



## CAPÍTULO 10

# NAVES INDUSTRIALES

**Las naves industriales y bodegas constituyen un sistema de construcción prefabricada para el techado y cerramiento de grandes áreas, usualmente destinadas al almacenamiento o como instalaciones de todo tipo (por ejemplo, supermercados).**

El sistema constructivo es sumamente flexible y está diseñado para proyectos de más de 1000 m<sup>2</sup>. Sus grandes claros entre columnas (hasta 31 m en los marcos principales y 12 m en los marcos de amarre) permiten espacios interiores muy amplios, logrando así una distribución de planta muy extensa y funcional. Si el proyecto lo requiere, se pueden construir naves industriales con luces entre columnas aún mayores.

Los sistemas prefabricados para naves industriales y bodegas se basan en la prefabricación independiente y el ensamble en sitio de diversos elementos de concreto de gran tamaño y con un diseño estructural altamente optimizado. La estructura primaria está constituida por largueros de concreto preesforzado, vigas de carga de techo postensadas de hasta 31 m de luz entre columnas, vigas de amarre de techo, vigas canoa, columnas y placas de fundación prefabricadas.

Además, se emplean tensores de varilla en el techo para conformar un diafragma flexible. Las naves industriales y bodegas pueden cerrarse empleando paneles estructurales y no estructurales, según se requiera por razones estructurales, arquitectónicas o funcionales.

Si es necesario, también se pueden utilizar otros componentes prefabricados, tales como fundaciones de pilotes, muros de retención para andenes y mezzanines o entrepisos.

Mediante un apropiado análisis estructural se puede identificar la idoneidad de integrar dichos subsistemas a la estructura primaria de las naves, para evitar la construcción de más placas y columnas de las requeridas.

Para detalles acerca de los subsistemas de pilotes, entrepisos, paneles de cerramiento y

muros de retención, se recomienda revisar los capítulos 3, 6, 7 y 8, respectivamente. Este capítulo se centra en la descripción de la estructura primaria del sistema de naves industriales y bodegas. Se presentan también ayudas para el diseño y especificación, así como recomendaciones para el almacenaje de las piezas y el proceso de construcción.

Los elementos que conforman los sistemas para naves industriales tienen todas las ventajas que ofrece la prefabricación:

- Ahorro de formaleta
- Reducción de mano de obra
- Reducción del plazo constructivo, así como de los costos financieros y administrativos asociados
- Estrictos estándares de calidad y mayores controles de proceso que permiten el uso rutinario de materiales de alto desempeño, tales como concretos de alta resistencia (CAD) de hasta  $f'c = 700$  kg/cm<sup>2</sup> para la reducción de las secciones o incremento de la rigidez; concretos autocompactantes (CAC), para la mejora de los acabados, etc.
- Uso rutinario del concreto preesforzado para la solución económica de problemas difíciles de resolver con concreto reforzado: vigas de grandes luces, grandes voladizos, reducción de secciones, control de agrietamiento y control de rigidez.

Las conexiones entre los componentes prefabricados de las naves industriales pueden realizarse de acuerdo con los cuatro tipos que establece el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (2011), en su capítulo 12 “Estructuras y componentes prefabricados de concreto”. No obstante, el sistema ha sido concebido para que las conexiones entre los elementos estructurales sean del tipo húmedo, de tal manera que se cuente con un comportamiento monolítico y redundante (para más detalles, véanse los tipos de conexiones en el capítulo 13, sobre sistemas para edificios).

Holcim Modular Solutions también ofrece soluciones de naves industriales para casos especiales, en los que la operación y el funcionamiento requieren de claros mayores entre columnas. Con algunas variaciones al sistema y utilizando conexiones postensadas, se pueden alcanzar luces de hasta 36 m entre columnas.

Mediante el empleo de vigas I, se han construido instalaciones de hasta 50 m de luz, además de pendientes mayores en los techos y conexiones postensadas.



