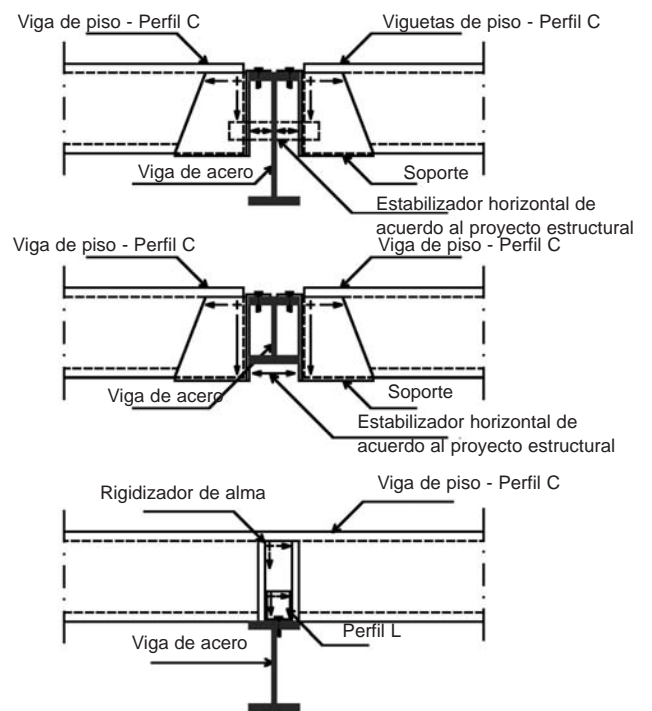


Figura 4.15 - Vigas principales de acero soldado.



Foto 4.7- Vigas de entrepiso apoyadas sobre la viga principal de a acero. (Fuente: disponible en: <http://www.aegismetalframing.com>.)

Cuando es necesario usar una viga continua, cuyo largo esté limitado por las condiciones de transporte (normalmente se transporta perfiles de hasta 6 m), pueden unirse dos perfiles utilizando un segmento del mismo perfil conectado al alma de las vigas (Figura 4.16). El largo de ese segmento que funciona como un empalme, depende de las tensiones que actúan en esa ubicación.

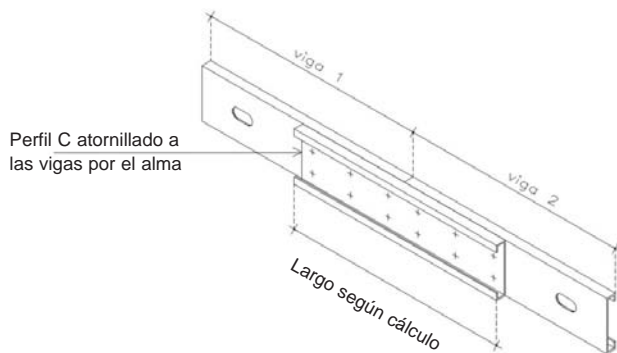


Figura 4.16 - Empalme de viga de entrepiso.

4.3. Rigidización Horizontal

La rigidización horizontal de la estructura de entrepiso (Foto 4.8) es un recurso para evitar algunos fenómenos, tales como deformación y pandeo lateral por torsión, deformación y vibración en las vigas de entrepiso. Al rigidizar el sistema se reducen los esfuerzos en las vigas y la carga se distribuye mejor (Scharff, 1996).



Foto 4.8 -Rigidización horizontal de entrepiso por medio de bloqueadores y cintas metálicas (flejes) (Fuente: Archivo del autor)

Según Elhajj; Bielat (2000), se emplean generalmente los siguientes tipos de rigidización horizontal:

- **Bloqueo Sólido:** consiste en usar un perfil C de las mismas características de las vigas de entrepiso, entre estas, conectado mediante perfiles L (Figura 4.17), o de un corte en el mismo perfil para que se puedan atornillar las vigas, en forma similar al procedimiento utilizado en los paneles. El bloqueo sólido siempre debe estar ubicado en los extremos de la losa, y espaciados a por lo menos 3,60 m, en todo el largo de la vigueta y su ala deben coincidir con las cintas de acero galvanizado que se fijan con tornillos al bloqueador.

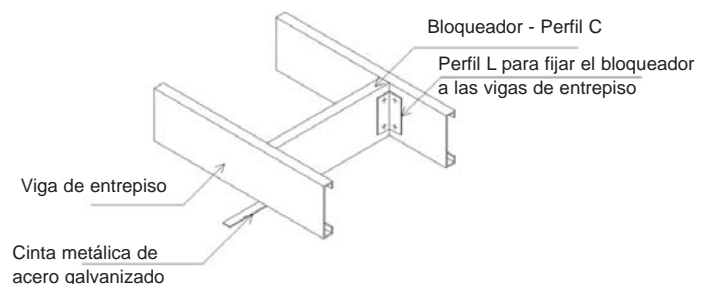


Figura 4.17- Bloqueador.

- **Cinta de acero galvanizado:** usada en conjunto con el bloqueo sólido, consiste en conectar una cinta de acero galvanizado per-

pendicularmente y fijado solo a las alas inferiores de las vigas de entrepiso, ya que en las alas superiores, el contrapiso rigidiza lateralmente a las viguetas.

4.4. Escaleras

Las estructuras de escaleras en Steel Framing son construidas con la combinación de perfiles U y C, normalmente los mismos que se usan en los paneles. Para conformar los peldaños y contrahuellas, lo más usado son paneles rígidos, tales como placas de OSB o planchas de madera maciza atornilladas en la estructura. Viables también son los pisos húmedos, siempre que sean usados con el método adecuado.

Se describirán tres métodos, pero la opción por uno de ellos depende del tipo de escalera, ya sea abierta o cerrada además del contrapiso y sustrato utilizados. Según “Construcción con Acero Liviano - Manual de Procedimiento” (2002), los métodos más utilizados son:

a) Viga Cajón Inclinada:

Es apropiada para escaleras abiertas, y utiliza como apoyo del escalón un perfil solera doblado en peldaños (solera-peldaño) unida a una viga cajón con la inclinación necesaria (Figura 4.18). El par de perfiles doblados forman el tramo de la escalera, y posibilitan el apoyo de los peldaños que puede estar compuestos de placas de OSB o tablonés de madera maciza que le dan el acabado final.

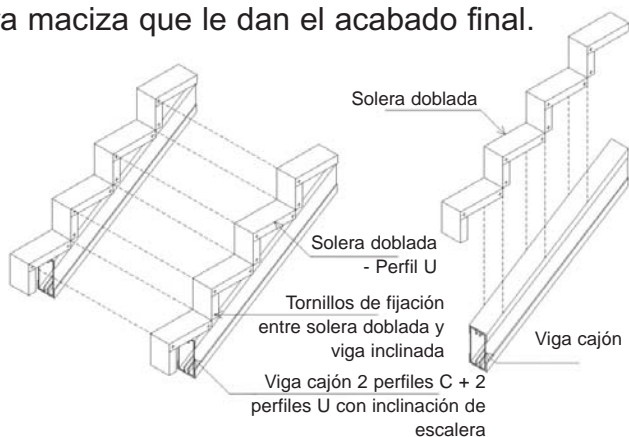


Figura 4.18- Diseño esquemático de escalera viga cajón inclinada



Foto 4.9 - Escalera viga cajón inclinada. (Fuente: Archivo del autor)

b) Panel Triangular Inclinado:

Es indicado para escaleras cerradas y consta de una solera unida a un panel con la inclinación necesaria de la escalera (Figura 4.19). El par de estos paneles forman el tramo de la escalera, y los peldaños se forman como en el primer caso, con placas de OSB o tablonés de madera maciza.

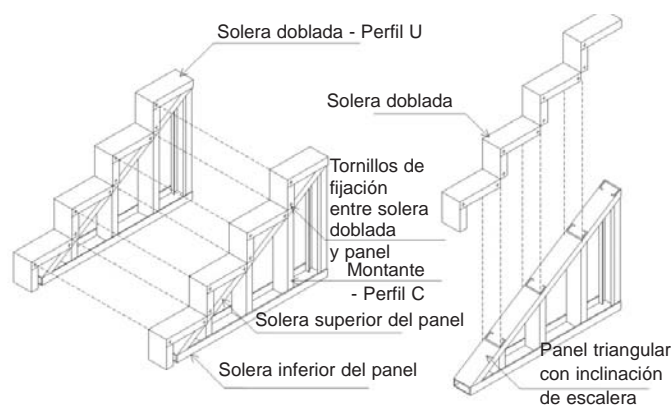


Figura 4.19- Diseño esquemático de escalera panel con inclinación.

- Solera doblada:

Para permitir el escalonamiento tanto de la escalera de Viga Cajón como la de Panel Triangular Inclinado, se requiere una pieza que se obtiene a partir del doblado de una solera (perfil U), según la siguiente secuencia:

1. Se marca la solera alternando las medidas del entrapiso y de la contrahuella del peldaño;
2. Se cortan las alas de la solera en los puntos marcados para permitir el doblado;
3. La solera se dobla en las marcas alternando la dirección (hacia dentro y hacia afuera) en un ángulo de 90°;
4. Una vez completo el doblado, la solera es atornillada por sus alas a la viga o panel.

c) Paneles Escalonados + Paneles de Peldaño:

Los paneles horizontales que sirven de base al substrato se conforman con dos perfiles solera (U) y dos perfiles C, y se apoyan en los paneles verticales, cuyos montantes asumen la altura correspondiente a cada peldaño, de modo de lograr el escalonamiento necesario para la inclinación de la escalera (Foto 4.10).



Foto 4.10 - Montaje de una escalera de paneles escalonados. (Fuente: Archivo del autor)

Este panel escalonado es montado como un único panel mediante una solera inferior continua para todos los montantes, según lo muestra la Figura 4.20.

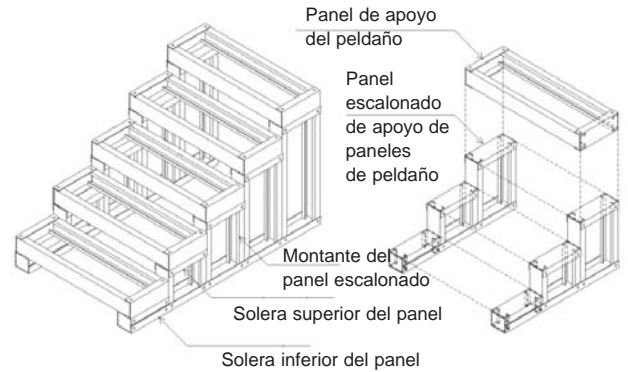


Figura 4.20 - Diseño esquemático de una escalera de paneles escalonados.

Este tipo de escaleras es el único utilizado para entrapisos húmedos. En tal caso se coloca un molde de madera debajo de cada panel de escalones, llenado con hormigón en el espacio entre los perfiles del panel horizontal. Pero también es adecuado para usar placas rígidas, tales como OSB o cementicias.

Capítulo 5

Cubiertas

La cubierta o techo es la parte de la construcción destinada a proteger el edificio de la acción de la intemperie, pero también puede desempeñar una función estética. Los techos pueden variar desde simples cubiertas planas hasta proyectos más complejos con gran intersección de aguas o planos inclinados.

Los techos inclinados además de su finalidad protectora, también funcionan como un regulador térmico de los ambientes cubiertos, ya que la cámara de aire entre la cubierta y el cielorraso constituye un excelente aislante térmico (Cardão, 1964). Debido a esto, en los países de clima tropical, los tejados inclinados son normalmente más eficientes en lo que respecta al confort ambiental.

Al igual como en las construcciones convencionales, la versatilidad del sistema Steel Framing posibilita la realización de los más variados proyectos de cubierta. Para los tejados inclinados, la estructura en SF sigue el mismo principio estructural de los techos convencionales de madera. Por lo tanto, el proyecto de ambos tiene mucha similitud.

Según Moliterno (2003), el techo está compuesto de dos partes principales:

- La cubierta: puede ser de materiales diversos, siempre que sean impermeables a las aguas lluvia y resistentes a la acción del viento y la intemperie.
- La estructura corresponde al conjunto de elementos estructurales destinados a la sustentación de la cubierta, tales como largueiros, cabios, correas, cabriadas y arriostramientos.

Según el documento “Design Guide for Cold-formed Steel Trusses” (LaBoube, 1995) publicado por el AISI (American Iron and Steel Institute), la estructura de un techo debe soportar además del peso propio de sus componentes, el peso de los revestimientos de cubierta, cielorrasos suspendidos, materiales de aisla-

miento, cargas de viento y de nieve, además de otros equipos o elementos fijados o apoyados en la estructura del techo. Deben tenerse en cuenta además las cargas durante la construcción y el mantenimiento y las derivadas de lluvias si el proyecto de la cubierta no prevé un drenaje apropiado de las mismas.

5.1. Tipos de Cubiertas

Existe una gran variedad de soluciones estructurales para realizar la cubierta de una edificación. La selección depende de diversos factores, tales como el tamaño del vano a cubrir, las cargas, las opciones estéticas, económicas, etc. En este capítulo se citarán algunas de las soluciones más comunes para construcciones en Steel Framing y se presentarán en forma detallada los métodos empleados para cubiertas inclinadas con cabios y cabriada, ya que son los más usados para construcciones residenciales.

5.1.1. Cubiertas Planas

A pesar de ser menos comunes, las cubiertas planas en Steel Framing han sido resueltas en la mayoría de los casos como una losa húmeda en que la inclinación para la caída del agua se logra variando el espesor del contrapiso de hormigón, como lo muestra la Figura 5.1. (ConsulSteel, 2002).

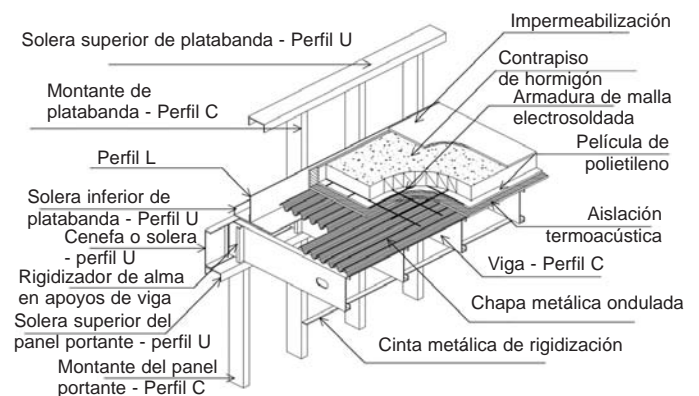


Figura 5.1 - Cubierta plana en Steel Framing

En caso de vanos mayores sin apoyos intermedios pueden usarse vigas de celosía planas (Figura 5.2) confeccionadas con perfiles C galvanizados (Foto 5.1). También pueden usarse las vigas de celosía planas para la estructura de entresijos que demandan cargas y vanos grandes.

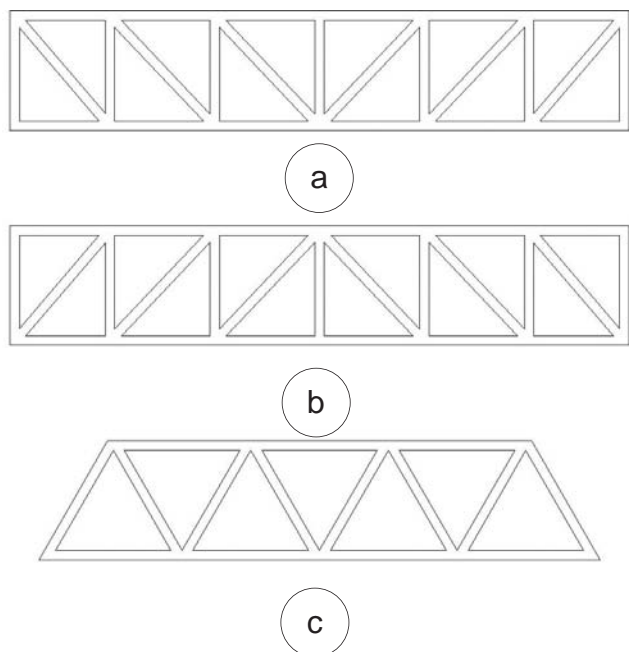


Figura 5.2 -Algunos tipos de vigas de celosía planas para Steel Framing.



Foto 5.1- Vigas de Celosía planas . (Fuente: <http://www.aegis-metalfra-ming.com>).

5.1.2. Cubiertas Inclinadas

La estructura de un tejado inclinado en Steel Framing es semejante a la de un tejado convencional, donde en lugar de una estructura de madera se utilizan perfiles galvanizados, y para posibilitar el principio de estructura alineada, el alma de los perfiles que componen la cabriada o los cabios tienen que estar alineados con el alma de los montantes de los paneles de apoyo y sus secciones, coincidiendo de modo que la transmisión de las cargas sea axial (Figura 5.3).

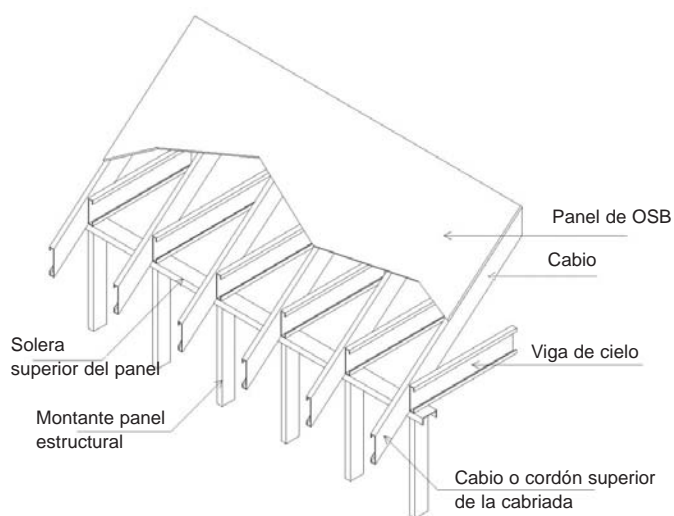


Figura 5.3 - Cabios y vigas alineados con los montantes del panel estructural.

Cuando esto resulta imposible, al igual como ocurre en el caso de los entresijos y los paneles, debe usarse una viga de repartición para lograr una correcta distribución de las cargas a los montantes.

El sistema Steel Framing admite la construcción de techos inclinados a partir de una estructura de cabios o por medio de cabriadas.

5.2. Cubiertas Estructuradas con Cabios y Correas.

El tejado estructurado con cabios es un método empleado en las construcciones del método de "fabricación en obra", en que los elementos estructurales (perfiles U y C) son cortados y montados en el sitio de la obra.

Se usa este tipo de cubierta cuando el vano entre los apoyos permite la aplicación de cabios y se desea utilizar una menor cantidad de acero de la que requieren las cabriadas. Sin embargo, aún en los proyectos de cubiertas más complejas y con vanos más grandes pueden utilizarse el sistema de cabios debidamente dimensionados y en algunos casos introducir perfiles dobles (Foto 5.2).



Foto 5.2 - Tejado estructurado con cabios en un Laboratorio de la Universidade Federal de Ouro Preto - MG (Fuente: Archivo Célio Firmo)

Una estructura típica de cabios consiste en usar dos cabios en posición opuesta cuyos extremos se apoyan en los paneles portantes, y formando la inclinación requerida se encuentran en una cumbrera en el tope del edificio (Figura 5.4). El peso del techo y otras cargas son transmitidos a través de los cabios a los paneles y, por consiguiente, a la fundación.

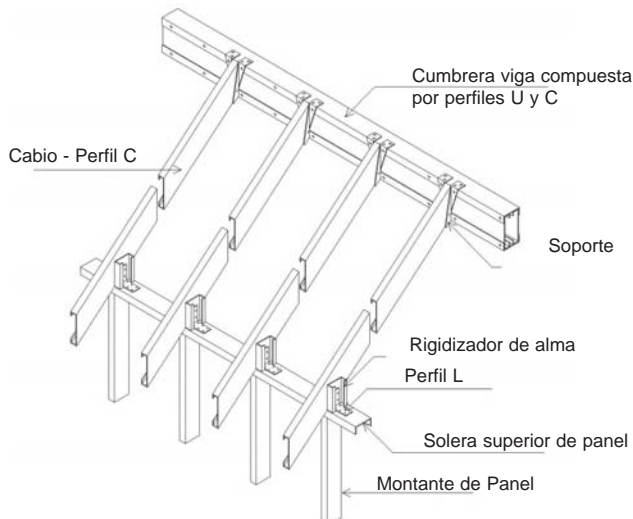


Figura 5.4 - Tejado típico estructurado con cabios.