Figura 10.1 Nave industrial Abopac, récord nacional en concreto, por sus luces de 50 metros

## 10.1 Materiales

- **Concreto:** el concreto utilizado en la planta de Holcim Modular Solutions tiene una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de 280 kg/cm<sup>2</sup> para fundaciones reforzadas y de 350 kg/cm<sup>2</sup> para otros elementos reforzados. En el caso de los elementos pretensados, la resistencia a los 28 días es de 700 kg/cm<sup>2</sup> con excepción de la Losa Lex, que tiene una resistencia mínima a la compresión de 420 kg/cm<sup>2</sup>.
- **Cemento:** el cemento cumple con la especificación INTE C147 y del Reglamento Técnico de Cementos de Costa Rica RTCR 479:2015.
- **Agregados:** los agregados cumplen con la especificación ASTM C33.
- **Refuerzo:** el acero de preesfuerzo cumple con la especificación ASTM A615 y sus equivalentes en las normas nacionales INTECO.

## 10.2 Normativa vigente

- Código Sísmico de Costa Rica 2010 (CSCR-2010). (2011). Establece las cargas vivas mínimas, los requisitos sísmicos de diseño de componentes prefabricados y edificaciones.
- Código de Cimentaciones de Costa Rica. (2009). Establece los requisitos de diseño geotécnico de las cimentaciones.
- ACI 318S-14 Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario. Establece los requisitos mínimos para el diseño estructural de elementos de concreto reforzado y preesforzado sujetos a cargas de flexocompresión, torsión, tensión y cortante.
- Normas de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE 37-02)
- Manual de Diseño del Instituto del Concreto Prefabricado (PCI Handbook) edición 2014, Chicago, Illinois, USA.

## 10.3 Criterios para uso y especificación

### Concreto reforzado y concreto preesforzado

Los sistemas prefabricados para naves industriales hacen uso extensivo de la tecnología del preesforzado para la solución de los problemas de ingeniería. Algunos componentes, como las vigas de techo, los largueros de techo, las vigas de entpiso, los paneles de cerramiento y los entpisos, utilizan de rutina el acero preesforzado para:

- Control de deflexiones
- Control de agrietamiento
- Reducción de las secciones y del peso
- Incremento de la rigidez
- Una combinación de los anteriores

Existen diversas filosofías para el diseño de elementos del concreto preesforzado, pero la más usual consiste en garantizar que las secciones no presenten agrietamiento por flexión para las cargas de servicio.

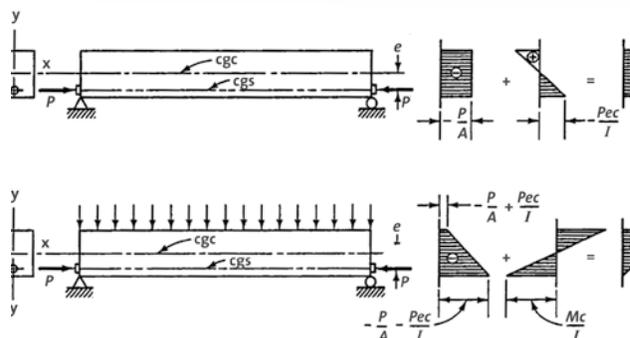


Figura 10.2 Diseño sin agrietar de elementos pre-esforzados para cargas de servicio

Esto tiene importantes implicaciones en la economía de las soluciones y en los supuestos de los métodos de análisis estructural. Una primera consideración es que en el análisis estructural para cargas gravitacionales será apropiado usar en vigas el momento de inercia de la sección sin agrietar ( $I_g$ ). Para el análisis sísmico por los métodos estático o dinámico puede usarse un momento de inercia de alrededor de  $0,80 I_g$ , con el objeto de tomar en cuenta que existe agrietamiento localizado en las zonas de rótulas plásticas.

Con relación a la rigidez, es importante mencionar que los concretos de los componentes preesforzados usualmente tendrán resistencias a los 28 días superiores a los concretos normales, en el orden de 420 a 700 kg/cm<sup>2</sup>. El módulo de elasticidad del concreto debe ser empleado en forma apropiada en el análisis estructural.

El uso del preesfuerzo en los sistemas de naves industriales permite la solución económica de espacios con grandes luces o grandes voladizos, que de otra forma presentarían deflexiones significativas si se resuelven con concreto reforzado convencional.