La cumbrera puede ser el borde superior de paneles estructurales continuos que funcionan como apoyo en el encuentro de los cabios, o como es más común, una viga compuesta por perfiles U y C (Foto 5.3), según el cálculo.



Foto 5.3 - Cumbrera compuesta de perfiles U y C como apoyo de los cabios (Fuente: Archivo del autor)

La conexión de los cabios con la cumbrera puede hacerse con (Figura 5.5) perfiles L de espesor igual o mayor que el de los cabios (Waite, 2000), o con piezas de soporte, como lo ilustra la Figura 5.4. (Consul Steel, 2002):

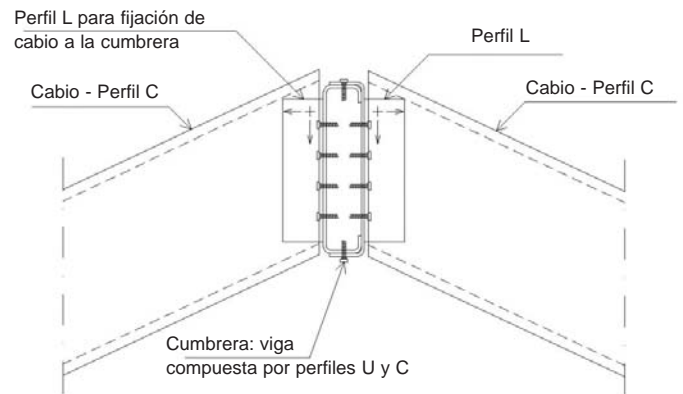


Figura 5.5 - Cumbrera de techo estructurada con cabios.

Hay casos en que es inevitable usar vigas de techo que atraviesan el vano, fijando los extremos opuestos de los cabios a fin de evitar que los paneles de apoyo se inclinen bajo el peso del tejado, como lo ilustra la Figura 5.6 (Waite, 2000).

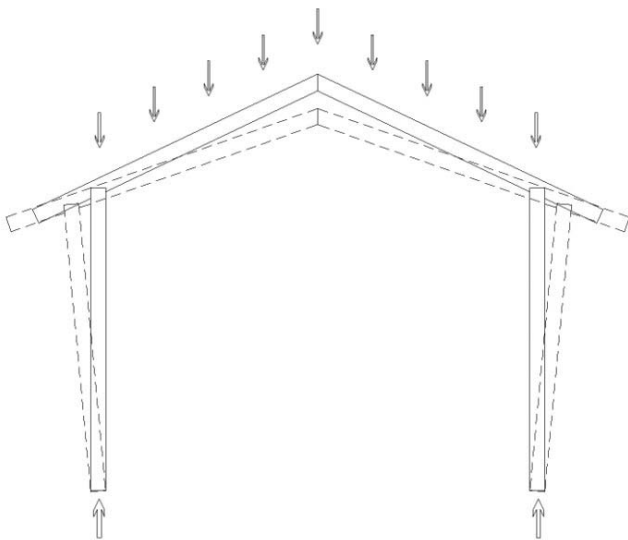


Figura 5.6 - Efecto de "apertura" de las paredes debido al peso del techo.

La fijación de cables y vigas en los paneles se logra mediante rigidizadores de alma que trabajan en conjunto con los perfiles L debidamente atornillados a las soleras superiores de los paneles.

En caso de necesidad también se usan puntales para transferir las cargas a los paneles portantes internos; van conectados a los cables y a las vigas de techo (Figura 5.7) contribuyendo a reducir el vano y las dimensiones de los cables (Waite, 2000).

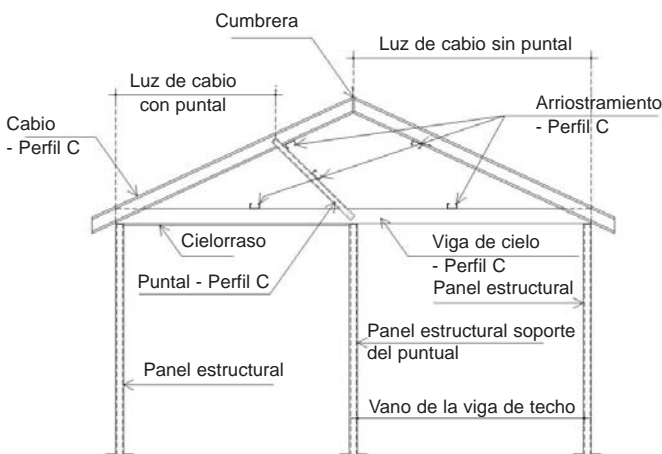


Figura 5.7 - Cubierta estructurada con cables y vigas.

Los techos de cuatro aguas o con intersección de varios planos inclinados exigen una mayor diversidad de elementos estructurales; pueden ser construidos a partir de cabriadas o cables o una combinación de ambos. Para ello, se conforman piezas de fijación de perfiles galvanizados U y C y otras piezas especiales de acero galvanizado para darle forma a la inclinación del tejado y contribuir a la fijación de los elementos.

Esta solución de techados puede montarse mediante los dos métodos descritos por Waite, 2000:

1. Viga cajón (colocando el perfil C dentro del perfil U) o compuesta (combinación de perfiles U y C) según el proyecto estructural, donde los cables complementarios que le darán la forma al tejado son cortados en el ángulo apropiado y conectados a la cumbrera por medio de perfiles L.
2. Dos perfiles U fijados por sus almas a una pieza que permita formar el ángulo apropiado (Figura 5.8), sirviendo de solera a los cables complementarios, que no requieren cortes en ángulos, ya que son atornillados en esas soleras.

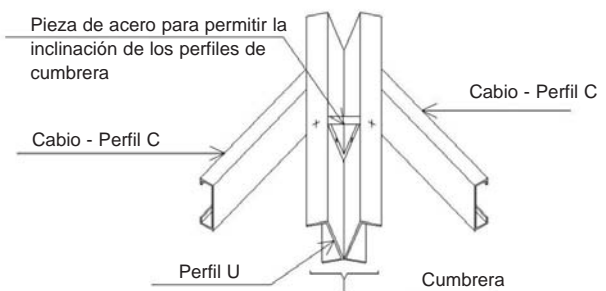


Figura 5.8 - Cumbrera formado con dos perfiles U.

5.2.1. Estabilidad de la Cubierta Estructurada con Cables y Vigas

Las cargas laterales de viento pueden provocar dislocaciones y deformaciones en la estructura del tejado, ya que actuando aislados los cables son inestables lateralmente.

Para evitar tales fenómenos y posibilitar que el sistema de cabios trabaje en conjunto, deben proporcionarse elementos rigidizadores (arriostramientos), que además de vincular los cabios entre sí, sean capaces de aumentar la resistencia de la estructura del tejado.

Los elementos que posibilitan el arriostramiento de una cubierta estructurada por cabios, conforme a los procedimientos descritos por Elhajj (2000) en el documento "Prescriptive Method for Residential Cold-Formed Steel Framing" son:

- Perfiles U o C o cintas de acero galvanizado fijados perpendicularmente a los cabios en su ala inferior o superior de acuerdo con la cubierta del techo (ver Figura 5.7);
- Perfiles U o C o cintas de acero galvanizado fijados en el ala superior de las vigas de techo (ver Figura 5.7);
- Bloqueadores y cintas de acero galvanizado posicionados en las vigas de techo siguiendo el mismo procedimiento descrito para las vigas de entrepiso;
- Placas estructurales, capaces de actuar como diafragmas de rigidización, fijadas en las alas superiores de los cabios.

Los techos inclinados en SF admiten diversos tipos de cubiertas o tejas. Para algunos tipos de tejas, tales como las cerámicas o "shingles" es necesario usar un substrato de apoyo, generalmente de OSB (Foto 5.4) protegido con una membrana de impermeabilización. En el caso de tejas cerámicas es necesario colocar perfiles tipo listones paralelos a los cabios sobre el OSB a fin de posibilitar el escurrimiento del agua, y sólo entonces fijar sobre éstos los listones que permitirán colocar las tejas. Las tejas "shingles" pueden fijarse directamente sobre el OSB sin necesidad de una estructura de apoyo como ocurre con las tejas cerámicas.

Las tejas de acero pueden funcionar también como diafragmas de rigidización, y en este caso, los elementos de arriostramiento de los cabios funcionan como correas cuando están apoyados en sus alas superiores uniendo el sistema y sirviendo de base para la fijación de las tejas de acero. La modulación entre los cabios puede ser mayor (hasta de 1,20 m), ya que las tejas de acero permiten vanos mayores porque son más livianas, y resistentes.



Foto 5.4 - Placas de OSB para la fijación de tejas "shingles"
(Fuente: Archivo del autor)

5.3. Cubiertas Estructuradas con Cabriadas o Vigas de Celosía

La solución más común para cubiertas residenciales son las cabriadas o vigas de celosía que cubren grandes vanos sin requerir apoyos intermedios. Las cabriadas de acero están reemplazando gradualmente las cabriadas de madera, principalmente en los procesos de remodelaciones, gracias a la gran resistencia estructural del acero, la levedad de las piezas, y porque es inmune a los insectos además de ser incombustible (Scharff, 1996).

Existe una gran variedad de diseños de cabriadas, lo que se debe a factores estéticos, funcionales, climáticos, culturales, etc. (Fotos 5.5 y 5.6):



Foto 5.5 - Modelo de cabriada de tejado confeccionada con perfiles de acero conformados en frío galvanizados. (Fuente: <http://www.aegismetalframing.com>).



Foto 5.6-Cabriadas de tejado en arco confeccionadas con perfiles de acero conformados en frío galvanizados, (Fuente: <http://www.aegismetalframing.com>)

De acuerdo a Moliterno (2003), las tipologías más usadas son:

- Cabriada Howe:

Figura 5.9 - Cabriada Howe

- Cabriada Pratt:

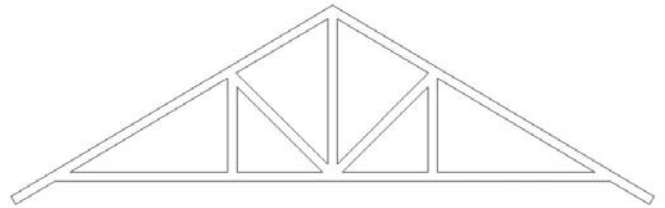


Figura 5.10 - Cabriada Pratt

- Cabriada Fink:

Es la más utilizada en los Estados Unidos para residencias en Steel Framing (Scharff, 1996).

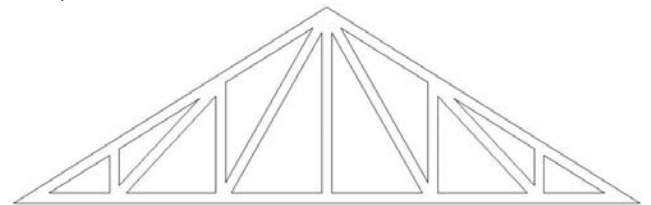


Figura 5.11 -Cabriada Fink

Según Scharff (1996), otros diseños de cabriadas adoptados son:

- Cabriada Alemana:

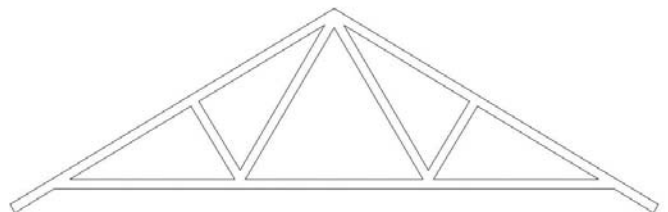


Figura 5.12 - cabriada alemana.

- Cabriada Belga:

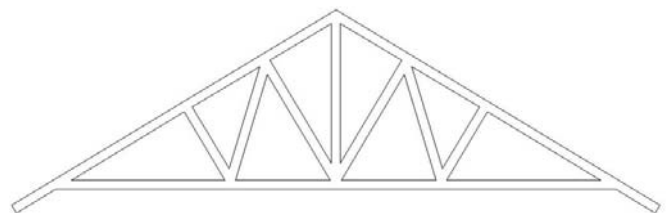


Figura 5.13 - Cabriada Belga

Las cabriadas o vigas celosía pueden venir prefabricadas (Foto 5.7) o ser armadas en el sitio de la obra. En ambos casos, las cabriadas deberán ser proyectadas y dimensionadas por profesionales especializados. Las cabriadas prefabricadas presentan algunas ventajas, tales como: precisión dimensional y menor tiempo de trabajo en la obra. La confección de cabriadas en el sitio de la obra requiere muchas veces un gran espacio plano disponible para el montaje de la mesa de trabajo y personal preparado.



Foto 5.7 - Descarga de cabriada de tejado en la obra.
(Fuente: Archivo del autor)

Las cabriadas está constituidas por miembros estructurales, generalmente perfiles C, que conectados forman una estructura estable. Los elementos básicos de la cabriada son (Figura 5.14):

- Cordón superior: perfil C que le da forma e inclinación a la cubierta del tejado;
- Cordón inferior: perfil C que le da forma e inclinación al cielorraso del espacio cubierto;
- Montantes o pendolones: perfiles C que dispuestos verticalmente; vinculan el cordón superior con el inferior;
- Diagonales: perfiles C inclinados que vinculan el cordón superior e, inferior y los montantes;
- Rigidizadores de apoyo: recorte de perfil C colocado en los puntos apoyo de la cabriada para la transmisión de los esfuerzos y para evitar el pandeo local de los perfiles de los

cordones;

- Arriostramientos: perfiles U, C o cintas de acero galvanizado que vinculan las cabriadas y le dan estabilidad al sistema de cubierta.

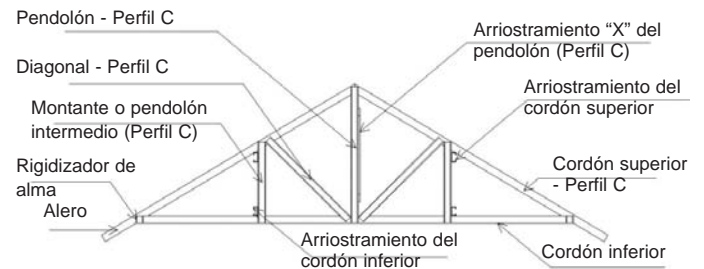


Figura 5.14 - Elementos de una cabriada.

Según Scharff (1996) las uniones entre los miembros de una cabriada pueden ejecutarse en diferentes formas. Pero las más comunes son:

- En el mismo plano, en que se hallan los nudos de la cabriada, se atornillan los perfiles en las chapas de Gusset (Foto 5.8);



Foto 5.8 - Cabriada de "media agua" cuyos elementos están fijados en placas metálicas de acero (placas de Gusset).
(Fuente: Archivo del autor)

- Capa sobre capa, donde los perfiles que forman pendolones y diagonales son atornillados al cordón superior e inferior por sus almas. Es así como la abertura de los perfiles de los cordones quedan a un lado y la de los perfiles de los pendolones y las diagonales al otro. En la unión del cordón superior con el inferior debe recortarse el ala y el rigidizador de borde del perfil del cordón inferior para permitir el armado, conforme lo muestra la Figura 5.15:

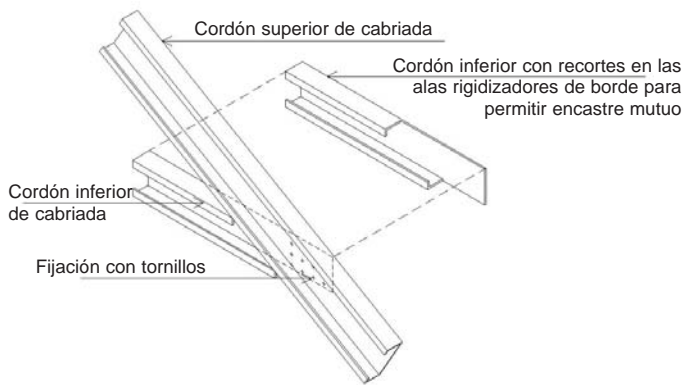


Figura 5.15 - Detalle unión cordón superior e inferior de una cabriada

En los dos métodos descritos, el plano definido por las alas de las piezas debe coincidir con las alas de los montantes que sirven de apoyo.

Los cordones superiores pueden prolongarse en voladizo, más allá del encuentro con los paneles de apoyo, formando el alero del techo. Los cordones superiores son rematados en sus extremos con un perfil cenefa U (Figura 5.16).

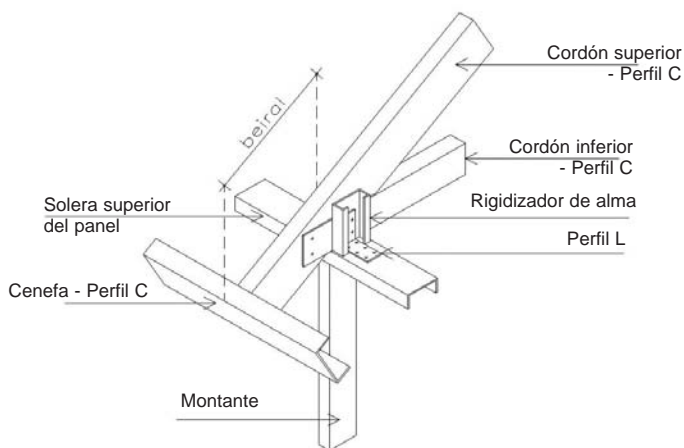


Figura 5.16 - Detalle del alero del tejado.

La cumbrera puede presentar diferentes soluciones de diseño que depende del tipo de cabriada y de la unión de las piezas (Figuras 5.17 y 5.18).

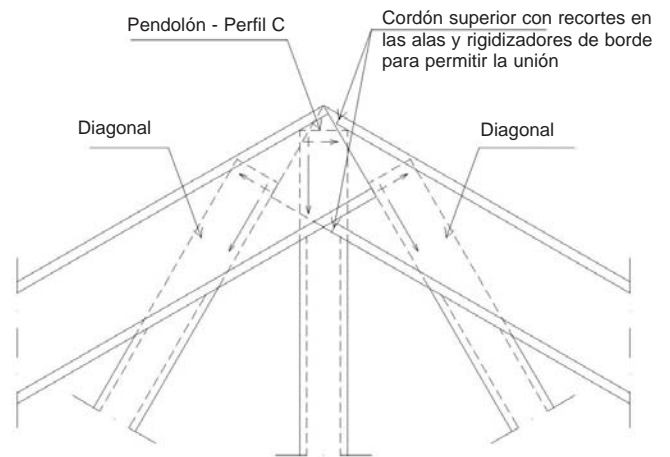


Figura 5.17 - Detalle cumbrera de cabriada Pratt.

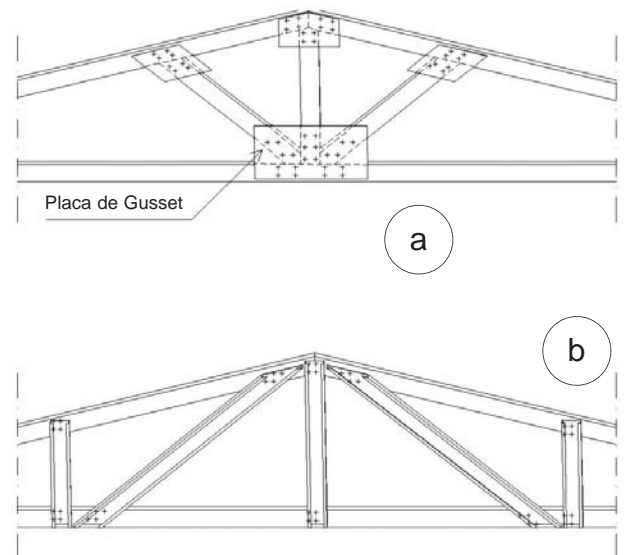


Figura 5.18 - Detalle de cabriada (a) Howe y (b) Pratt

Para techos de dos aguas, el panel de cerramiento del tímpano, es construido de acuerdo a la presencia y disposición de la cumbrera. Cuando no hay aleros perpendiculares al plano de las cabriadas, el tímpano será un panel con la misma inclinación y altura de las cabriadas (Figura 5.19).