### Vigas de techo y pendientes de techo

Las vigas de techo, que pueden ser de alma abierta o cerrada, son sumamente esbeltas debido al uso del concreto preesforzado y poseen

un alto valor estético. Cuando son de alma abierta facilitan a la vez las instalaciones eléctricas y mecánicas. Estas vigas soportan los largueros preesforzados de sección "T", que a su vez soportan la cubierta metálica (que por lo general es de canaleta estructural o sistemas similares con o sin capas de aislante térmico). Dependiendo de la capacidad hidráulica y juntas del sistema de cubierta empleado, se puede trabajar con pendientes de techo de entre un 6 % y un 14 %. Si se emplea el sistema con vigas de alma abierta, se requiere fijar la pendiente a un 14 %. La cubierta de techo descansa en sus puntos más bajos en vigas canoa, que cumplen una doble función como canoas y como vigas de amarre del sistema estructural.

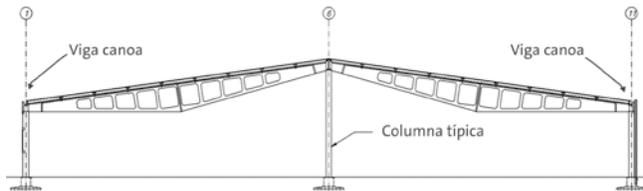


Figura 10.3 Marco típico con vigas de alma abierta y pendiente del 14% en techos

### Conexiones viga-columna

Holcim Modular Solutions ha demostrado, mediante pruebas estructurales de nudos viga-columna realizadas en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), que las uniones viga-columna con base en elementos prefabricados detalladas adecuadamente pueden alcanzar ductilidades iguales o superiores a las estructuras coladas en sitio, con niveles de daño consistentemente menores. La experiencia a nivel mundial respalda estos resultados.



Figura 10.4 Prueba estructural de nudo viga-columna

En el caso de las naves industriales de la empresa, el diseñador puede emplear ductilidades globales como las especificadas por el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (2011) para estructuras de concreto reforzado.

El buen comportamiento de las conexiones sencillas en concreto contrasta con el complicado detallado que se requiere para garantizar conexiones apropiadas en sistemas compuestos por elementos de acero estructural. Es fundamental rigidizar el diafragma flexible de techo mediante tensores de techo.

### Diafragmas de entrepiso

Cuando se proyectan mezzanines, es importante tomar en cuenta que los diafragmas compuestos por entrepisos prefabricados y sobrelosa colada en sitio pueden ser considerados diafragmas rígidos. Como en todo diafragma, su resistencia debe ser verificada con los métodos establecidos en el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (2011) o en el ACI 318S-14.

## 10.4 Ayudas de diseño para naves industriales

### Tipologías constructivas básicas

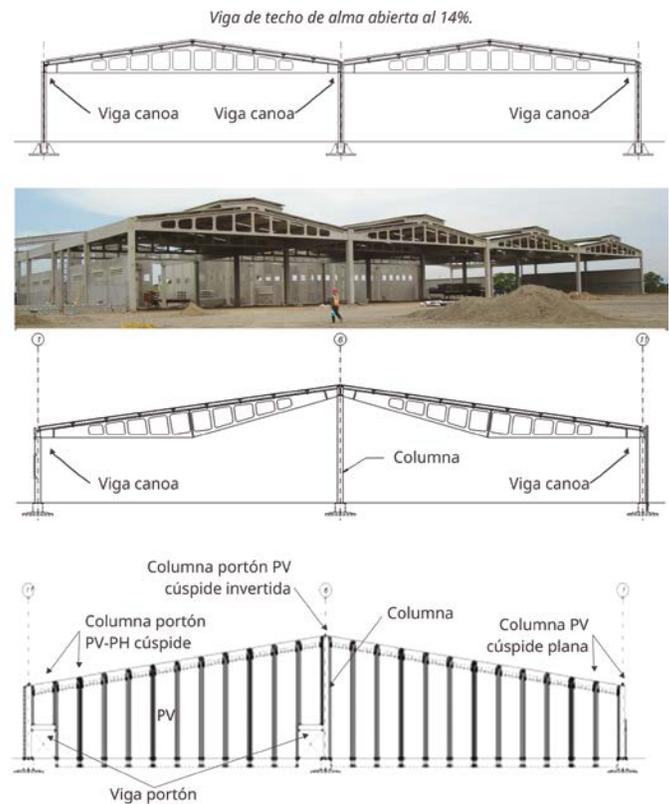


Figura 10.5 Nave industrial con luces de hasta 31 m y marcos cada 12 m



Figura 10.6 Nave industrial con luces de hasta 31 m y marcos cada 12 m, con viga de techo de alma abierta en colocación invertida y paneles verticales de cerramiento en los ejes externos