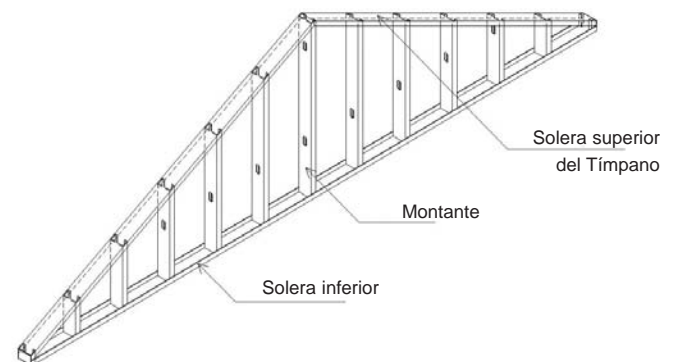


Figura 5.19 - Panel de cerramiento del tímpano.

Para los aleros es necesario construir un panel auxiliar denominado “panel de alero” para cuya fijación a la estructura del tejado pueden emplearse los dos métodos:

1. El panel del alero puede apoyarse sobre el tímpano, y en la primera cabriada, que es lo más recomendable; o
2. El panel del alero puede fijarse en el panel del tímpano quedando en voladizo;

En el 1er caso, la altura del tímpano debe ser menor que la altura de la cabriada tipo para permitir el traspaso y el apoyo del alero que se fijará en la primera cabriada del tejado, según lo muestra la figura 5.20:

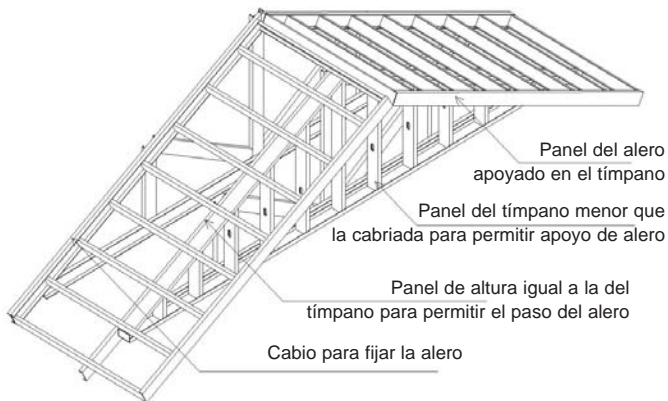


Figura 5.20 - Panel de alero.

Para poder unir el alero a la cabriada, deberán reforzarse los cordones superiores de la misma con un perfil U formando una sección cajón, en la que puede fijarse el panel de alero, como lo muestra la figura 5.21:

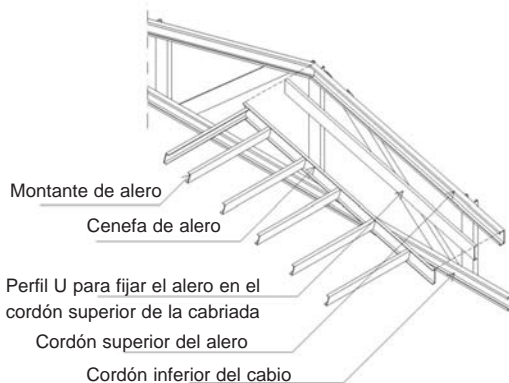


Figura 5.21 - Detalle de fijación de panel de alero.

En algunos casos puede colocarse junto con el panel del tímpano, una cabriada de la misma altura a fin de permitir una superficie para atornillar las placas de cielorraso y la fijación de los arriostramientos hasta el extremo de la estructura.

Como el alma de los perfiles del alero debe coincidir con el alma de los montantes que sirven de apoyo, la modulación del panel del alero dependerá del ángulo de inclinación del tejado.

Sólo se adopta un panel de alero en voladizo cuando hay una pequeña proyección del alero, para lo que se utiliza el diafragma de rigidización en la cubierta del tejado. El panel del alero se fija al tímpano que tiene la misma altura que las cabriadas (Figura 5.22).

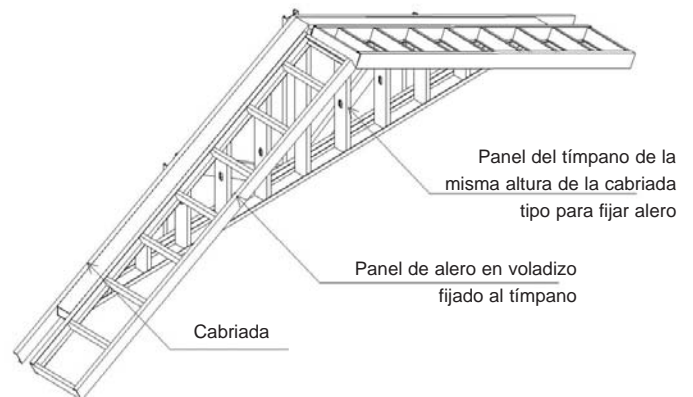


Figura 5.22 - Panel de alero en voladizo.

La modulación de este alero no necesariamente debe coincidir con la del panel del tímpano en el que está fijado. La flexión del voladizo es absorbida en parte por las placas del diafragma que van fijadas tanto a los cordones superiores de las cabriadas como al panel del alero.

Para tejados de cuatro aguas o con intersección de planos inclinados (Foto 5.9), existe básicamente tres formas de ejecución:

1. Por medio de vigas y cabios según el método presentado más arriba para techados estructurados con cabios;
2. Paneles de tejado, donde se ejecutan paneles para formar la volumetría del tejado, conforme lo muestra la Figura 5.23. La intersección de estos paneles inclinados se obtiene con piezas compuestas de perfiles U y C, según lo descrito para techos estructurados por cabios.



Foto 5.9 - Techo con intersección de varios planos. (Fuente: <http://www.aegismetalframing.com>).

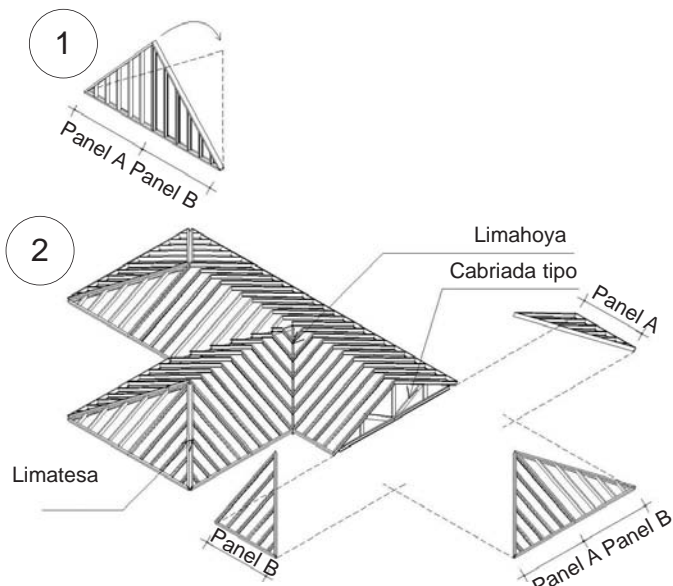


Figura 5.23 - Método para construcción de techados de cuatro aguas.

3. Por medio de cabriadas auxiliares.

A partir de la cabriada tipo se forma una secuencia de cabriadas auxiliares de formato

trapezoide; la altura de cada una corresponde a su relativa posición en la inclinación del tejado y que apoyarán las riostras, como lo muestra la Figura 5.24:

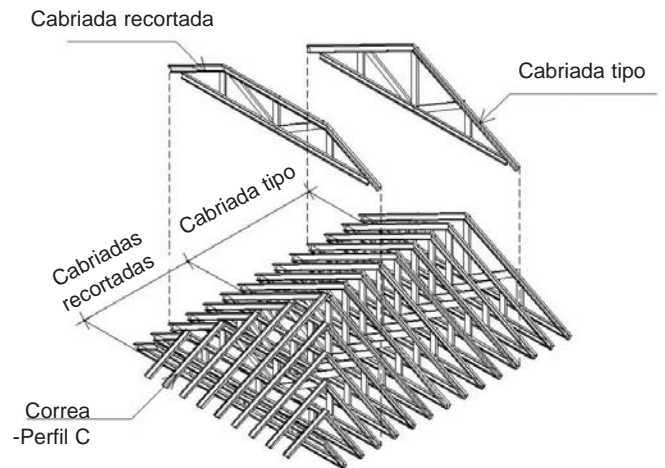


Figura 5.24 - Cabriadas auxiliares.

Además está el otro método descrito por Waite (2000), para el cual se usan cabriadas de media agua que van fijadas perpendicularmente a los pendolones de las cabriadas de los extremos, que junto con los cabios darán su forma a la inclinación del tejado.

Además según Waite, las cabriadas de los extremos del tejado de cuatro aguas, deben ser reforzadas, pues asumen más carga que las otras cabriadas que componen el tejado. La cabriada maestra está compuesta por dos cabriadas tipo, atornilladas entre sí.

5.3.1. Estabilidad de la Cubierta Estructurada con Cabriadas

De acuerdo con el documento "Design Guide for Cold-formed Steel Trusses", el arriostamiento inadecuado es en la mayoría la causa de los colapsos del sistema de cabriadas durante la construcción. El arriostamiento correctamente instalado es vital para la seguridad y la calidad de la estructura del tejado durante el montaje y su vida útil.

La función del arriostamiento es hacer que las cabriadas del tejado actúen juntas

como unidad para resistir las solicitaciones aplicadas a la estructura ya que aisladas las cabriadas son inestables lateralmente y tienden a girar en torno del eje definido por la línea de sus apoyos.

La estabilidad de la estructura de cubierta está dada por:

a) Arriostramiento lateral:

Compuesto por perfiles U y C que fijados perpendicularmente a las cabriadas además de reducir el largo del pandeo de los cordones superiores (Figura 5.25) e inferiores, sirven para transferir la acción del viento a las cabriadas y arriostramientos verticales;

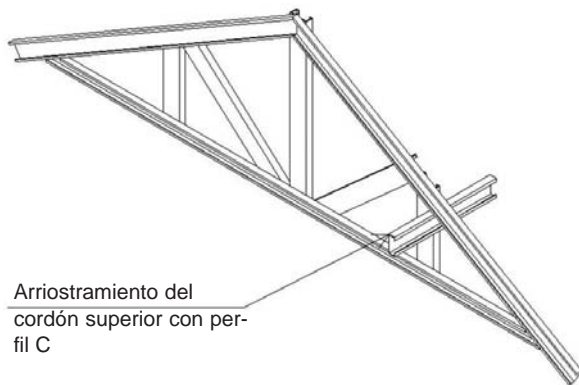


Figura 5.25 - Arriostramiento lateral del cordón superior.

b) Arriostramiento vertical o en "X":

Estructura plana vertical formada por perfiles C cruzados dispuestos perpendicularmente al plano de las cabriadas, trabándolas e impidiendo su rotación y deformación, principalmente contra la acción del viento (Figura 5.26).

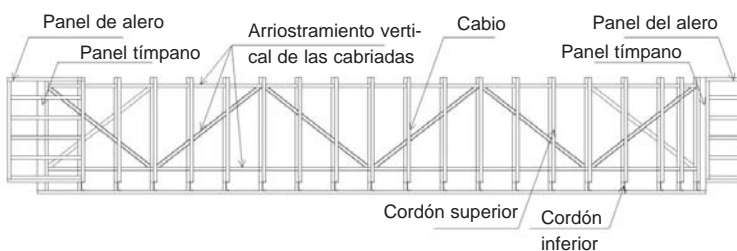


Figura 5.26 - Vista lateral de la estructura del techo mostrando el arriostramiento del sistema de cabriadas.

Dependiendo del tipo de teja utilizada en la cubierta, (por ejemplo "shingles"), es necesario aplicar placas estructurales, tales como las de OSB (Fotos 5.10 y 5.11), que pueden servir de base para la fijación de las tejas, funcionar como un diafragma rígido trabando las cabriadas y generando el arriostramiento lateral del cordón superior.



Foto 5.10 - Placas de OSB para la fijación de tejas "shingles" (Fuente: Archivo del autor).



Foto 5.11 - Demostración de instalación de tejas "shingles" sobre placas de OSB. (Fuente: Archivo del autor)

En el caso de planchas de acero (Foto 5.12), estas se apoyan en correas fijadas al cordón superior de las cabriadas, que al mismo tiempo sirven de arriostamiento a la cubierta (Figura 5.27):



Foto 5.12 -Planchas de acero usadas en la cubierta de la edificación.(Fuente: [mhttp://www.aegismetalframing.com](http://www.aegismetalframing.com)).

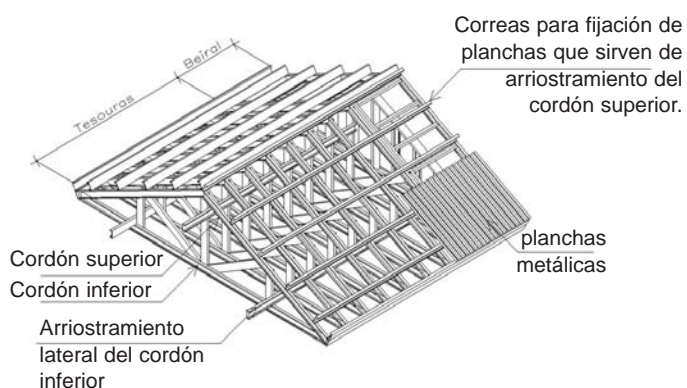


Figura 5.27 - Tejado estructurado con cubierta de planchas de acero.

Para el uso de tejas cerámicas, debido a la necesidad del plano de apoyo, el arriostamiento lateral del cordón superior debe ser fijado en el ala inferior del perfil, si se emplean las placas de OSB estas pueden funcionar como diafragma de rigidización. La colocación de las tejas cerámicas se realiza como lo indicado en el ítem 5.2.1.

Capítulo 6

Cerramientos

El sistema de cerramiento está compuesto por las paredes exteriores e interiores de una edificación. En el sistema SF, los componentes de cerramiento deben ser elementos livianos, compatibles con el concepto de la estructura diseñada para resistir componentes livianos.

Los componentes de cerramiento cubren las casas de la estructura como una "piel" y forman los paneles interiores y exteriores de la edificación.

Otro concepto fundamental en los cerramientos del sistema SF es la posibilidad de empleo de los paneles racionalizados a fin de promover un mayor grado de industrialización de la construcción. En este aspecto, el sistema SF presenta un gran potencial de industrialización, puesto que la misma modulación estructural es dimensionada para una mayor optimización de la utilización de chapas y placas de revestimiento. Por eso, en la mayoría de los casos, las placas son dimensionadas con un ancho de 1,20 m (ó 1,22 m), múltiplo de la modulación de 400mm o 600 mm, como ocurre con las placas de yeso cartón y las placas cementicias.

Los materiales del cerramiento y acabado más adecuados son los que favorecen una obra "seca", con reducción o eliminación de las etapas de ejecución que requieren la construcción húmeda.

Los componentes empleados en la construcción de paredes deben ajustarse a los criterios y requisitos que satisfagan las exigencias de los usuarios y la habitabilidad de la edificación. La norma ISO 6241:1984 establece los requisitos fundamentales para cumplir estos requerimientos. Entre ellos podemos citar:

- Seguridad estructural;
- Seguridad de fuego;
- Estanqueidad
- Confort termoacústico;
- Confort visual;

- Adaptabilidad al uso;
- Higiene;
- Durabilidad;
- Economía.

Se han desarrollado diversos materiales que cumplen estas condiciones. En los países que utilizan ampliamente la construcción en Steel Framing, las investigaciones sobre confort térmico han favorecido la evolución del uso de sistemas de alto desempeño térmico en los climas cálidos y los fríos y a la necesidad de economizar energía, como es el caso del EIFS ("Exterior Insulation and Finish System") (Figura 6.1).

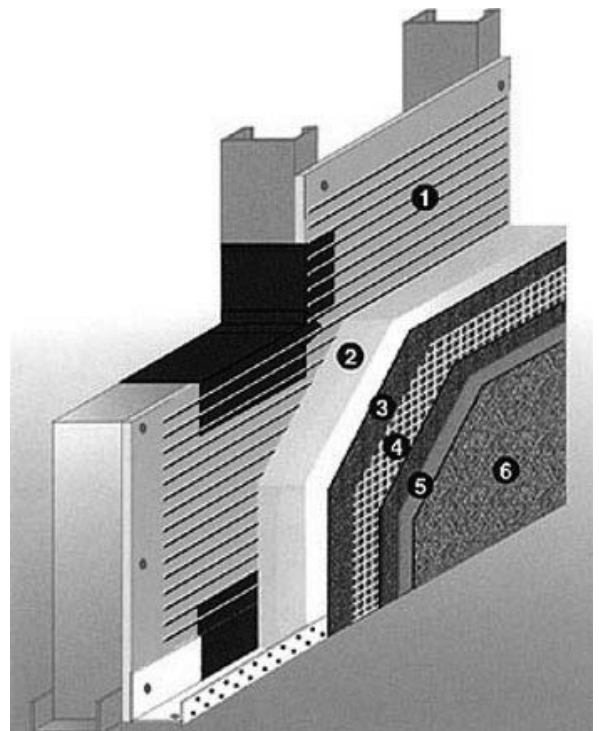


Figura 6.1 - Diseño esquemático de cerramiento externo con EIFS: 1- sustrato; 2- placa de EPS (poliestireno expandible); 3- revestimiento de base; 4- malla de refuerzo; 5- regulador de fondo; 6- revestimiento final. (Fuente: Disponible en: <http://futureng.com/eifs.htm>)

Los productos disponibles en los mercados de los países del área latinoamericana, para el cerramiento de construcciones en SF se proporcionan en placas o chapas de varios espesores, siendo los más utilizados el OSB

(oriented strand board), la placa cementicia y la placa de yeso cartón. Este último sólo debe ser usado para aplicaciones interiores.

Pero el mercado está siempre ofreciendo nuevas opciones, reflejo de las investigaciones de materiales alternativos de la mampostería. Cabe citar en este campo el uso de paneles de acero (Foto 6.1) que pueden presentar aislamiento termoacústico incorporado, y han encontrado vasta utilización para el cerramiento de galpones, industrias, centros comerciales, culturales, educacionales y tantos otros.



Foto 6.1- Cerramiento de edificación en SF con paneles de acero (Fuente: Revista Architecture à Vivre)

En este capítulo vamos a tratar los materiales más utilizados en los países de la región: OSB, placa cementicia y placa de yeso cartón. La capacitación de la mano de obra para la instalación de sistemas “drywall” ha influido mucho en la proliferación del uso del OSB y de la placa cementicia, porque el método de instalación es similar y la tecnología se encuentra ampliamente difundida.

6.1. Paneles de OSB

Las placas de OSB (oriented strand board) pueden ser utilizadas como cerramiento de la cara interior y exterior de los paneles, para cielorrasos, pisos y como sustrato para la cobertura del tejado. Pero debido a sus características no deben estar expuestos a la intemperie, por lo que necesitan un acabado impermeable en las superficies exteriores.

Sus propiedades de resistencia mecánica, resistencia a impactos y de buena estabilidad dimensional posibilitan su uso estructural en calidad de diafragma rígido cuando se aplican a los paneles estructurales y entrepisos.

Son tratadas contra insectos como termitas y poseen una relativa resistencia a la humedad, debido a las sustancias usadas en la confección de las chapas y los bordes sellados (borde verde). Son comercializadas en dimensiones de 1,22 m x 2,44 m y espesores de 9, 12, 15 y 18 mm.

Como sistema de cerramiento vertical, el OSB encuentra más aplicación para cerramientos exteriores, ya que la placa de yeso cartón en interiores ofrece un mejor desempeño estético y funcional.

El método de fijación y montaje es muy semejante al de la placa de yeso cartón en el sistema “Drywall”, dado que las placas por sus dimensiones y poco peso (aproximadamente 5,4 kg/m², dependiendo de su espesor), pueden ser transportadas manualmente sin necesidad de otros equipos; además se fijan con tornillos autoperforantes.

Como las placas de cerramiento exterior están expuestas a la intemperie, deben tomarse algunas precauciones tanto en el proyecto como en la ejecución de la edificación, como las que se describen a continuación.

En el proyecto deben considerarse las juntas de dilatación entre las placas, debido a las variaciones dimensionales ocasionadas por la temperatura y la humedad del aire (Foto 6.2). Las juntas deben presentar 3 mm entre las placas, incluyendo todo su perímetro, esto es, por los cuatro lados de la placa, y también entre estos y las escuadras. Las juntas verticales siempre deben estar sobre los montantes y debidamente atornilladas. Cuando las paredes tienen dimensiones que superan los 24 m, deben preverse juntas de movimiento (Structural Board Association, 2000).