Figura 10.7 Nave industrial con luces de hasta 31 m y marcos cada 12 m, con viga de techo de alma llena invertida y Lex-panel como cerramiento en los ejes de amarre

A continuación, se presentan los principales elementos que conforman el sistema de naves industriales, con ayudas de diseño y detalles pertinentes para la proyección de estructuras.

### Placas de fundación

Las placas de fundación son elementos capaces de transmitir las cargas axiales, los cortantes y los momentos flectores al suelo. Se fabrican en sección variable de 15 cm a 30 cm de espesor. Sus dimensiones se han estandarizado y se muestran en la figura 10.8.

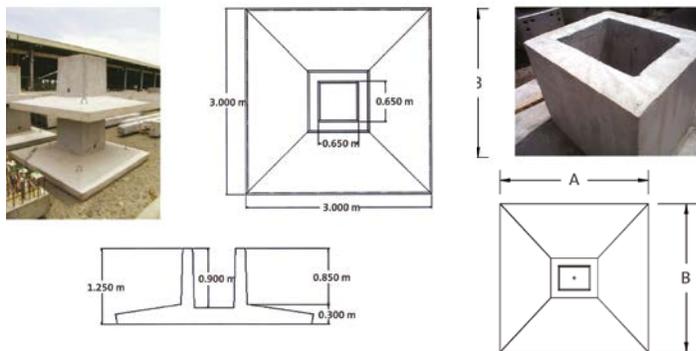


Figura 10.8 Dimensiones de placas de fundación

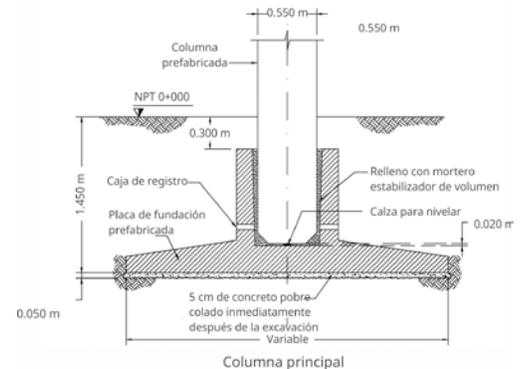
Tabla 10.1 Geometrías disponibles para la loza de la placa				
A (m)	B (m)	Ap (m²)	S1 (m³)	S2 (m³)
1.80	1.80	3.24	0.97	0.97
2.10	2.10	4.41	1.54	1.54
2.40	2.40	5.76	2.30	2.30
2.70	2.70	7.29	3.28	3.28
3.00	3.00	9.00	4.50	4.50
2.10	2.40	5.04	1.76	2.02
2.40	2.70	6.48	2.59	2.92
2.70	3.00	8.10	3.65	4.05

Ap = Área de la placa S1 = Módulo de sección, dirección corta  
S2 = Módulo de sección, dirección larga

**Advertencia:** Las tablas y figuras siguientes constituyen ayudas de diseño para el dimensionamiento preliminar. Es responsabilidad del diseñador estructural la revisión de demandas ante carga laterales de viento y sismo, así como la verificación de los desplazamientos laterales permitidos. Entre sus opciones, el diseñador puede incorporar al sistema paneles verticales que actúen como muros estructurales prefabricados en aquellos puntos donde lo juzgue apropiado.

En las naves industriales de concreto es usual y conveniente que los apoyos al terreno sean empotrados. Por lo tanto, se requiere una conexión de momento entre las columnas y las placas de fundación, que se logra a través de un manguito o especie de candelero previsto en la placa en el que se inserta la columna. La junta se llena con concreto fluido al que se le adiciona un aditivo estabilizador de volumen. Alternativamente, puede emplearse una conexión húmeda ciega (capítulo 11, sobre edificios prefabricados).