Juntas de dilatación



Foto 6.2 - Fachada con cerramiento exterior en OSB presentando juntas de dilatación. (Fuente: Archivo del autor)

Las placas de OSB, independientemente del acabado final, deben ser protegidas externamente de la humedad y del agua mediante una capa o membrana de polietileno de alta densidad, que cubra toda el área externa de las paredes, pero permitiendo el paso del vapor de la parte interna de los paneles hacia el exterior, evitando la condensación dentro de los mismos (Foto 6.3). Las membranas son engrampadas a las placas y solapadas de 15 a 30 cm en sus juntas para crear una superficie continua y efectiva que impida las infiltraciones de agua y viento. Es importante que este revestimiento

sea hecho de modo que las placas queden fijadas para protegerlas de la exposición al agua y a agentes climáticos durante la construcción, dado que pueden producirse hinchamientos, principalmente en las placas que fueron cortadas sin haberse impermeabilizado sus bordes.



Foto 6.3- Impermeabilización de las placas de OSB de la fachada de la foto anterior con membrana de polietileno. (Fuente: Archivo del autor)

Los paneles interiores tanto como los exteriores no deben estar en contacto directo con el suelo o la fundación. En la base de los paneles, antes del montaje debe fijarse una cinta selladora, que además de evitar el contacto directo con la humedad del piso, minimiza los puentes térmico y acústico. Toda la proyección horizontal de las paredes exteriores debe estar sobre una base más alta que el nivel exterior a fin de evitar el contacto de las placas con el suelo y el paso de agua entre el panel y la fundación, como lo muestra la Figura 6.2:

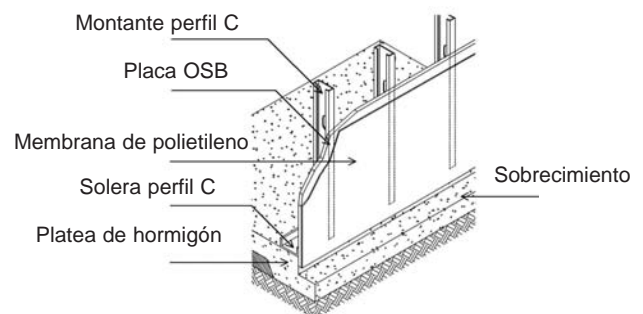


Figura 6.2- Borde inferior elevado para evitar el contacto de las placas y paneles con la humedad.

Las juntas verticales de las placas deben estar desfasadas entre sí, evitando la coincidencia de las juntas, tal como aparece en la Foto 6.4, y como ya se ha descrito en el Capítulo 3. Es así como para funcionar como diafragma de rigidización, las placas deben seguir las recomendaciones dadas para la fijación y disposición en los paneles.



Foto 6.4- Instalación de OSB en la fachada con juntas verticales desfasadas. (Fuente: Archivo del autor)

Antes de efectuar el revestimiento exterior es importante señalar que si las placas de OSB están mojadas, es aconsejable esperar a que se sequen para luego proceder a la colocación de los revestimientos. Como acabado final puede adoptarse un “siding” vinílico, de madera o cementicio y argamasa.

6.1.1. “Siding” Vinílico

El “siding” es un revestimiento de fachadas, compuesto de tablillas paralelas, muy comunes en las residencias norteamericanas. El “siding”, como ya se ha mencionado, puede ser vinílico que es hecho con PVC, de madera o cementicio. El aspecto de “siding” es semejante al tingladillo de madera. Vamos a enfocar el uso del “siding” vinílico, por presentar el mejor desempeño, y una concepción de ejecución más industrializada. Su

principal ventaja es ser una alternativa de construcción más rápida y limpia que los revestimientos tradicionales, tales como revoque, pintura y revestimientos cerámicos. Otra de sus ventajas es que proporciona el acabado que mejor se adapta al cerramiento en OSB.

El “siding” vinílico es un material muy versátil, de fácil aplicación que no necesita de muchos cuidados de mantenimiento. Se puede pintar y limpiar con agua y jabón. Se vende en el mercado en forma de paneles compuestos por tablillas dobles de 5,00 m de largo y 25,0 cm de ancho, con texturas que imitan madera o de color blanco (Foto 6.5). Las medidas pueden variar de acuerdo a cada país.



Foto 6.5 Instalación de siding vinílico. (Fuente: Marcos Lima ¹)

El revestimiento es impermeable, en función de su material y del sistema de montaje de barras intertrabadas que facilita su estanqueidad. Pero no ofrece mucha resistencia a los impactos, a pesar de ajustarse a las normas internacionales de desempeño (Revista Techné, 2003). Para asegurar la eficiencia de la instalación del “siding” vinílico, deben colocarse las tablillas de modo de no restringir el movimiento de dilatación y contracción de las piezas.

Para la instalación, los fabricantes venden varios accesorios: perfiles de fijación, acabados para cantos, escuadras y piezas decorativas (Foto 6.6).

¹ Imagen publicada en la Revista Techné N° 76, página 55, Julio 2003.



Foto 6.6 - Perfiles accesorios para la instalación del "siding" vinílico, en el detalle acabado para escuadras y esquineros. (Fuente: Archivo del autor)

La instalación es muy sencilla, siguiendo las siguientes etapas:

1. Definición del proyecto;
2. Impermeabilizar el OSB con la membrana de polietileno;
3. La instalación comienza abajo y sigue hacia arriba, fijando en primer lugar el perfil de arranque;
4. Luego se fijan los perfiles del contorno, las cantoneras en los bordes de las esquinas y demás accesorios con tornillos autoperforantes galvanizados a intervalos de 25 a 30 cm;
5. Se instalan las tablillas del "siding", posicionando primero el perfil de arranque formando una hilera horizontal y cuando se completa esta primera línea, se colocan las subsiguientes, fijándolas con tornillos autoperforantes galvanizados, cada 40 o 50 cm en los orificios alargados (ojales) existentes en el borde superior de las placas (Figura 6.3). Se debe dejar 1 mm de espacio libre entre la parte posterior de la cabeza del tornillo y la cara externa de los perfiles para no inhibir las dilataciones térmicas del PVC (Figura 6.3);

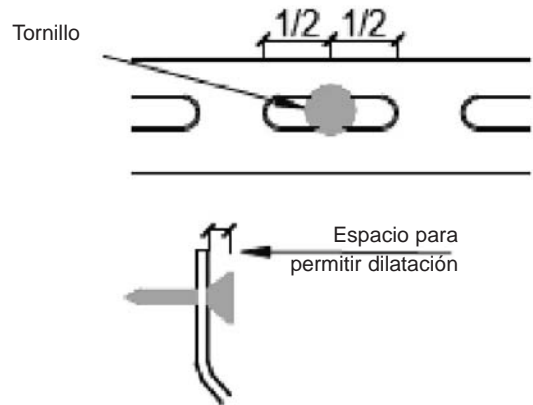


Figura 6.3- Fijación del "siding" con tornillos, (adaptado de ConsulSteel, 2002)

6. Dejar espacios en los encuentros de las tablillas con los perfiles o accesorios para permitir la dilatación del material (Figura 6.4), que varía conforme al clima de cada región de acuerdo con la información del fabricante;

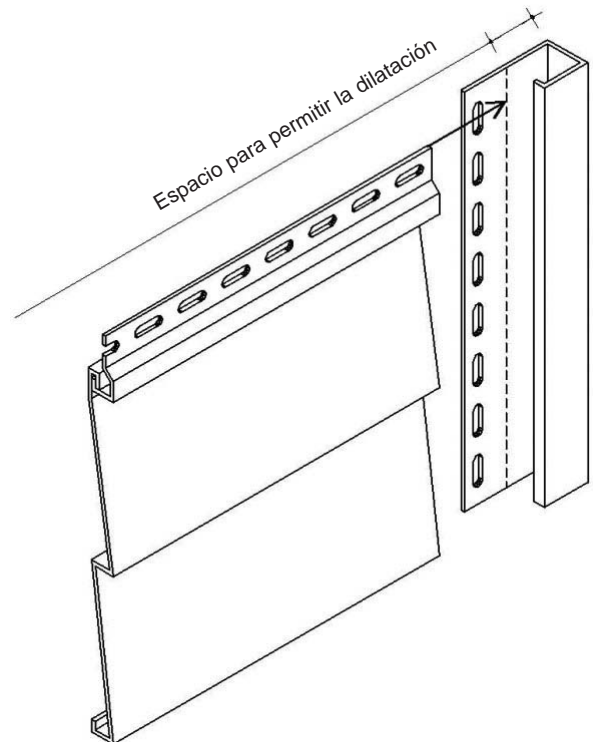


Figura 6.4 - Detalle del espacio libre en el encuentro de las tablillas con los perfiles accesorios (adaptado de ConsulSteel, 2002).

7. El encuentro o junta de las tablillas en una misma hilera se da solapando 25 mm de una tablilla sobre la otra (Figura 6.5);

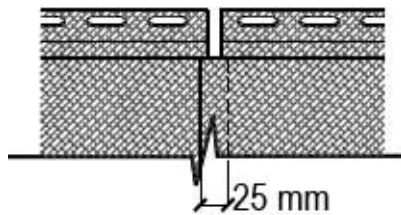


Figura 6.5 - Superposición en la junta de las tablillas, (adaptado de ConsulSteel, 2002)

8. Las juntas de las tablillas de una hilera deben estar desfasadas al menos 50 mm en relación a la hilera siguiente.

Después de la instalación es posible remover o reponer las tablillas situados en los lugares que pueden necesitar algún mantenimiento eléctrico o hidráulico, o la sustitución de piezas dañadas.

6.1.2. Revoques

Básicamente, el método más indicado para revestir el OSB con revoques consiste en aplicarlo sobre tela de tipo “deployée” o malla plástica resistente a la alcalinidad. La malla dispuesta en dos capas y fijada con grampas sobre la superficie de OSB impermeabilizada con la membrana de polietileno, garantiza la adherencia del revoque (Foto 6.7). El revoque cementicio debe ser aplicado uniformemente para lograr un buen revestimiento y no dejar la malla expuesta.

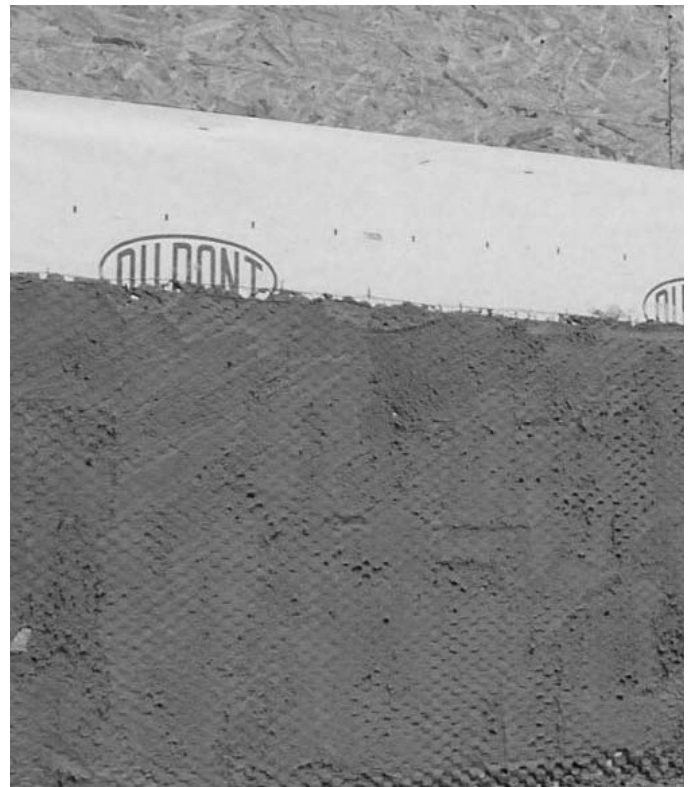


Foto 6.7 - Revestimiento de las placas de OSB con revoque aplicada sobre tela tipo “deployée”. (Fuente: Archivo del autor)

Las juntas de las placas de OSB no requieren tratamiento, puesto que la membrana de polietileno ya garantiza la estanqueidad del panel. Sin embargo es necesario trabajar con juntas los revoques para controlar las grietas (Foto 6.8). Atención especial debe darse a la ejecución del revestimiento, evitando que la fachada en el momento de la aplicación de la argamasa se encuentre expuesta al sol directo o a lluvias fuertes.



Foto 6.8 - Fachada en OSB revestida con revoque y juntas a la vista para controlar la orientación de las grietas. (Fuente: Archivo Célio Firmo)

6.2. Mampostería

La mampostería es un revestimiento independiente de la estructura y funciona vinculado a ella por medio de conectores metálicos. Pero el concepto de edificaciones con mampostería se aparta del sistema SF que propone una obra “seca” con rapidez de ejecución y métodos industrializados que reducen el desperdicio de material y mano de obra. Por eso la mampostería en general terminó limitada a elementos decorativos de ladrillo a la vista en fachadas (Foto 6.9).



Foto 6.9 - Fachada revestida con ladrillos macizos a la vista. (Fuente: Disponible en: <http://www.construtorasequencia.com.br>)

Al igual que en el caso de los otros materiales de cerramiento, es necesario impermeabilizar las paredes con una membrana de polietileno a fin de garantizar la estanqueidad de los paneles. La membrana se atornilla a la estructura, entre ésta y la pared de mampostería.

La pared de mampostería no es soportada por la estructura, sólo se vincula a ella por medio de conectores (Figura 6.6). Por lo tanto los únicos movimientos restringidos entre la fachada y la estructura son los provenientes de deformaciones horizontales provocados por la acción del viento y los sismos. Las cargas ver-

tales, generadas por su propio peso son transferidas directamente a las fundaciones, aliviando la estructura de esa carga (Coelho, 2003).

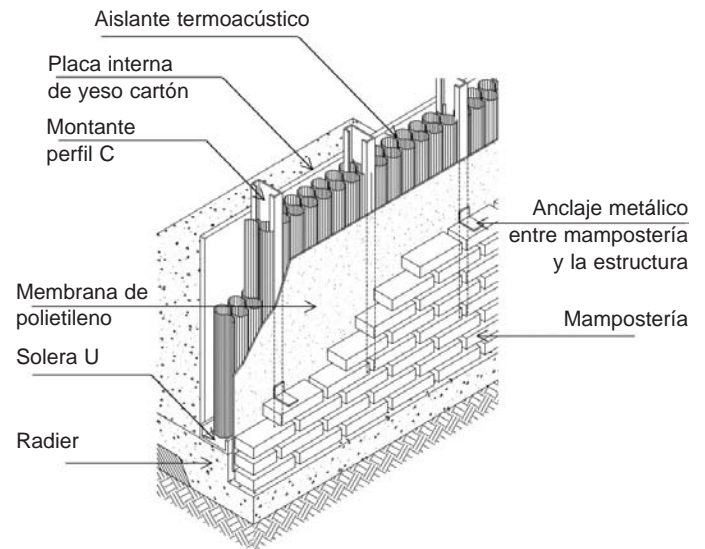


Figura 6.6 - Diseño esquemático de cerramiento de mampostería de paneles en LSF.

6.3. Placas Cementicias

Pueden usarse placas cementicias como cerramiento exterior o interior de los paneles, principalmente en áreas que suelen mojarse, substituyendo el placa de yeso cartón y en áreas expuestas a la intemperie (Foto 6.10). Para su uso en entrepisos requieren un substrato de apoyo, que puede ser de chapas de madera laminada, para proporcionarle a las placas cementicias resistencia a la flexión.



Foto 6.10 - Cerramiento con placas cementicias. (Fuente: Revista Techné n° 79)

Por definición, toda chapa delgada que contiene cemento en su composición se llama cementicia. Las placas están compuestas básicamente por una mezcla de cemento Portland, fibras de celulosa o sintéticas y agregados. Pero las placas disponibles en el mercado presentan algunas diferencias fundamentales. La principal de ellas es que existen dos grupos: aquellas con fibras dispersas en la matriz, y otras con malla de fibra de vidrio en ambas superficies. Los productos del primer tipo fueron desarrollados a partir de matrices de cemento que contenían antiguamente amianto. Debido a las restricciones legales del uso de ese tipo de fibra, se impusieron las chapas de fibras plásticas, de vidrio o celulosa (Loturco, 2003).

Las principales características de la placa cementicia son:

- Elevada resistencia a impactos, lo que posibilita su uso en cerramientos exteriores;
- Gran resistencia a la humedad, pudiendo estar expuesta a la intemperie;
- Es incombustible;

- Puede ser curvada después de saturada con agua, posibilitando curvaturas en el sentido del largo con hasta 3 m de radio;
- Tiene poco peso propio, hasta 18 kg/m² facilitando el transporte y manejo, por lo que no requiere equipos de manipuleo;
- Es compatible con la mayoría de los acabados o revestimientos: pintura acrílica, cerámicas, piedras naturales, tejas, etc.;
- Se corta fácilmente con herramientas para corte de metal duro;
- Rapidez de ejecución: sistema de montaje semejante al de la placa de yeso cartón.

Sus dimensiones varían según el fabricante, aunque las placas utilizadas para sistemas de cerramiento en SF son comercializadas en dimensiones que tienen un ancho fijo de 1,20 m (1,22) y largos que varían entre 2,00 m, 2,40 m y 3,00 m. Los espesores también varían entre 6, 8 y 10 mm según la función y aplicación de la placa (Tabla 6.1).

Tabla 6.1. - Relación entre espesor de la placa cementicia y aplicación.

Espesor de la placa	Aplicación Usual
6 mm	Pueden aplicarse a tabiques livianos y paredes secas interiores, donde no existen aplicaciones de cargas soportadas directamente por la placa.
8 mm	Pueden ser usadas en tabiques livianos y paredes interiores y exteriores, en áreas secas y húmedas, e incluso para aplicaciones de cargas soportadas por la placa.
10 mm	Utilizadas para áreas secas y húmedas, interiores y exteriores. Ideal para paredes estructurales en las que mejoran la resistencia contra impactos, aplicaciones de carga y aislamientos termoacústicos.

Fuente: Brasilit.

Para una óptima utilización de las placas cementicias es esencial estudiar conjuntamente con el fabricante las características y recomendaciones de uso del producto para evitar riesgos de patologías. Entre las patologías más frecuentes están las fisuras en el cuerpo de la chapa, las grietas en juntas y revestimientos, que pueden ser muy visibles.

La especificación del tipo de junta merece un cuidado especial, ya que es importante considerar la variación dimensional de las placas debida a la temperatura y humedad del ambiente y la naturaleza de los acabados que irán a revestirla. La junta básicamente puede presentar dos formas: la junta a la vista y la junta invisible. En el caso de junta a la vista, la aplicación de perfiles o sellantes elastoméricos destacan la junta visualmente y pueden ser la mejor alternativa en el caso de placas que poseen un muy alto coeficiente de variación dimensional. Para este tipo de junta los bordes de la placa deben ser planos.

Las juntas invisibles deben ser tratadas de acuerdo a las especificaciones del fabricante de las placas y de los productos de las juntas, pero siempre se recomienda un refuerzo sobre la junta de malla de fibra de vidrio resistente a la alcalinidad. Los bordes de las placas deben ser rebajados para garantizar la nivelación del tratamiento de la junta.

Las juntas deben presentar un mínimo de 3 mm entre las placas, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, e incluir todo su perímetro, es decir, los cuatros lados de la placa, y también entre ellas y las esquinas. También se recomiendan las juntas de dilatación, siempre que haya juntas de placas cementicias con otro material diferente.

El montaje de las placas es similar al de la placa de yeso cartón, con la única diferencia del material de corte, acabado de juntas y los tornillos galvanizados autoperforantes que deben

ser específicamente para placas cementicias.

Se recomienda que las paredes exteriores sean revestidas en su cara expuesta con una mano de sellador a base de acrílico. En lugares húmedos (baños, cocinas, áreas de servicio, etc.) deberá preverse un sistema de impermeabilización en las juntas de la pared con el entrepiso, para evitar la infiltración de agua al interior del panel. También las paredes de las áreas de duchas, fregaderos de cocina y tanques deben ser impermeabilizadas. La colocación de piezas cerámicas puede ser realizada con argamasa flexible.

6.4. Yeso Cartón

En el sistema SF, las placas o chapas de yeso cartón constituyen el cerramiento vertical de la cara interior de los paneles estructurales y no estructurales exteriores de la edificación, y también el cerramiento de los tabiques y paredes interiores.

Como ya se mencionó en el Capítulo 3, los paneles interiores, cuando no son estructurales pueden construirse empleando el sistema "Drywall", que también está compuesto por perfiles U y C de acero galvanizado, aunque de menores dimensiones, puesto que sólo soportan el peso de los cerramientos, revestimientos y piezas suspendidas fijadas en su estructura, tales como armarios, alacenas, cuadros, etc.

Para el cerramiento de los paneles estructurales y no estructurales del sistema SF se aplica la misma técnica que la del montaje y fijación de las placas de yeso cartón en los perfiles galvanizados del sistema "Drywall". También el montaje y la fijación de las placas cementicias, tanto en los paneles del sistema SF como en el "Drywall" siguen los mismos principios con excepción del tratamiento de las juntas y tipos de tornillos ya descritos en 6.3.

6.4.1. Características de las Placas de Yeso Cartón

La placa de yeso cartón es un tipo de cerramiento vertical para revestir paredes y tabiques de separación de espacios interiores en edificaciones; es liviana, estructurada, generalmente monolítica, de montaje por acople mecánico y constituida generalmente por una estructura de perfiles metálicos y cerramiento de placas de yeso cartón (Sabbatini, 1998 Apud Holanda, 2003).

Son livianas ya que no tienen una función estructural y su densidad superficial varía entre $6,5 \text{ kg/m}^2$ y 14 kg/m^2 , según su espesor (Abragesso, 2004).

Las placas de yeso cartón son fabricadas industrialmente y compuestas de una mezcla de yeso, agua y aditivos, revestidas en ambos lados con láminas de cartón, que le confiere a estas placas resistencia a la tracción y flexión.

Este sistema permite derivaciones y composiciones de acuerdo con las necesidades de resistencia a la humedad y al fuego, aislamiento acústico o fijación en grandes vanos (Krüger, 2000).

Las dimensiones nominales y tolerancias están especificadas por normas, y en general, las placas o chapas son comercializadas en un ancho de 1,20 m (1,22 m) y largos que varían entre 1,80 m y 3,60 m según el fabricante con espesores de 9,5 mm, 12,5 mm y 15 mm. Las medidas pueden variar según cada país.

En general están disponibles los siguientes tipos de placa:

- Las placas standard (ST) para ser aplicadas a paredes de áreas secas;
- La placa Resistente a la Humedad (RH), tam-

bién conocida como placa verde, para paredes destinadas a ambientes sujetos a la acción de la humedad, por tiempo limitado en forma intermitente;

- La Placa Resistente al Fuego (RF), conocida como placa rosa, es aplicada en áreas secas, en paredes con exigencias especiales de resistencia al fuego.

6.4.2. Perfiles de Acero para Sistemas "Drywall"

Los perfiles del sistema "drywall" de acero galvanizado y fabricados por el mismo proceso de conformación de los perfiles para el sistema SF, pero el espesor es menor, ya que los perfiles no tienen una función estructural en la edificación.

Como en el caso de los paneles en Steel Framing, los tabiques en "Drywall" están compuestos de soleras superiores e inferiores (perfiles U) y montantes verticales (perfiles C) a fin de proveer una estructura para la fijación de las placas de revestimiento.

El espaciamiento entre los montantes o modulación, como en los paneles del sistema SF, puede ser de 400 o 600 mm (406 ó 610 mm) según las solicitaciones ejercidas por las placas de cerramiento, revestimientos y piezas suspendidas fijadas al panel. La modulación funciona como herramienta de racionalización del sistema de cerramiento optimizando el uso de las placas, aumentando el nivel de industrialización de la construcción, dado que aminora los deshechos de cortes y adaptaciones y aumenta la velocidad de ejecución.

6.4.3. Aspectos de Proyecto y Ejecución

Para una eficiente implementación de los sistemas de cerramiento racionalizados es necesario que su proyecto se realice conjuntamente con el proyecto estructural y de las instalaciones comiencen en la etapa de antepro-

yecto, sean desarrollados simultáneamente y se coordinen y compatibilicen a fin de se evitar interferencias e inconsistencias que comprometan a la calidad del proceso constructivo y el producto final que es la edificación.

Por lo tanto, antes de iniciar el montaje del sistema de cerramiento interior es importante verificar la compatibilidad de los proyectos entre sí. También deben verificarse las siguientes condiciones:

- Todo el cerramiento vertical externo ya debe estar instalado e impermeabilizado y los entrepisos y techos tienen que haber sido terminados;
- Las actividades que utilizan agua deben haber finalizado;
- Los períodos de curado deben estar cumplidos, como es el caso de losas húmedas y las fundaciones tipo Platea de hormigón;
- Los entrepisos y fundaciones deben estar niveladas y preferentemente acabadas;
- Los ambientes deben estar protegidos de la entrada de lluvia y humedad excesiva;
- Las salidas de las instalaciones hidráulicas y eléctricas deben estar debidamente posicionadas, y las cañerías ya terminadas a fin de evitar grandes cortes en los perfiles metálicos;
- Para la fijación de los perfiles de “drywall”, debe verificarse si el elemento de fijación es compatible con la base de apoyo.

6.4.4. Montaje del Sistema “Drywall”

Los componentes básicos para el montaje sistema “Drywall” son:

- Componentes para el cerramiento del tabique (placas de yeso, cementicias);

- Perfiles U y C galvanizados para estructurar el tabique (montantes y soleras);
- Tornillos para la fijación de los perfiles galvanizados y de las placas a la estructura;
- Materiales para el tratamiento de las juntas (masillas y burletes);
- Materiales para el aislamiento termo-acústico (lana de vidrio o lana mineral).

El montaje del sistema sigue una secuencia típica, como lo muestra la Figura 6.7:

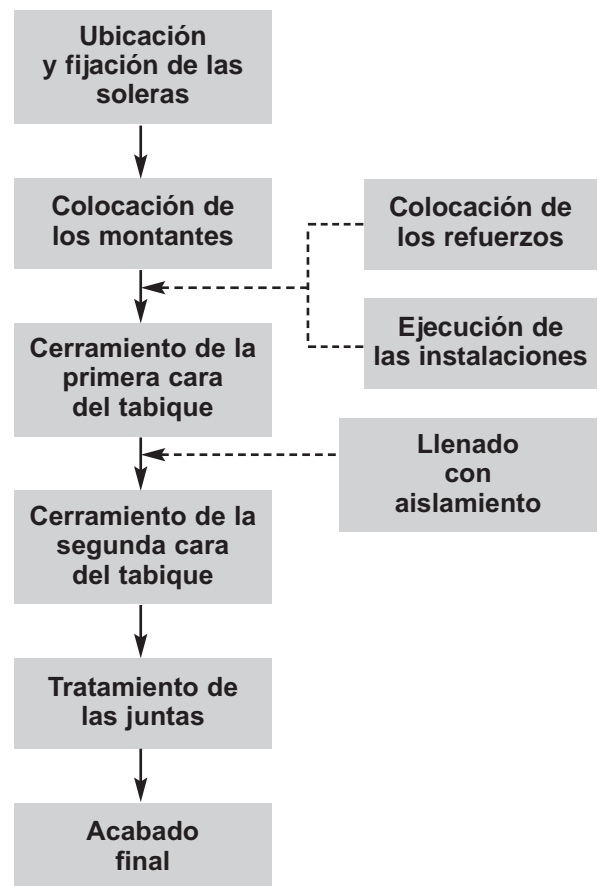


Figura 6.7 - Secuencia de montaje del sistema “Drywall” (Fuente: adaptado de Taniguti, 1999)

6.5. Aislamiento Termoacústico

El desempeño termoacústico de una edificación lo determina su capacidad de proporcionar adecuadas condiciones de calidad ambiental para el desarrollo de las actividades para las que fue proyectada. Este desempeño depende de una serie de factores, entre los cuales cabe citar la localización y el posicionamiento del edificio y sus dependencias, los tipos de tabiques y coberturas, sus revestimientos y colores, tipos de escuadras, tamaño y posicionamiento de aberturas, etc.

El aislamiento termoacústico es una forma de controlar la calidad del confort dentro de un ambiente de modo que las condiciones externas no influyan en las internas, impidiendo la transmisión de sonido y evitando las pérdidas o ganancias de calor al medio externo o contiguo.

Las separaciones verticales desempeñan un papel fundamental en el aislamiento termoacústico, porque constituyen las barreras físicas entre los ambientes y el exterior.

Tradicionalmente, los principios de aislamiento consideraban que los materiales de gran masa o densidad eran los aislantes mejores. Pero es un error pensar que estructuras y tabiquería más liviana y, por consiguiente, de menor masa puedan ofrecer condiciones no satisfactorias de aislamiento de los ambientes.

El concepto de la ley de masa no es aplicable a las construcciones con SF. Los principios de aislamiento termoacústico en SF están basados en los conceptos más actuales de aislamiento multicapa, que consiste en combinar placas livianas de cerramiento separadas entre sí, formando un espacio llenado con material aislante (lana mineral). Es posible optar entre diversas combinaciones para aumentar el desempeño del sistema, a través de la colocación de más

capas de placas o aumentando el espesor de la lana mineral. (Foto 6.11)



Foto 6.11 - Instalación de lana de vidrio en un panel

6.5.1. Aislamiento Acústico

El sonido es causado por una variación de la presión existente en la atmósfera que es capaz de ser detectado por el oído. El sonido para ser transmitido necesita un medio elástico en que vibran las partículas. El medio más común es el aire; sin embargo, también puede ser transmitido a través de los materiales de una edificación. Al generarse el sonido aéreo vibran las partículas del aire, y al encontrar las superficies rígidas de los componentes de una edificación inducen oscilaciones en estos materiales que las transmite al aire del ambiente interior (Elhajj, 2002). Según el mismo autor, hay tres tipos de transmisión de sonidos en una edificación:

- Transmisión del sonido aéreo: que ocurre cuando un sonido externo incide en el ambiente a través de sus aberturas o su tabiquería;
- Transmisión de sonido de impacto: este tiende a ser más relevante para los entresijos,

cuando se escucha, por ejemplo, personas moviéndose dentro de los edificios. Otras fuentes pueden ser golpes de puerta, caídas de objetos, etc.;

- Transmisión de sonido proveniente de la estructura: ruidos producidos por las vibraciones de equipos o instalaciones hidráulicas que son transmitidos por elementos de la edificación, tales como paredes, entresijos y estructuras, por el contacto directo con estas fuentes.

Cuando el sonido incide en una determinada superficie, una pared por ejemplo, una parte de él se refleja y es absorbida por el material, mientras que otra parte es transmitida a través del mismo. Una parte de la energía sonora absorbida por la pared será disipada en calor y el resto va a propagarse a través de ella.

El efecto total será que la pared como un todo entrará en vibración por la presión de las

ondas sonoras incidentes. La pared que está vibrando va irradiando energía acústica al ambiente adyacente.

La cantidad de radiación sonora surgida de la pared y, por lo tanto, la capacidad de aislamiento de esta pared dependerán de la frecuencia del sonido, del sistema constructivo y del tipo de material que lo componen (Sales, 2001). Se da aislamiento acústico cuando se minimiza la transmisión de sonido de un ambiente a otro o del exterior al interior del ambiente y viceversa. Para Sales (2001) la característica de aislamiento sonoro de una pared normalmente es expresada en términos de Pérdida de Transmisión (PT). Más aún, según la autora, cuanto mayores son los valores de la pérdida de transmisión, más baja será la transmisión de la energía acústica, y viceversa. Según Gómez (1998) en Sales (2001), el aislamiento acústico de paredes puede ser clasificado de acuerdo a los valores de las respectivas pérdidas de transmisión, conforme a la siguiente Tabla:

Tabla 6.2- Calificación del Aislamiento Acústico. Fuente: Gerges (1992) apud Sales (2001)

Cuantificación del aislamiento	Pérdida de transmisión (PT)	Condiciones de audición
Pobre	<30 dB	Se escucha fácilmente una conversación normal a través de la pared.
Regular	30 a 35 dB	Se oye la conversación en voz alta, pero no se entiende bien la conversación normal.
Bueno	35 a 40 dB	Se oye la conversación en voz alta, aunque no es fácilmente inteligible.
Muy bueno	40 a 45 dB	La palabra normal es inaudible y en voz alta es muy atenuada y no inteligible.
Excelente	>45dB	Se oye muy débilmente los sonidos muy altos.

dB= decibeles

El desempeño acústico de un material también puede ser estimado mediante la Clase de Transmisión de Sonido Aéreo (CTSA) que indica de una manera global la capacidad del material de reducir el nivel sonoro en decibeles (dB) entre dos ambientes. Este valor es obtenido a nivel de laboratorio para evaluar el componente constructivo pero no considera el aislamiento del ambiente. Según Krüger (2000) puede efectuarse una evaluación acústica del conjunto de elementos constructivos considerando los valores obtenidos solamente para la pared, puesto que los demás elementos tienen una CTSA mayor o igual que ella. La Tabla.6.3 ofrece la CTSA de algunos componentes usados en la construcción convencional y en LSF. El CTSA actualmente está siendo substituido por el R_w (índice de Reducción Acústica) basado en la norma internacional ISO 717:1996 (Sales, 2001).

Tabla 6.3 - Clase de Transmisión de Sonido Aéreo de elementos constructivos.
Fuente: adaptado de Kinsler et al., 1982.

Componente de la Construcción	CTSA
Pared de ladrillo de 25 cm	52
Placa de vidrio de 6 mm	26
Bloque de concreto celular autoclavado	45
Panel de yeso cartón con montantes 90x40 a cada 400 mm con placas de yeso de 12,5 mm a ambos lados sin aislamiento con lana mineral	33
Panel de yeso cartón con montantes 90x40 a cada 400 mm con placas de yeso de 15 mm a ambos lados sin aislamiento con lana mineral	34
Panel de yeso cartón con montantes 90x40 a cada 400 mm con placas de yeso de 12,5 mm a ambos lados con aislamiento de lana mineral de 50 mm de espesor	36
Panel de yeso cartón con montantes 90x40 a cada 400 mm con placas de yeso de 15 mm a ambos lados con aislamiento de lana mineral de 50 mm de espesor	38
Panel de yeso cartón con montantes 90x40 a cada 600 mm con placas de yeso de 15 mm a ambos lados con aislamiento de lana mineral de 75 mm de espesor	45-49
Panel de yeso cartón con montantes 90x40 a cada 600 mm con 2 placas de yeso de 15 mm a ambos lados con aislamiento de lana mineral de 75mm de espesor	50-54

Es posible especificar según normas existentes las condiciones aceptables de ruido ambiental en determinados recintos de una edificación de acuerdo con la finalidad de utilización del mismo. Entre los diversos ambientes establecidos cabe citar los siguientes¹:

- Cuartos en departamentos residenciales y en hoteles (sin ocupación): 30-40 dB(La);
- Cuartos en hospitales: 35-45 dB(La)
- Salas de estar en residencias (sin ocupación): 35-45 dB(La);
- Salas de aula: (sin ocupación): 35-45 dB(La);
- Oficinas: 45-55 dB(La).

El aislamiento de paneles en LSF sigue el principio masa-resorte -masa, en que en lugar de una pared de masa m , se usan capas separadas de masa, en que el espacio entre ellas es llenado con un elemento absorbente, cuyo objetivo es reducir la transmisión de sonido entre las capas de masa.

Los materiales de alta absorción acústica generalmente son porosos y/o fibrosos, donde parte de la energía sonora que los atraviesa es transformada en energía térmica que es disipada del material absorbente por convección, haciendo que la energía sonora pierda intensidad. La lana de vidrio por ser un material fibroso, ofrece una gran capacidad de aislamiento sonora. La siguiente Tabla 6.4 muestra el índice de R_w (Reducción Acústica) de la lana de vidrio en filtros y paneles combinados con placas de yeso cartón según los fabricantes.

1: Valores según norma NBR 10152:1987

Tabla 6.4 - Índice de Reducción Acústica (R_w) de la lana de vidrio.

	Pared Simple	Pared Doble	Pared Simple	Pared Doble	Pared Simple	Pared Doble
Espesor de la lana de vidrio (mm)	50	50	75	75	100	100
R_w (dB)	43	50	47	55	52	58

Fuente: Isover - Saint Gobain, 2005.

6.5.2. Aislamiento Térmico

El objetivo principal del aislamiento térmico en un edificio es controlar las pérdidas de calor en el invierno y las ganancias de calor en el verano. Este es el caso principalmente en países de clima frío, donde es de extrema importancia economizar la energía gastada en calefacción para mantener el confort térmico de los usuarios. Para Krüger (2000), los métodos tradicionales de evaluación del desempeño térmico de las edificaciones adoptan como indicador la resistencia térmica o la conductividad térmica de los elementos de la edificación.

Para países de clima predominantemente caluroso como muchos de los países latinoamericanos, según el trabajo desarrollado por Pinto (2000), no es suficiente adoptar un procedimiento basado en la resistencia térmica de los elementos de tabiquería para caracterizar el comportamiento térmico de la edificación, sino que es necesario evaluar simultáneamente todos los intercambios de calor dinámicos que ocurren en los ambientes, al igual que las posibles pérdidas de energía por ventilación o por conducción/convección a través de los elementos de la edificación.

Por lo tanto, la solución más adecuada será un equilibrio entre pérdidas y ganancias de calor, que varían según el tipo de edificación, las condiciones de ocupación, las características del clima local y los materiales empleados en la construcción. En lo que respecta a los

materiales es importante observar propiedades tales como: la capacidad térmica específica, la densidad de masa, la conductividad térmica, transmitancia, reflectancia y absorbancia a la radiación solar, emisividad y forma, además de las dimensiones y orientaciones de los mismos (Krüger, 2000).

En edificaciones en SF, otro aspecto importante a ser considerado es la capacidad del sistema de tabiquería vertical de producir puentes térmicos, a través del contacto de los perfiles de acero, que son altamente conductores, con los cerramientos interiores y exteriores, que generan un vínculo o puente entre sí.

Por lo tanto, en lugares de clima frío es habitual -además del aislamiento dentro del panel con lana mineral-, aumentar su eficiencia mediante materiales aislantes en la parte exterior de los paneles, tales como el poliestireno expandido que se usa para el EIFS (Sistema de aislamiento exterior y acabado final), lo que se comentó al comienzo de este capítulo, con el objetivo de impedir la formación de puentes térmicos.

El desempeño térmico de las tabiquerías también puede ser influenciado por un tratamiento de las juntas de los materiales de cerramiento. A fin de evitar infiltraciones de agua y viento debe efectuarse un correcto cerramiento de las juntas, de preferencia con materiales flexibles a fin de garantizar la estanqueidad del sistema, permitiendo sus deformaciones o movimientos en cualquier condición de temperatura.

En el caso de Brasil por ejemplo no se han hecho estudios sobre el comportamiento y desempeño térmico de edificaciones construidas en SF, por lo que aún no es posible evaluar cuales condiciones de cerramiento son mejores para determinados climas. Por consiguiente, sólo se abordará la capacidad de aislamiento térmico de la lana de vidrio, que es un componente ampliamente utilizado en el tratamiento térmico y acústico de edificaciones en SF en todo el mundo.

La performance de un aislante térmico es evaluada de acuerdo con la Resistencia Térmica, que es la capacidad del material de dificultar el paso del calor. La Resistencia Térmica es obtenida a partir de una ecuación que considera la conductividad térmica del material y su espesor como sigue:

$$R = \frac{\Delta x}{\kappa A} \quad (6.1)$$

En que Δx representa el espesor de la pared; κ la conductividad térmica del material de la pared y A , el área de intercambio de calor.

Para una pared compuesta, tipo panel sándwich, la Resistencia Térmica se calcula mediante la suma de las resistencias individuales, o sea:

$$R_q = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta x}{\kappa_i A} \quad (6.2)$$

En que n es el número de elementos planos que componen el panel.

Krüger (2000) en su trabajo evalúa la capacidad de aislamiento térmico de varios paneles utilizados en la separación de estructuras de acero. Entre los paneles analizados, los de yeso cartón presentaron el mejor aislamien-

to térmico, gracias a la presencia de lana de vidrio entre las placas que aumenta la resistencia térmica de acuerdo con la ecuación 6.2.

De acuerdo con los fabricantes de lana de vidrio, los valores de Resistencia Térmica y Conductividad Térmica del material son los siguientes (Tabla 6.5)

Tabla 6.5 - Resistencia Térmica y Conductividad Térmica de la lana de vidrio.
Fuente: Isover - Saint Gobain, 2005.