Las dimensiones B x L de las placas de fundación dependerán de la capacidad soportante del suelo y de las fuerzas que transmite la estructura. Serán críticas las combinaciones de carga que induzcan altas cargas axiales, altos momentos flexionantes en combinación con altas cargas axiales y altos momentos flexionantes en combinación con bajas cargas axiales (volteo).



Columna principal

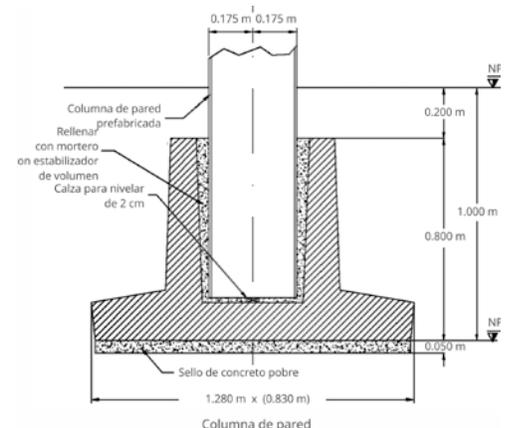


Figura 10.9 Detalle típico de fundación con placa prefabricada para nave industrial

Una vez establecidas las dimensiones de las placas, se puede usar la tabla 10.2 para determinar si las placas estándar pueden resistir las fuerzas internas de: a) flexión de la losa, b) cortante en la losa y c) capacidad por punzonamiento. En caso de que la capacidad a flexión sea insuficiente, pueden construirse placas con mayores cuantías de acero longitudinal. En naves industriales rara vez se controlan los criterios de punzonamiento.

Tabla 10.2 Capacidades de las placas estándar					
Sección de la columna	Ancho externo del manguito (cm)	Largo externo del manguito (cm)	Capacidad máxima a flexión de la losa $\phi M_n$ (T-m/m)	Capacidad a cortante por punzonamiento $\phi V_n$ (Ton)	Capacidad máxima a cortante de la losa $\phi V_n$ (Ton/m)
40 x 40	80	80	9.28	122	14.5
40 x 55	80	95	9.07	128	14.1
55 x 55	95	95	9.07	136	14.1

*La resistencia de las placas es de  $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ . Las capacidades a flexión y cortante de la losa se dan en la cara del manguito. Se emplean factores de reducción de carga de 0,9 para flexión y 0,75 para cortante. El espesor de la placa y su refuerzo corresponden al diseño estándar.*

### Columnas

Las columnas pueden considerarse como elementos de ductilidad local moderada u óptima. La unión con la viga de techo y con las vigas de amarre constituye una conexión húmeda según el apartado 12.4b del CSCR-2010.

Las columnas de naves industriales con frecuencia tienen cargas axiales bajas, por lo que se comportan esencialmente como vigas, según la definición del CSCR-2010. Las dimensiones de las columnas están sobre todo por aspectos constructivos (dimensiones mínimas del nudo para la instalación de las vigas) y por las limitaciones a los desplazamientos laterales producidos por las acciones sísmicas.



Figura 12.10 Columnas llenas sin llaves y columnas sección I (con llaves)

Como cada vez son más frecuentes las altas cargas de techo, en la figura 10.11 se presentan diagramas de interacción para columnas de 40 x 40 cm, 40 x 55 cm y 55 x 55 cm de sección llena. Cuando se emplean paneles horizontales no estructurales, las columnas se fabrican con una llave que permite la inserción de estos elementos.

Estos diagramas de interacción pueden usarse en forma segura para predecir la capacidad a flexión de columnas con llaves (sección I), si las cargas axiales son bajas. Cuando se comporten como columnas, rara vez se requerirán cuantías de acero superiores al 1-2 %.

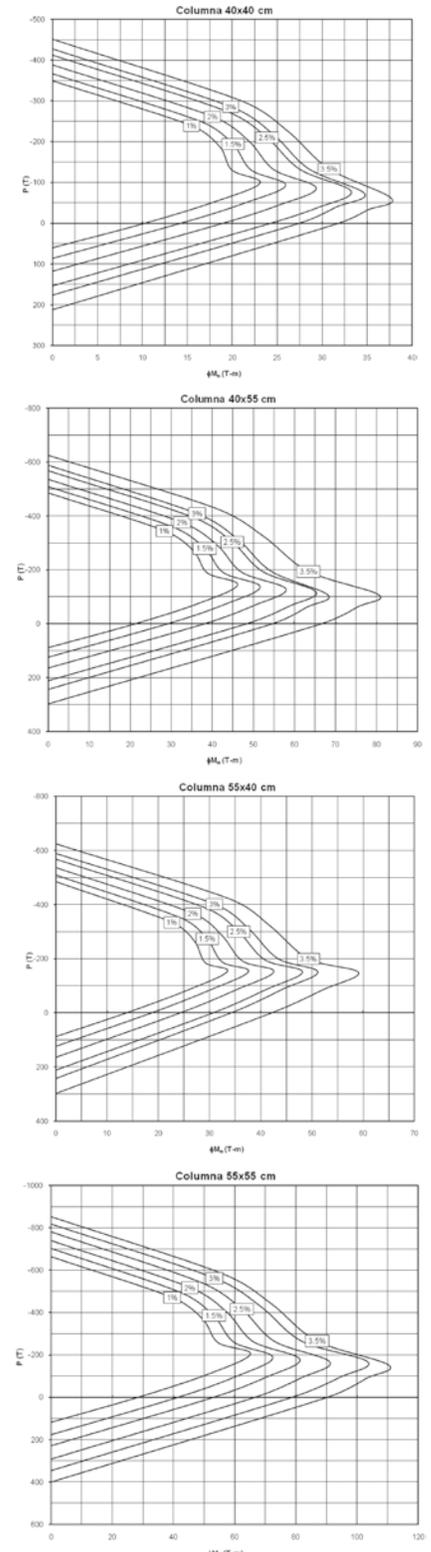


Figura 10.11 Diagramas de interacción para columnas según cuantía de acero

Las columnas pueden construirse con ménsulas para el soporte de vigas que permiten el tránsito de grúas viajeras. Las secciones estándar de columna se muestran en la tabla 10.3.

Tabla 10.3 Secciones estándar de columnas							
Elemento	Sección transversal	Propiedades de la sección			Especificación		
		Área transversal $A_c$ (cm <sup>2</sup> )	Inercia $I_{xx}$ (cm <sup>4</sup> )	Ubicación del centroide $Y_c$ (cm)	Resistencia a compresión $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso por metro lineal (kg/m)	
Columnas (C)	0.40 x 0.55 m		2200	$I_{xx} = 5.55 \times 10^5$	$x_c = 20.0$	350	550
				$I_{yy} = 2.93 \times 10^5$	$y_c = 27.5$		
	0.55 x 0.55 m		3025	$I_{xx} = 7.63 \times 10^5$	$x_c = 27.5$	350	756
				$I_{yy} = 7.63 \times 10^5$	$y_c = 27.5$		
	De pared		700	$I_{xx} = 7.15 \times 10^5$	$x_c = 10.0$	350	175
				$I_{yy} = 2.33 \times 10^5$	$y_c = 17.5$		
		502	$I_{xx} = 6.70 \times 10^5$	$x_c = 10.0$	350	126	
			$I_{yy} = 1.30 \times 10^5$	$y_c = 17.5$			

Dependiendo de la tipología constructiva (con viga de techo colocada normalmente o en forma invertida), las columnas pueden tener una cúspide plana o una cúspide invertida, como se muestra en la figura 10.12.