Espesor de la lana de vidrio	Conductividad Térmica (W/m °C)	Resistencia Térmica (m ² °C/W)
50 mm	0,042	1,19
75 mm	0,042	1,78
100 mm	0,042	2,38

Capítulo 7

Uniones y Montaje

7.1. Uniones

Existe una amplia variedad de conexiones y uniones para estructuras de acero y sus componentes, pero no todas se utilizan. A pesar de la importancia que tienen las uniones, en muchos casos no se les presta la necesaria atención a este tema, que puede comprometer el desempeño de la estructura y encarecer los costos de la obra.

Segundo Elhajj (2004), la selección de un tipo específico de unión o fijación depende de los siguientes factores:

- Condiciones de carga;
- Tipo y espesor de los materiales conectados;
- Resistencia que requiere la conexión;
- Configuración del material;
- Disponibilidad de herramientas y fijaciones;
- Ubicación de montaje, en la obra misma o en una fábrica o taller;
- Costo;
- Experiencia de mano de obra;
- Normalización.

7.1.1. Tornillos

Los tornillos autoperforantes son los tipos de conexión más utilizados en construcciones con Steel Framing por lo que se abordará este tipo y sus aplicaciones en este capítulo. Existe una serie de tipos de tornillos para cada unión específica (metal/metal, chapa/metal), lo que facilita la ejecución tanto en el sitio de la obra como en la prefabricación de los componentes. Otro aspecto importante es que la industria siempre está desarrollando nuevos procesos orientados a aumentar la durabilidad y el des-

empeño de los tornillos, por lo que son elementos sumamente confiables del sistema. Los tornillos utilizados en SF son de acero al carbono sometidos a tratamiento de cementación y templeado, y recubiertos por electrocincado para reducir la corrosión y mantener características similares a la de la estructura galvanizada.

Los tornillos están disponibles en una serie de tamaños que van del n° 6 al n° 14, pero los más usados son los que van del n° 6 al n° 10. Los largos varían entre 1/2 a 3 pulgadas según la aplicación, de forma que el tornillo al fijar los componentes de acero entre sí sobrepase el último elemento en un mínimo de tres pasos de rosca.

Cuando se trata de una fijación entre elementos tales como placas de cerramiento y perfiles de acero, el tornillo debe fijar todas capas y sobrepasar el perfil de acero en por lo menos 10 mm.

El largo nominal del tornillo y su diámetro están directamente relacionados con el espesor total del acero que el tornillo puede perforar.

El diámetro del tornillo es la distancia externa de los hilos de rosca. Cuanto mayor el diámetro del tornillo, mayor es su resistencia al corte.

El largo nominal del tornillo es la distancia entre la superficie de contacto de la cabeza del tornillo y su punta, expresada habitualmente en pulgadas.

El paso es la separación de los hilos de rosca, y cuanto mayor el espesor del acero a perforar, menor es el paso del tornillo.

Los tornillos autoperforantes presentan dos tipos de punta: punta mecha (Figura 7.1) y punta aguja (Figura 7.2). El espesor de la chapa de acero a ser perforada es el que define el tipo de punta a ser utilizada.

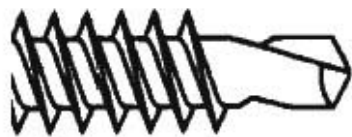


Figura 7.1 - Punta mecha



Figura 7.2 - Punta aguja

Los tornillos con punta aguja perforan chapas de acero de un espesor máximo de 0,84 mm (Elhajj, 2004); su uso se recomienda en perfiles de acero no estructurales como los usados en “drywall”.

Los tornillos con punta mecha son utilizados en chapas de acero con un espesor mínimo de 0,84 mm (Elhajj, 2004). Se usan mucho en la conexión de varias capas de materiales y son los más recomendados para uniones de perfiles estructurales.

La cabeza del tornillo define el tipo de material a ser fijado. Los tornillos con cabeza tipo lenteja, hexagonal y tanque se usan para la fijación de perfiles de acero entre si (unión metal/metal). Los tornillos con cabeza de tipo trompeta sirven para la fijación de placas de cerramiento en los perfiles de acero (unión chapa/metal) (Figura 7.3).

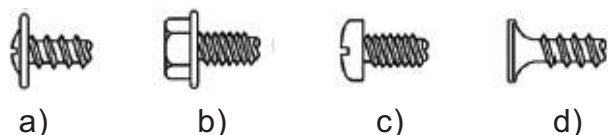


Figura 7.3 - Tipos de cabeza de tornillos más utilizados en uniones con LSF. a) cabezas lenteja; b) hexagonal; c) tanque y d) trompeta.

Las ranuras normalmente son del tipo Phillips n° 2, excepto en tornillos hexagonales que no tienen ranura. Otras características pue-

den ser alas en el cuerpo del tornillo para la fijación de placas de cerramiento tales como OSB y cementicias, y ranuras en la cabeza tipo trompeta.

7.1.2. Aplicaciones

Los tipos de tornillos y sus aplicaciones en construcciones con el sistema SF son los siguientes:

- Tornillo cabeza lenteja y punta mecha (Figura 7.4): Habitualmente se utilizan en uniones tipo metal/metal, o sea, entre perfiles y en cintas de acero galvanizado. Su cabeza ancha y baja permite fijar firmemente las chapas de acero sin que se rasguen y sin causar abombamientos en las placas de cerramiento. Se usa principalmente para la unión de montantes y soleras.



Figura 7.4 - Tornillo cabeza lenteja y punta mecha. (Fuente: Ciser Parafusos e Porcas)

- Tornillo cabeza hexagonal y punta mecha (Figura 7.5): También conocido como tornillo estructural es utilizado en la unión entre paneles, de perfiles en cabriadas, la rigidización de alma en vigas de entrepiso y en las piezas de apoyo de las cabriadas. El perfil de su cabeza impide que sea utilizado donde posteriormente se coloca una placa.

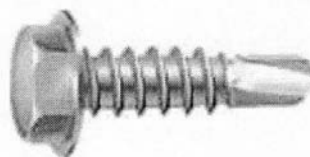


Figura 7.5 -Tornillo cabeza hexagonal y punta mecha. (Fuente: Ciser Parafusos e Porcas)

- Tornillo cabeza trompeta y punta mecha (Figura 7.6): Este tornillo es utilizado para la fijación de placas de yeso y OSB. Su cabeza permite la total penetración en el substrato, haciendo que la cabeza quede a ras de la superficie. Se encuentra disponible en diversos largos según la cantidad de capas de chapas que se fijarán.



Figura 7.6 -Tornillo cabeza trompeta y punta mecha, (Fuente: Ciser Parafusos e Porcas)

- Tornillo cabeza trompeta y punta mecha con alas (Figura 7.7): Usado en la fijación de placas cementicias. La cabeza tipo trompeta permite la total penetración en el substrato. Las alas que se encuentran entre la punta y la rosca, proporcionan una perforación de mayor diámetro en la placa, no permitiendo que los filamentos del material que lo componen obstruyan la perforación. Estas alas se desprenden cuando hacen contacto con el perfil de acero en que se fija la placa.

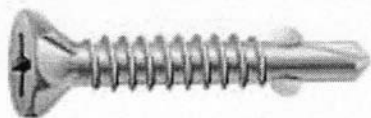


Figura 7.7 - Tornillo cabeza trompeta y punta mecha con alas. (Fuente: Ciser Parafusos e Porcas)

- Tornillo cabeza trompeta y punta mecha con alas para placas de OSB de 25 mm: Este es un tornillo también con alas, pero sin las nervaduras en la cabeza y con un paso menor, utilizado básicamente para fijar las placas estructurales de OSB de 25 mm de espesor en las vigas de entepiso que tienen por lo menos un espesor de chapas de acero a perforar de 1,6 mm. Normalmente el diámetro del tornillo es n° 12 o 14, con un largo

nominal de mínimo 1 3/4 pulgadas. La punta utilizada en el atornillador es Phillips # 3 en vez del # 2.

El atornillador eléctrico es una de las herramientas más utilizadas en construcciones con SF, ya que ejecuta las fijaciones por medio de tornillos en las uniones entre diversos componentes del sistema (Foto 7.1). El tipo de la cabeza del tornillo y las ranuras del mismo determinan cual tipo de boquilla debe usarse en el atornillador para ejecutar la fijación. En las construcciones en SF se usan básicamente puntas de # 2 y # 3 para los tornillos con ranura Phillips y punta hexagonal para cabezas hexagonales.

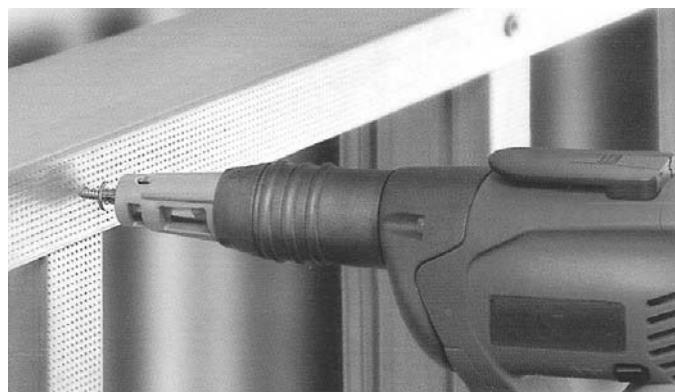


Foto 7.1 - Atornillador. (Fuente: Construtora Sequência)

7.2. Montaje

Los métodos de construcción y montaje de edificaciones en SF varían en función del proyectista y de la empresa constructora. Cuanto mayor el nivel de industrialización propuesto por el proyecto, tanto mayor es la racionalización del proceso de construcción, pudiendo llegar a un alto grado de industrialización de la construcción civil, en que las actividades en el sitio de la obra se reducen al montaje de la edificación mediante el posicionamiento de las unidades y su interconexión (Foto 7.2).



Foto 7.2- Unidades modulares siendo colocadas en la construcción (Fuente: disponible en: http://www.corusconstruction.com/page_9088.htm)

Como ya se mencionó en el capítulo 2, los métodos utilizados en el proceso constructivo de edificaciones en SF son: El método “Stick” de Paneles y el modular. Este último por ser un proceso altamente industrializado y que puede ser aplicado en varios sistemas constructivos a través del uso de unidades modulares, incluye técnicas que varían de acuerdo con el tipo de utilización y metodología adoptada por la empresa fabricante y montadora.

El método “Armado en obra”, que habitualmente se aplicaba en los Estados Unidos para la construcción de viviendas unifamiliares, ha sido reemplazado en ese país por el método prefabricado de Paneles, debido a sus grandes ventajas, como son el nivel de calidad y precisión de los componentes de la estructura y la rapidez de construcción.

En el caso de Brasil, el método de construcción por paneles es el más ampliamente utilizado, puesto que se adapta mejor a la cultura de las empresas constructoras y la mano de obra disponible. Por lo tanto, se abordarán en este capítulo las técnicas y la secuencia de montaje del Sistema de Paneles.

7.2.1. Sistema de Paneles

El Sistema de Paneles consiste en la prefabricación de los componentes de la estructura, es decir, los tabiques, cabriadas y hasta entresijos se fabrican en talleres o en el mismo sitio de la obra. La confección de los componentes tiene lugar en mesas especiales de trabajo de acuerdo con los proyectos estructurales o para producción, y cuanto mayor es la organización de las actividades, tanto mejor es la calidad y precisión de los componentes. Los talleres ofrecen el ambiente, los equipos y una organización mucho más apropiada para estas actividades, aunque también es posible establecer un lugar para fabricar componentes en la misma obra, pero todo esto va a depender de la disponibilidad de espacio y mano de obra especializada.

De modo general, los perfiles llegan al lugar de montaje y son cortados (Foto 7.3) de acuerdo al proyecto estructural o la prefabricación. Las mesas de trabajo (Foto 7.4) tienen unas dimensiones mínimas de ancho de 2,8 a 3 m y largo de 5 a 6 m para montar paneles, losas, vigas dintel y demás componentes. En una de las extremidades de la mesa se fijan dos perfiles de acero perpendiculares entre sí para mantener el escuadrado del panel. En el panel después de armado se fija un perfil C en la línea diagonal del panel para evitar que se deforme y pierda la escuadra.



Foto 7.3 - Corte de los perfiles con sierra circular. (Fuente: Archivo del autor)

Para el montaje de las cabriadas muchas veces es necesario agrandar la mesa de trabajo para adecuarla al largo de las mismas.



Foto 7.4 - Mesa de trabajo para el montaje de los componentes estructurales. (Fuente: Archivo del autor)

7.2.2. Montaje de la Estructura de Paneles de la Planta Baja

Después de terminada la fundación, debe verificarse si se encuentra perfectamente nivelada, limpia y escuadrada. Antes de colocar el panel, se aplica en el alma de la solera inferior una cinta aislante, que puede ser de neoprene (Foto 7.5).



Foto 7.5 - Aplicación de la cinta sellante en la base del panel. (Fuente: Archivo del autor)

El montaje se inicia con la colocación del primer panel exterior en una esquina. Al posicionar el panel en el lugar debido, debe realizarse un apuntalamiento provisorio con recor-

tes de perfiles U y C (Foto 7.6) a fin de ajustar escuadra y nivel.



Foto 7.6 - Apuntalamiento del panel durante el montaje. (Fuente: Archivo del autor)

Una vez colocado el panel, se efectúa el anclaje provisorio, verificando que su posición no coincida con los anclajes definitivos (Foto 7.7).



Foto 7.7 - Anclaje provisorio con pernos de acero. (Fuente: Archivo del autor)

Luego se coloca el segundo panel exterior en dirección perpendicular al primero, formando la primera “esquina” de la construcción (Foto 7.8). Se verifican nivel y escuadra y entonces se fija el apuntalamiento (Foto 7.9) y posteriormente un anclaje provisorio.



Foto 7.8 - Montaje de los paneles. (Fuente: Archivo del autor)



Foto 7.9 - Verificación del nivel del panel y fijación del anclaje. (Fuente: Archivo del autor)

El montaje continúa con la colocación de los paneles perimetrales (Foto 7.10) y de algunos paneles internos que le confieren rigidez al conjunto y sirven para mantener la escuadra y el nivel de los paneles exteriores.

La localización de los paneles interiores puede ser marcada en el contrapiso con alam-

bre trazador, o en líneas de tiza (Foto 7.11).



Foto 7.10 - Montaje de los paneles exteriores (Fuente: Disponible en: <http://www.consulsteel.com/cas/default.asp>)



Foto 7.11 - Marcación de la localización de los paneles interiores. (Fuente: Archivo del autor)

Es importante verificar las escuadras de los ambientes por medio de la medición de las diagonales de los mismos, y una vez hecho, fijar los perfiles C provisoriamente sobre las soleras superiores de los paneles (Figura 7.8), asegurando la escuadra para entonces ejecutar el anclaje provisorio.

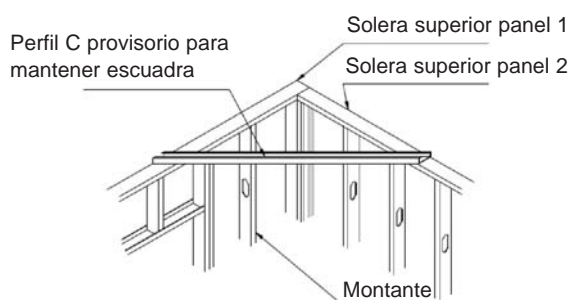


Figura 7.8- Fijación de perfil C para mantener la escuadra de los paneles (Adaptado de ConsulSteel, 2002)

La fijación entre paneles debe realizarse con tornillos estructurales autoperforantes en las almas de los perfiles de encuentro (Foto 7.12), cada 20 cm, formando una “costura”, a lo largo del alma.



Foto 7.12 - Fijación de dos paneles con tornillos estructurales. (Fuente: Archivo del autor)

Después del montaje de todos los paneles del piso, se procede al anclaje definitivo. Sólo entonces comienza la colocación de las placas de cerramiento exterior, que deben ser instaladas partiendo de un extremo de la edificación considerando la modulación y los criterios presentados en los capítulos anteriores. Primero se colocan los paneles de la primera línea (Foto 7.13) y después la segunda línea y así sucesivamente desde abajo hacia arriba.



Foto 7.13- Colocación del cerramiento exterior de paneles. (Fuente: Archivo del autor)

Cuando se utilizan placas de OSB que actúan como diafragma de rigidización, es importante garantizar que la línea de placas sea colocada en forma de permitir que su fijación tenga lugar tanto en los paneles del piso inferior como en el superior con lo que aumenta la rigidez del sistema. Las juntas de las placas de una línea deben estar desfasadas en relación a la otra (Foto 7.14).



Foto 7.14 - Las juntas de placas deben estar desfasadas. (Fuente: Archivo del autor)

7.2.3. Montaje de la Estructura del Entrepiso

La estructura del entrepiso puede montarse en dos formas:

- 1- Montando paneles menores de entrepiso en la mesa de trabajo o sobre el piso de la planta baja, para posteriormente posicionarlas

sobre los apoyos de paneles portantes o vigas principales.

2- Posicionando las vigas de entrepiso ya cortadas al ancho del vano, una a una en la losa después de instaladas las cenefas, a las que serán encastradas (Foto 7.15). Después de la colocación y verificación de la escuadra se fijan los rigidizadores de alma que irán a conectar las vigas de entrepiso a la cenefa y evitar la deformación del alma de las vigas en los apoyos.



Foto 7.15 - Posicionamiento de las vigas de entrepiso en la cenefa. (Fuente: Archivo del autor)

Después de montada la estructura de los entrepisos, si fuera del tipo húmedo, se procede a su ejecución, instalando los perfiles galvanizados tipo perfil L en el borde de la losa y la chapa de acero ondulada que sirve de encofrado llenado con hormigón pobre para formar la superficie del contrapiso (Foto 7.16).



Foto 7.16 - Ejecución de losa húmeda. (Fuente: Usiminas)

Los entrepisos secos deben ser instalados de preferencia cuando ya ha sido ejecutada la cubierta, a fin de evitar que el revestimiento de placas de OSB quede expuesto a la intemperie.

Para permitir el trabajo de los operarios sobre el entrepiso, pueden fijarse algunas placas y hacerse el arriostramiento provisorio. En ambos casos deben preverse siempre los espacios para el apoyo de los paneles portantes interiores y exteriores directamente sobre la estructura y no sobre el revestimiento.

7.2.4. Montaje de la Estructura de Paneles del Piso Superior

El procedimiento es el mismo de los paneles de planta baja, pero depende de la altura y del peso de los paneles si el izamiento puede ser manual (Foto 7.17) o por medio de equipos de elevación (Foto 7.18). En todo caso siempre deberá evitarse torcer o deformar los paneles.



Foto 7.17 - Montaje de paneles del piso superior. (Fuente: Archivo del autor)



Foto 7.18 - Izamiento y posicionamiento de panel de piso superior. (Fuente: disponible en: http://www.lds.com.br/steel-frame/montaje_023_gr.jpg)

El emplacado de la planta alta sigue el mismo procedimiento usado en la planta baja, sólo que el sentido de la instalación de las placas va de arriba hacia abajo para permitir la colocación de una línea de placas que admita la fijación en los paneles de los dos pisos, como lo muestra la Figura 7.9.

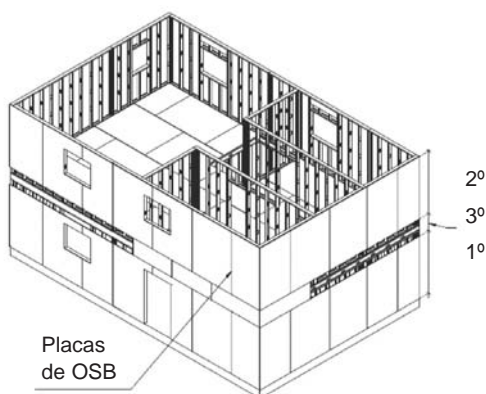


Figura 7.9 - Colocación de revestimientos de los paneles exteriores. (Adaptado de ConsulSteel, 2002)

7.2.5. Montaje de la Estructura del Techo

En techos con estructura de cabios, el primer paso consiste en montar la cumbrera para luego fijar los cabios en la cumbrera con tornillos estructurales (Foto 7.19).



Foto 7.19 -Detalle de cumbrera en tejado estructurado con cabios. (Fuente: Archivo del autor)

Los tornillos utilizados en la unión de elementos de cabriadas o cabios siempre deben ser estructurales.

Las vigas de cielo pueden ser montadas en la misma forma que las vigas de entrepiso, pero deben ser arriostradas a medida que son instaladas.

En los techos con estructura de cabriadas, éstas pueden ser izadas en conjunto y dispuestas sobre los paneles portantes (Foto 7.20). Entonces son distribuidas en su posición definitiva fijándolas con almas rigidizadas y tornillos estructurales. El arriostramiento debe ser efectuado a medida que las cabriadas están siendo posicionadas. Nunca deben posicionarse más de cuatro cabriadas al mismo tiempo sin los arriostramientos.



Foto 7.20 - Montaje de cabriadas de techo. (Fuente: Disponible en: <http://www.consulsteel.com/cas/default.asp>)

En techos de dos aguas, después de instaladas las cabriadas se montan los tímpanos y aleros apoyados o en voladizo. Para techos en cuatro aguas o más, la estructura es montada de acuerdo con los procedimientos descritos en el Capítulo 5.

Otra técnica para instalar el techo con cabriadas consiste en montar la estructura en el suelo, donde arriostramientos mantienen la estabilidad y forma del tejado, y después izar y colocar la estructura en su posición definitiva. Para que la estructura no se deforme han de tomarse cuidados tales como distribuir los puntos de izamiento en forma adecuada y hacer arriostramientos adicionales.

Después de montada la estructura, se procede a la colocación de la cubierta, para lo cual y según el tipo, podrán requerirse substratos de placas de OSB para apoyar los recubrimientos (tejuelas, shingles, tejas, etc.) (Foto 7.21).

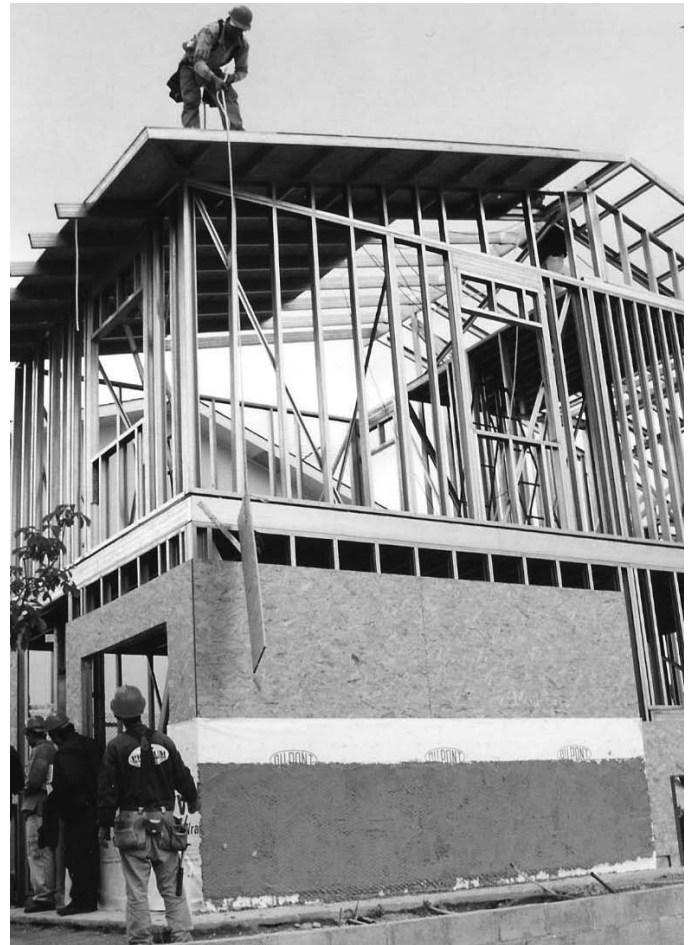


Foto 7.21 - Instalación de placas de OSB sobre el techo (Fuente: Archivo del autor)

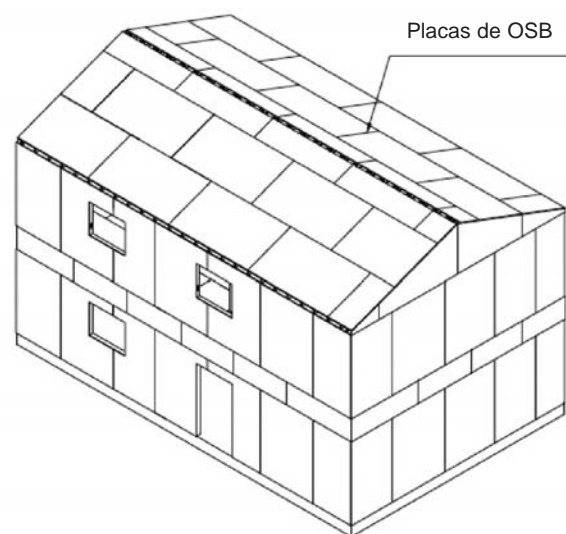


Figura 7.10 - Colocación de las placas de OSB en la estructura.

Capítulo 8

Directivas para proyectos

8.1. Industrialización de la Construcción

Para poder explorar el potencial del Steel Framing como un sistema constructivo industrializado, es necesario que el arquitecto además de dominar la tecnología, incorpore al proyecto arquitectónico las herramientas indispensables para el proceso de industrialización de la construcción. Estas herramientas incrementan la eficiencia y la productividad de la ejecución de la obra, posibilitando construcciones de calidad con un bajo potencial de patologías y, por consiguiente, una mayor satisfacción del usuario final.

El proceso de industrialización de la construcción se inicia con la concepción del proyecto arquitectónico. Es en esta etapa que las decisiones tomadas representan más del 70% de los costos de la construcción (Cambiaghi, 1997). Según García Meseguer (1991), el proyecto es responsable por un promedio de 40 a 45% de las “fallas de servicio” en los edificios.

Por lo tanto, es fundamental que el proyecto sea pensado con consideración de todos sus condicionantes, dado que los sistemas industrializados son incompatibles con las improvisaciones en el sitio de la obra, y la reparación de esos errores puede acarrear perjuicios tanto financieros como de calidad del producto final.

La industrialización está relacionada esencialmente con los conceptos de organización, repetición y normalización del producto y la mecanización de los medios de producción (Bruna, 1976). El concepto ‘industrial’ se define como: “Una de las varias modalidades de los métodos de producción, basada esencialmente en procesos organizados de carácter repetitivo, en que la variabilidad es incontrolable y causal de cada fase de trabajo, y a diferencia de las acciones artesanales, es substituida por grados pre-determinados de uniformidad y continuidad ejecutiva, que caracterizan las modalidades opera-

cionales parcial o totalmente mecanizadas” (Ciribini 1958 apud Rosso, 1980).

Sin embargo, la industria de la construcción civil tradicional se diferencia en varios aspectos de la industria de transformación y según García Meseguer (1991), las características peculiares de la construcción, tanto en lo que respecta a la naturaleza del proceso de producción como del propio mercado, dificultan la transposición de varias herramientas de la producción industrial a su ambiente. Este es el caso de:

1. La construcción civil es una industria nómada;
2. Sus productos son únicos y no seriados;
3. Su producción es centralizada, no pueden aplicarse a ella los conceptos de producción en línea;
4. Su producción se realiza a la intemperie;
5. Utiliza mano de obra intensiva de poca calificación y alta rotación;
6. Tiene un alto grado de variabilidad de productos;
7. Tiene poca especificación técnica;
8. Su producto generalmente es único en la vida del usuario;
9. Posee un bajo grado de precisión en comparación a las demás industrias.

Pero esto no impide adoptar los conceptos de industria a la construcción civil. Como afirma Teodoro Rosso (1980) “Aunque el producto es único y es realizado en un proceso sui generis, no repetitivo, no pudiendo aplicarse las condiciones de series de producción, sigue vigente la mecanización y otros instrumentos de industrialización. En general, casi todos los productos de los procesos no repetitivos pueden ser fraccionados en partes o componentes intermedios, que son fabricados por industrias subsidiarias, lo que comúnmente viabiliza que estas subsidiarias se dediquen a la producción de series y acumulen inventarios. El proceso final comprende entonces solamente las operaciones de montaje, ajuste y acabado.”

La industrialización de la construcción civil implica la debida aplicación de métodos apropiados desde la concepción del proyecto y ajustados al gerenciamiento del proceso de producción/construcción.

El sistema Steel Framing presenta dos niveles de producción de construcciones:

1. Producción de una edificación a través del montaje de la estructura localmente e instalación posterior de los restantes subsistemas, tales como el de los cerramientos, el eléctrico-hidráulico, los revestimientos y otros. O sea, la edificación está subdividida en una serie de componentes elementales que se combinan, y la ejecución está dada en una sucesión de etapas que tienen lugar en el sitio de la obra. Varios componentes de este nivel pueden ser industrializados, pero algunos procesos continúan siendo convencionales.
2. Sistemas modulares prefabricados en que los módulos o unidades producidos por la industria son transportados al sitio de la obra e incluso venir con todos los subsistemas ya instalados. Estas unidades pueden constituir toda la edificación o solamente parte de ella, como ocurre con los baños prefabricados. Cuanto mayor el nivel de industrialización en el proceso de construcción de estas construcciones, menor es la cantidad de actividades en el sitio de la obra, que se reducen al montaje y la interconexión de las unidades para formar un sistema estructural único. Japón tiene una industria altamente desarrollada: Los edificios y las viviendas son construidos a partir de unidades modulares que inclusive pueden ser personalizadas a través de opciones de catálogo ofrecidas por la industria a los clientes.

El mero uso de productos provenientes de la industria no hace que la construcción sea industrializada. Tampoco que sea industrializada garantiza el éxito de la empresa. Antes que nada debe concebirse el proyecto para el sistema constructivo propuesto, incorporando todas sus propieda-

des, especificando y compatibilizando sus subsistemas y componentes, y previendo su proceso de construcción. Esta es la filosofía de “construir en el papel”.

No es viable concebir determinado proyecto usando, por ejemplo, la lógica del hormigón armado y después construir el sistema SF, o cualquier otro sistema estructurado en acero. Los resultados siempre serán insatisfactorios. A este respecto, Coelho (2004) orientó a los arquitectos:

“Utilizar el acero como elemento de construcción trasciende la simple substitución de un material por otro. Además de otros aspectos es necesario:

- a) Repensar los parámetros tradicionales de proyecto, ítem en que son ejemplos el módulo básico vinculado a la producción industrial de la estructura y los vanos compatibles con las deformaciones admisibles de los demás materiales;
- b) Estudiar y entender las propiedades y características del acero y de los materiales complementarios;
- c) Definir anticipadamente los subsistemas que junto con la estructura permitirán mantener el grado de industrialización de la construcción;
- d) Incorporar a la arquitectura detalles constructivos eficientes para las interfaces entre la estructura y las tabiquerías.”

La industria de la construcción confía en la racionalización como forma de tornar más eficientes los procesos de producción de edificios. Dada la falta de sistemas constructivos totalmente industrializados, racionalizar la construcción significa prevenir el desperdicio de materiales y de mano de obra y utilizar más eficientemente los recursos financieros. En sentido más amplio es, por lo tanto, la aplicación de principios de planeamiento, organización y gestión, con miras a eliminar la casualidad en las decisiones e incrementar la productividad del proceso (Rosso, 1980).

El proceso de racionalización comienza ya en la fase de concepción, análisis y especificación de los componentes, en la compatibilización de los subsistemas, en los detalles y continúa en el proceso de construcción, y posteriormente de utilización, con la observación, el registro y la interpretación del comportamiento del producto, de su desempeño en el uso, para que a través de la retroalimentación, optimizar su calidad.

Los recursos o acciones que se aplican para promover la racionalización en el proceso de proyecto son:

- Constructibilidad¹, como un criterio que debe incluir la facilidad de construcción y ejecución de las actividades en el sitio de la obra como asimismo la fabricación y el transporte de los componentes;
- Planeamiento de todas las etapas del proceso, desde la definición del producto, proyectos, aprovisionamiento, ejecución, hasta la entrega de la obra;
- Uso de coordinación modular y dimensional;
- Asociación de la estructura de acero a sistemas complementarios compatibles;
- Formación de equipos multidisciplinarios, incluyendo la participación de agentes de la producción (constructoras o montadores), para el desarrollo simultáneo de los proyectos;
- Coordinación y compatibilización de proyectos antes de la ejecución;
- Detalle técnico;
- Anticipar decisiones;
- Elaboración de proyecto para producción, definiendo los detalles de la ejecución y la secuencia de la forma de trabajo;
- Existencia de una visión sistémica común a todos los participantes del proceso.

La industria de la construcción se divide en dos partes: la de la edificación propiamente dicha y la de los materiales de construcción, subsidiaria de la primera. Una de las finalidades de la racionalización es integrar las dos industrias. Para lograrlo, deben formularse principios comunes que establezcan una disciplina conceptual y pragmática que permita transformar los materiales de construcción en componentes constructivos de catálogo. Una condición fundamental es la adopción del sistema de coordinación modular, como base para la normalización de los componentes constructivos.

8.2. Coordinación Modular

El objetivo de la coordinación modular es eliminar la fabricación, modificación o adaptación de piezas en la obra, reduciendo así el trabajo de montaje de las unidades en sus correspondientes subsistemas y componentes funcionales. Para esto, la industria debe proporcionar sus productos dimensionados como múltiplos de un único módulo, considerado como base de los elementos que constituyen la edificación a construir. La adopción de un sistema de coordinación modular es fundamental para la normalización de los elementos de construcción, y es una condición esencial para industrializar su producción.

El término “módulo” deriva del latín ‘modulus’ que significa pequeña medida. El uso del módulo en la historia de la arquitectura puede encontrarse en varias épocas, desde la antigüedad. En la arquitectura griega correspondía al radio de la base de la columna, con que estaban relacionadas las dimensiones de todas las otras partes del edificio; además tenía una función estética. En el Imperio Romano sirvió para estandarizar los componentes básicos de la construcción.

¹ Sabbatini (1989) define la constructibilidad de un edificio o de un elemento como la “propiedad inherente al proyecto de un edificio, o de una de sus partes, que expresa la aptitud que tiene este edificio (o una parte de él) para ser construido.”

A partir de la Revolución Industrial, la modulación llegó a ser una herramienta necesaria para la industrialización de la construcción civil, principalmente en la edificación que usaba hierro fundido. El ejemplo máximo de esa época fue sin duda el Palacio de Cristal. Creado para ser una concepción fruto de los conceptos de producción masiva, el Palacio de Cristal asocia la arquitectura al concepto de Diseño Industrial.

A partir de fines de la segunda guerra mundial se sintió la necesidad de sistematizar los estudios de los principios de la coordinación modular, considerando la ininterrumpida evolución de la tecnología de la industria de la construcción. Para que la coordinación modular funcionase como instrumento de integración, compatibilizando dimensionalmente el repertorio completo de los componentes de todo un sector industrial y más aún dotarla de atributos que faculten su permutabilidad, era necesario establecer normas que determinasen los parámetros básicos de esta disciplina. Por lo tanto, a partir de la década de los años 50, los países europeos desplegaron esfuerzos para establecer reglas comunes en aras del intercambio comercial y por la necesidad de una producción masiva de construir viviendas. En la década de los años 80 se creó la norma ISO 1006: 1983 - Building Construction- Modular Coordination, que estableció el módulo básico, unidad de medida de tamaño fijo a que se refieren todas las medidas que forman parte de un sistema de coordinación modular, representada por la letra M que correspondería a $1M = 100 \text{ mm}$ o 10 cm .

Brasil también adoptó la coordinación modular en la construcción civil a través de la norma ABNT - NBR 5706, 1977, y estableció el módulo básico (M) con un decímetro, o sea, 10 cm . El módulo básico desempeña tres funciones esenciales:

1. Es el denominador común de todas las medidas ordenadas
2. Es el incremento unitario de toda y cualesquiera dimensión modular a fin de que la suma o la diferencia de dos dimensiones

- modulares también sea modular,
3. Es un factor numérico, expresado en unidades del sistema de medidas adoptado o la razón de una progresión.

La metodología básica para la aplicación de la coordinación modular en construcción civil es el producto de la integración de los subsistemas y componentes de una edificación a un reticulado modular que permita la coordinación de todos los datos del proyecto.

Nota del Editor

Hay casos en que la modulación se basa en las dimensiones de las placas de revestimiento. Si estas vienen en un ancho de $1,20 \text{ m}$ por ejemplo, es posible que sea conveniente en usar como módulo un submúltiplo de esa medida tal como 30 , 40 ó 60 cm . Si las placas son de Estados Unidos en pulgadas y los anchos son $1,21 \text{ m}$ resulta adecuado usar 305 mm , 402 ó 610 mm .

8.3. Reticulados Modulares

El uso de mallas o reticulados planos o espaciales sirve de base tanto para la estructura principal como para los otros componentes y subsistemas que también obedecen a un patrón de coordinación modular. Su objetivo es relacionar las medidas del proyecto con las medidas modulares.

Las mallas o reticulados sirven para posicionar e interrelacionar los elementos estructurales, las tabiquerías, escuadrías, instalaciones y tantos otros componentes que obedecen a una disciplina modular permitiendo un mejor aprovechamiento de los materiales y generando un mínimo de cortes y desperdicios. Y funcionan como eslabón de intercambio facilitador entre la coordinación funcional, volumétrica y, principalmente, estructural de la edificación. Es sobre ella que se aplican las concepciones estructurales, que guardarán las relaciones de proporción con los otros elementos del edificio (Firmo, 2003).

El sistema de referencia de una edificación debe estar constituido por un conjunto de planos, líneas y puntos introducidos durante el proceso de proyecto con el fin de facilitar el trabajo en cada etapa de la edificación. Se trata esencialmente de una organización geométrica en que todas las partes están interrelacionadas. La base es el reticulado modular de referencia que puede ser plano o espacial, donde se posicionan la estructura, las tabiquerías, las escuadrías y otros equipos aislados o en conjunto.

Básicamente, la distancia entre dos líneas del reticulado o de dos planos del reticulado espacial, debe ser el módulo básico (10 cm) para que a partir de todas las otras medidas puedan ser correlacionadas. Sin embargo, las mallas o reticulados pueden usar como base la modulación de la estructura, siempre que sean múltiplos o submúltiplos del módulo (Figura 8.1).

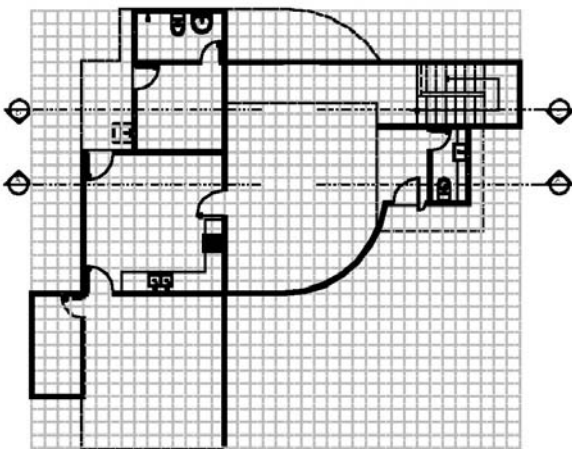


Figura 8.1 - Uso de reticulados geométricos modulares para proyectos de arquitectura en SF.

Según Rosso (1976), en la práctica del proyecto modular es aconsejable, luego después del primer esbozo, proceder a considerar los detalles. La razón de ello es que el diseño libre de las partes del edificio en función de una libre ejecución en la obra ya no es posible, porque todo está sujeto a una disciplina común. Sin embargo, sería un engaño suponer que proyectos concebidos a partir de reticulados y componentes modulares generan una arquitectura plásticamente pobre y repetitiva. La infini-

dad de combinaciones y arreglos permite una gran flexibilidad en los más variados lenguajes arquitectónicos. La gran ventaja es que los criterios técnicos son claramente definidos, puesto que para garantizar la calidad de una edificación estructurada en acero se debe considerar la tecnología empleada y la calidad y compatibilidad de los materiales utilizados.

Franco (1992) afirma que al establecer un sistema de coordinación que conjugue las características dimensionales de los materiales y componentes que constituyen el sistema y el proceso de producción, se lograrán los siguientes beneficios:

- Simplificación de la actividad de elaboración del proyecto;
- Estandarización de materiales y componentes;
- Posibilidad de normalización, tipificación, sustitución y composición entre los componentes normalizados;
- Disminución de los problemas de interfaz entre componentes, elementos y subsistemas;
- Facilidad por la utilización de técnicas predefinidas, que incluso facilitan el control de la producción;
- Reducción de desperdicios gracias a las adaptaciones;
- Mayor precisión dimensional;
- Disminución de errores de la mano de obra, con el consiguiente aumento de la calidad y de la productividad.

8.4. Proyecto para Producción

Para Barros (2003) el actual proceso de proyecto, que enfatiza la definición del producto sin tener en cuenta las necesidades de producción, poco contribuye al avance tecnológico en el sitio de la obra.

En el proceso constructivo tradicional, los proyectos ejecutivos que llegan a la obra, generalmente sólo informan las especificaciones del producto y el dimensionamiento necesario, indicando las formas finales del edificio en el caso del proyecto arquitectónico, o las características técnicas de los subsistemas, sin contribuir a la debida secuencia de las operaciones. La falta de compatibilización entre subsistemas es común; ella acarrea problemas que muchas veces son resueltos por el mismo personal de la obra. Es así como frecuentemente las decisiones de cómo construir son tomadas en la obra misma.

Melhado (1994) entrega un concepto más amplio de proyecto cuando afirma que el proyecto de edificios debe extrapolar la visión del producto o de su función, debiendo ser encarado también bajo la óptica del proceso de construcción. El proyecto debe incluir además de las especificaciones del producto también las especificaciones de los medios estratégicos, físicos y tecnológicos necesarios para ejecutar el proceso de construcción.

Es así como concluye Taniguti (1999), que para evolucionar en el proceso de producción de edificios es necesario mejorar el proceso de elaboración del proyecto considerando simultáneamente los diversos subsistemas, como asimismo el contenido del proyecto el cual, además de la forma del producto, debe presentar también el aspecto de cómo producir.

Cuando la industria de la construcción trabaja con sistemas constructivos racionalizados y/o industrializados es esencial que el proyecto, además de enfocar el producto, contemple también el modo de producción, para que se pueda aprovechar realmente el potencial productivo y lograr los resultados esperados.

El proyecto de producción es definido por Melhado (1994) como un conjunto de elementos de proyecto elaborado en forma

simultánea al detalle del proyecto ejecutivo, para su utilización en el ámbito de las actividades de producción en obra, conteniendo las definiciones de:

- Disposición y secuencia de las actividades de la obra y los frentes de servicio;
- Uso de equipos;
- Iniciación y evolución de la obra;
- Además de otros ítems vinculados a las características y recursos propios de la empresa constructora.

El papel esencial del proyecto en la producción consiste en encontrar soluciones constructivas para determinado proyecto, concebido para una cierta tecnología, insertando las condicionantes de racionalización y constructibilidad, a fin de apoyar a la actividad de ejecución, a través de un proceso de producción seriado y definido, permitiendo su control, garantizando la calidad deseada del producto y la reducción de costos y desperdicios.

El proyecto de producción no debe ser confundido con el proyecto de un subsistema de la edificación, no es tan solo el detalle genérico que viabiliza las operaciones en el sitio de la obra.

Como se sabe, el proceso de producción de edificios es una actividad multidisciplinaria, que involucra la participación de diferentes profesionales y proyectistas, lo que implica la necesidad de una mayor integración entre las diversas disciplinas del proyecto (arquitectura, estructura, instalaciones, tabiquería, fundaciones, etc.), como también entre estas disciplinas y las actividades de producción.

El elemento de unión entre estas diversas disciplinas y la coordinación de proyectos es una actividad de apoyo del desarrollo del proceso de proyecto, orientada a la integración de los

requisitos y de las decisiones de proyecto. La coordinación debe ser ejercida durante todo el proceso de proyecto; tiene como objetivo facilitar la interacción entre los diversos miembros y equipos a fin de mejorar la calidad de los proyectos que se desarrollan y promover su compatibilización.

La coordinación de proyectos puede ser ejercida por un equipo de la misma constructora, por la oficina de arquitectura o por un profesional o empresa especializada.

La coordinación de proyectos no resuelve por sí sola todas las incongruencias e inconsistencias existentes entre los proyectos. Todos los agentes participantes deberán tener en común la visión sistémica del proceso de producción y del producto/edificación para lograr un todo armónico e integrado. Novaes (1996) apud Silva (2003) afirma que esa condición sólo podrá ser alcanzada sobre la base de la “adopción de una visión sistémica del comportamiento de los subsistemas de un edificio, mediante la elaboración de los proyectos de cada subsistema y sus componentes, compatibilizada con los de los demás, con respeto de las necesidades particulares de cada uno y las globales del edificio, visto como un organismo en funcionamiento”.

8.5. Directrices para el Proyecto de Arquitectura

En los párrafos siguientes se presentarán algunos requisitos para la elaboración de proyectos de arquitectura en SF. El objetivo es orientar a los profesionales en los aspectos que son esenciales para garantizar edificaciones más eficientes, como resultado de concepciones planificadas y adecuadas al sistema SF, y también para permitir la racionalización del proceso constructivo.

8.5.1. Estudio Preliminar

Es importante que desde la concepción

del proyecto se piense en la forma de producir o construir, por lo que ya en el estudio preliminar deberán considerarse los conceptos y condicionantes estructurales.

El uso de mallas o reticulados modulares planos y espaciales permite relacionar en un primer momento la modulación de la estructura y los paneles de cerramiento. El reticulado modular de referencia debe considerar el módulo básico de 10 cm, puesto que es la referencia para las dimensiones de los componentes. Pero para el proyecto deben utilizarse reticulados de mayores dimensiones a fin de facilitar la creación o el diseño, siempre que sean múltiplos del módulo fundamental. Para proyectos con SF puede emplearse una malla o reticulado plano de 1200 mm x 1200 mm, si en el estudio preliminar el arquitecto aún no tiene la información precisa si la modulación estructural será de 400 o 600 mm. Por lo tanto, cuando se usa ese reticulado que es múltiplo tanto de 400 como de 600 mm, permite que posteriormente el proyecto sea adaptado a cualquiera de las opciones determinadas por el proyecto estructural. Esta modulación de reticulado también posibilita que desde los primeros esbozos se considere la optimización del uso de las placas de cerramiento, puesto que la mayoría de estos componentes utiliza esa dimensión.

Debe concebirse un proyecto coherente con el desarrollo tecnológico de la constructora, o sea, los métodos de construcción y montaje adoptados por la empresa deben reflejarse en la complejidad y selección de los componentes de la edificación.

8.5.2. Anteproyecto

En esta etapa es esencial dominar el uso de los materiales y componentes que son parte de la construcción para una mejor especificación e integración de estos materiales de acuerdo a la situación.

Tener claro el uso a que se destinará el edificio y el clima local es esencial a fin de poder determinar el patrón de acabado y los criterios de desempeño termoacústico, ya que existen varias configuraciones posibles para el proyecto de tabiquería. Estas condiciones son determinantes para la selección de los componentes de cerramiento vertical y el tipo de losa.

Especificar el tipo de revestimiento y acabado para que su peso propio pueda ser considerado en el proyecto estructural. En esta etapa, anteproyecto de la estructura, deben desarrollarse simultáneamente las fundaciones e instalaciones, considerando ya las interferencias entre los subsistemas.

Compatibilizar el proyecto arquitectónico con las dimensiones de los componentes de cerramiento a fin de optimizar su modulación horizontal y vertical.

Especificar escuadrías, formas de fijación y las holguras necesarias para ella, compatibilizar el proyecto de los componentes de cerramiento con los orificios de las escuadrías. Optimizar la dimensión y localización de los orificios con la localización de los montantes considerando la modulación.

Proporcionar estanqueidad al aire y al agua de la estructura a través de componentes de impermeabilización y cerramiento. O sea, los perfiles galvanizados nunca deben estar a la vista.

Definir la viabilidad de concentrar las pasadas de las cañerías en "shafts" con miras a una menor interferencia con la ejecución de la tabiquería y las estructuras.

Definir el uso y tipo de sistema de agua caliente, aire acondicionado y calefacción.

En la medida de lo posible, tratar de siempre emitir el layout de las piezas fijadas a los

paneles de los ambientes para prever la colocación de refuerzos.

8.5.3. Proyecto Ejecutivo y Detalle

Esta fase se caracteriza por el proceso de compatibilización entre subsistemas y la elaboración de los proyectos ejecutivos y de detalle, considerando las peculiaridades del sistema constructivo y el nivel de racionalización del proceso. Por lo tanto, los proyectos ejecutivos de arquitectura difieren de los proyectos de construcciones convencionales que abordan y entregan información en forma genérica. Cuanto más preciso y detallado es el proyecto, tanto mayor es el desempeño y la calidad en el montaje de la edificación.

A pesar de que el dimensionamiento de proyectos arquitectónicos en milímetros no es común, ha de considerarse la precisión milimétrica, ya que la estructura de acero proporciona un sistema constructivo muy preciso y todos los demás componentes deben también cumplir ese requisito. Por consiguiente, a pesar de no ser una condición esencial que las dimensiones del proyecto ejecutivo se presenten en milímetros, todo el proyecto debe ser pensado en esas unidades de medida y el detalle, principalmente de la interfaz entre subsistemas, sea expresado preferentemente en milímetros.

Este procedimiento es particularmente importante cuando en el detalle de interfaces consideramos que aunque los componentes elementales de la construcción sean fabricados de acuerdo a los criterios de coordinación modular, todo material está sujeto a variaciones milimétricas que son el resultado de errores de fabricación y de posición, o de diferentes dilataciones y contracciones debido a la naturaleza de cada uno. Por lo tanto, estos aspectos han de tenerse en cuenta a fin de evitar patologías posteriores.

La elaboración del proyecto ejecutivo está inicialmente sujeta a la compatibilización del proyecto estructural con el arquitectónico. Posteriormente, deben compatibilizarse estos proyectos con el de las instalaciones, identificando, analizando y solucionando las interferencias.

Elaborar los proyectos de las tabiquerías interiores y exteriores según el proyecto estructural, ya que es en la estructura que se fijarán los componentes, compatibilizando e integrándolos con los otros subsistemas. El proyecto de los componentes de cerramiento debe optimizar la modulación vertical y horizontal y hacerse compatible con los orificios y, cuando es necesario, con su uso como diafragma de rigidización. Cuando los componentes de cerramiento no desempeñan esa función estructural, identificar y solucionar su interferencia con el uso de arriostramientos.

Especificar y detallar el tipo de juntas de unión (a la vista o invisible) de dilatación y movimiento de las placas de cerramiento, y si fuera necesario, incorporar estos detalles al proyecto de arquitectura. También es importante considerar la deformabilidad de la estructura y las variaciones higrotérmicas de los materiales en el detalle de las juntas.

Identificar y solucionar la interferencia de puntos hidráulicos tales como sanitarios, duchas, tanques y otros con la posición de los elementos estructurales, principalmente los arriostramientos y montantes.

Especificar y detallar el tipo de revestimiento de áreas expuestas a humedad y el uso de materiales como entrepiso de garaje y otros.

Detallar la interfaz paneles/escuadrías, caracterizando el tipo de material (aluminio, madera, acero, PVC, etc.), el modo de fijación, los componentes de protección de estos orificios, tales como alfeizares, punteado de bordes y alisadores. Cuidados especiales merece el

uso de materiales metálicos, tales como el aluminio, a fin de aislar las escuadrías de la estructura y evitar así la formación de pares galvánicos.

Dar preferencia a los detalles estandarizados de desempeño comprobado. Y esto ha de aplicarse tanto al detalle del proyecto arquitectónico como al proyecto estructural.

Definir el proyecto luminotécnico para evitar interferencias con la estructura, tales como son las vigas de entrepiso y los montantes.

Siempre es importante hacer un análisis crítico en cada etapa para verificar si las alternativas propuestas pueden ser mejoradas en términos de racionalización de la producción y compatibilidad entre los subsistemas. Lo mismo rige para la detectar si las operaciones en curso son suficientes para la elaboración de los proyectos de producción.

En el proceso de ejecución de construcciones en SF ocurren varias actividades simultáneamente, y esta es otra condición que implica la necesidad de establecer los proyectos de producción, puesta que la velocidad de ejecución dificulta la solución óptima de las interferencias que van apareciendo y esto puede comprometer la secuencia de ejecución atrasando los plazos de entrega de la obra.

Indudablemente, los sistemas constructivos como el Steel Framing son un puente para el desarrollo tecnológico de la construcción civil. Más aún, tenemos la convicción que una de las mayores contribuciones de este sistema es la construcción con calidad, sin desperdicio y con preocupación ambiental.

Referencias Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15253: Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados em edificações: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2005.

NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987.

NBR 6355: Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização. Rio de Janeiro, 2003.

NBR 5706: Coordenação modular da construção. Rio de Janeiro, 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE BLOCOS E CHAPAS DE GESSO - Abragesso. Manual de montagem de sistemas drywall. São Paulo: Pini, 2004.

BARROS, M. M. B.; SABBATINI, F. H. Diretrizes para o processo de projeto para a implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios. São Paulo: EPUSP, 2003. 24 p. (Boletim técnico BT/PCC/172).

BATE MAN, B. W. Light gauge steel versus conventional wood framing in residential construction. Texas: Department of Construction Science of A&M University, College Station, 1998.

BAUERMANN. M. Uma investigação sobre o processo de projeto em edifícios de andares múltiplos em aço. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2002.

BRASILIT. Sistema construtivo brasiplac – paredes internas e externas: catálogo. São Paulo, 2004.

BROCKENBROUGH, R. L. & ASSOCIATES. Shear wall design guide. Washington: American Iron and Steel Institute (AISI), 1998.

BRUNA. P. J. V. Arquitetura, industrialização e desenvolvimento. São Paulo: Ed. Perspectiva, 1976.

CAIXA ECONÓMICA FEDERAL. Sistema construtivo utilizando perfis estruturais formados a frio de aços revestidos (steel framing) -Requisitos e Condições Mínimos para Financiamento pela Caixa. Disponível em: http://www.cbca-ibs.org.br/biblioteca_manuais_caixa.asp. Acesso em feb. 2004.

CAMBIAGHI, H. Projeto frente às novas tecnologias. Disponível em < <http://www.asbea.org.br/midia/artigos/cambiaghi/projtech> >. Acesso em: abril, 2005.

CARDÃO, Celso. Técnica da Construção Vol. 2. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1964.

CIOCCHI, Luiz. Revestimento em régua paralelas. Revista Techné, São Paulo, n° 76, p. 54-56, julho 2003.

CIRIBINI, G. Architettura e industria, lineamenti di tecnica della produzione edilizia. Milano: Ed. Tamburini, 1958.

COELHO, R. A. Sistema construtivo integrado em estrutura metálica. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

COELHO, R. A. Interpretando a psicologia e a personalidade de cada material. Revista Mais Arquitetura. São Paulo, n° 58, p. 72. Abril 2004.

CONSTRUTORA SEQUÊNCIA. Portfólio de Obras. www.construtorasequencia.com.br/portfolio_obrassteel.htm Acesso entre Set. 2003 y Marzo 2005.

CONSULSTEEL. Construcción con acero liviano - Manual de Procedimiento. Buenos Aires: Consul Steel, 2002. 1 CD-ROM.

CRASTO, R. C. M. Arquitetura e Tecnologia em Sistemas Construtivos Industrializados – Light Steel Framing. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2005.

DAVIES, J. Michael. Light gauge steel framing systems for low-rise construction.: Encontro nacional da construção metálica e mista, 2. Anais...1999, Coimbra.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem. São Paulo: Zigurate Editora, 1997.

DIAS, Luís Andrade de Mattos . Aço e arquitetura: estudo de edificações no Brasil. São Paulo: Zigurate Editora, 2001.

ELHAJJ, Nader R.; CRANDELL, Jay. Horizontal diaphragm values for cold-formed steel framing. Upper Marlboro, MD: National Association of Home Builders (NAHB), 1999.

ELHAJJ Nader; BIELAT, Kevin. Prescriptive method for residential cold-formed steel framing. USA: North American Steel Framing Alliance (NASFA), 2000.

ELHAJJ, Nader. Fastening of light frame steel housing: an international perspective. Upper Marlboro, MD: National Association of Home Builders (NAHB), 2004.

ELHAJJ, Nader. Residential steel framing: fire and acoustic details. Upper Marlboro, MD: National Association of Home Builders (NAHB), 2002.

FRECHETTE, Leon A.. Building smarter with alternative materiais. Disponible en: <http://www.build-smarter.com>. Acceso en oct. 2004.

FIRMO. C. Estruturas tubulares enrijecidas por superfícies de dupla curvatura (hiperbólica). Dissertação (Mestrado) - Departamento de

Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2003.

FRANCO, L. S. Aplicação de Diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo 1992.

GARCÍA MESEGUER, Alvaro. Control de calidad en construcción. Servicio de Publicaciones

ANCOP, España 1990. Traducción al portugués: RobertoFalcão Bauer, António Carmona Filho, Paul Roberto do Lago Helene, São Paulo, Sindus-con - SP/ Projeto/PW, 1991.

GARNER, Chad J. Constructors' guide to steel framing. Traducción al portugués por Sidnei Palatnik. Disponible en: <http://www.cbca-ibs.org.br/>. Acceso en marzo 2004.

GERGES, Samir N. Y. Ruído: fundamentos e controle. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1992.

GÓMEZ, G. O. Acústica aplicada a la Construcción: El Ruido. Santiago de Cuba: Ed. ISPJAM, 1988.

GRUBB, P. J.; LAWSON, R. M. Building design using cold formed steel sections: construction detailing and practice. Berkshire: Steel Construction Institute (SCI) Publication, 1997.

HOLANDA, E. P. T. Novas tecnologias construtivas para produção de vedações verticais: diretrizes para o treinamento da mão-de-obra. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Sistema Lafarge Gypsum: paredes de chapas de gesso acartonado. São Paulo: Divisão de Engenharia Civil, 2002. (Referência técnica nº 17)

INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE. Residential Construction around the World. Brochure 6. Bruselas: International Iron and Steel Institute, 1996.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 1006: Building construction - Modular coordination: Basic Module. Londres, 1983.

ISO 6241: Performance standards in buildings: principles for their preparation and factors to be considered. Londres, 1984.

KINSLER, L. E.; FREY, A. R.; COPPENS, A. B.; SANDERS, J.V. Fundamentals of Acoustics. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1982.

KRÚGER, P. von. Análise de Painéis de Vedação nas edificações em estrutura metálica. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2000.

LABOUBE, Roger. Design guide for cold-formed steel trusses. Washington: American Iron and Steel Institute (AISI), 1995.

LOTURCO, Bruno. Chapas cimentícias são alternativa rápida para uso interno ou externo. Revista Técnica, São Paulo, n° 79, p. 62-66. PINI, Out. 2003.

MASISA. Panel estructural OSB MASISA: Recomendaciones prácticas. Catálogo: MASISA, 2003.

MELHADO. S. B. Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.

MICHAELIS. Dicionário Prático Inglês-Português/Português-Inglês. São Paulo: Melhoramentos, 1987.

MOLITERNO, António. Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 2003.

NOVAES, C. C. Diretrizes para garantia da qualidade do projeto na produção de edifícios habitacionais. 1996. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

PEREIRA JÚNIOR, Cleber José. Edifícios de Pequeno Porte Contraventados com Perfis de Chapa Fina de Aço. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

PETTERSON, Eduard. Arquitectura Minimalista. Barcelona: Atrium Group de Ediciones y Publicaciones, S. L., 2001.

PINTO. M. A. V. Avaliação térmica de edifícios em estrutura metálica. . Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2000.

RODRIGUES, F. C. Light steel framing - engenharia. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2005.

ROSSO. T. Racionalização da construção. São Paulo: Ed. FAU-USP, 1980.

ROSSO. T. Teoria e prática da coordenação modular. São Paulo: Ed. FAU-USP, 1976.

SABBATINI, F. H. Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: Formulação e Aplicação de uma Metodologia Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989.

SABBATINI, F. H. O Processo de Produção das Vedações Leves de gesso acartonado. En: Seminário de Tecnologia e Gestão da Produção de Edifícios: Vedações Verticais, São Paulo.

1998. Anais... São Paulo: PCC/ TGP, 1998, p. 67-94.

SALES. U. C. Mapeamento dos problemas gerados na associação entre sistemas de vedação e estrutura metálica e caracterização acústica e vibratória de painéis de vedação. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2001.

SCHARFF, Robert. Residential steel framing handbook. New York: McGraw Hill, 1996.

SILVA. M. M. A. Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE (SCI). Light steel framing case studies. Disponível em: <http://www.steel-sci.org/lightsteel/>. Acesso em Abril de 2004.

STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION. OSB wall sheathing works. Vancouver: Structural Board Association, 2004.

TANIGUTI, E. K. Método construtivo de vedação vertical interna de chapas de gesso acartonado. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

TREBILCOCK, Peter J. Building design using cold formed steel sections: an architect's guide. Berkshire: Steel Construction Institute (SCI) Publication, 1994.

WAITE, Timothy J. Steel-frame house construction. California: Craftman Book Co., 2000.