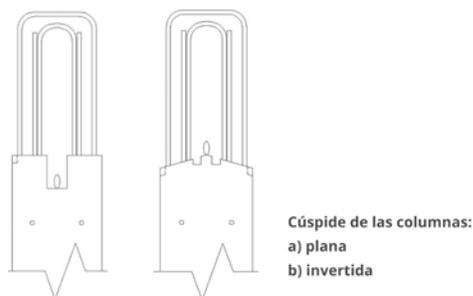
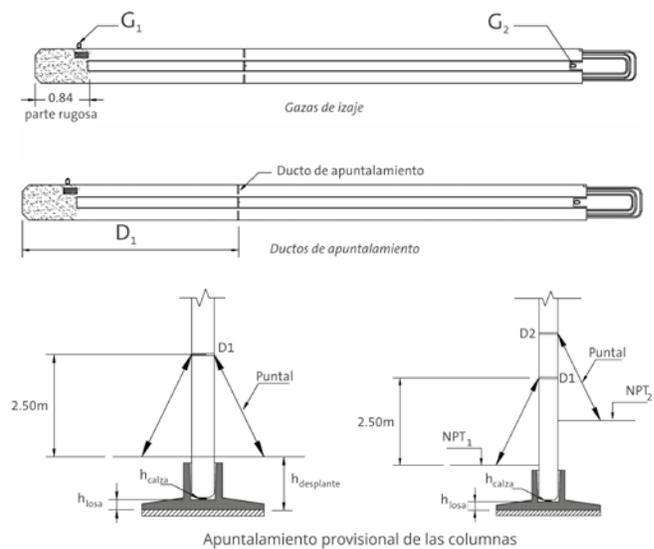


Figura 10.12 Cúspide de las columnas

En la figura 10.13 se presentan los accesorios estándar para columnas: gazas para el izaje y ductos u otros dispositivos para el apuntalamiento temporal.



Las posiciones de los ductos y gazas son establecidas según se requiera en el proyecto específico, e indicadas en los planos de taller de las columnas

Figura 10.13 Accesorios para izaje y apuntalamiento provisional de las columnas

El acabado de las columnas es rugoso en la base, para mejorar la adherencia entre ellas y el concreto de relleno de los manguitos de las placas prefabricadas.



Figura 10.14 Acabado rugoso de la base de la columna

### Vigas de techo de alma abierta

La viga de techo de alma abierta es un elemento muy versátil y eficiente desde el punto de vista estructural y tiene un gran valor estético.

Las vigas de techo se pueden disponer en diferentes orientaciones, según las necesidades de cada proyecto. Puede colocarse en posición normal o en forma invertida, de tal manera que se eliminen las canoas internas o se reduzca su cantidad. Siempre se emplea una pendiente de techo de un 14 % cuando el alma es abierta.

En caso de ser necesario, debido al uso mixto de las instalaciones u otras razones, las vigas pueden ser rellenas. En este caso, y si la lámina de techo seleccionada lo permite, pueden utilizarse pendientes de techo aún menores.



Figura 10.15 Viga de techo de alma abierta (Virendel)

Tabla 10.4 Geometría de los elementos de viga de techo alma abierta						
Cuerda superior					Cuerda inferior	
Ancho ala (m)	Espesor alma (m)	Altura ala (m)	Altura en transición (m)	Altura total (m)	Ancho (m)	Altura (m) 0.20 y 0.30
0.50	0.12	0.08	0.05	0.35		

La altura cambia a 0.30 m cuando a VT es de 24 m o mayor

La viga de alma abierta permite resolver luces desde los 18 m hasta los 31 m. Las geometrías de este tipo de vigas se muestran en las tablas 10.5 y 10.6. Para luces superiores a los 24 m se utilizan bracones para la estabilización lateral de la cuerda inferior (figura 10.16). La cuerda inferior de la viga de techo se postensa antes del montaje y se diseña para que se mantenga sin agrietamiento, incluso para las cargas del servicio.

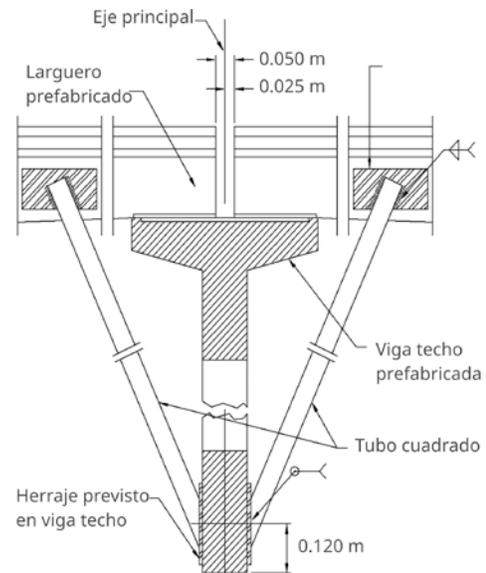


Figura 10.16 Detalle de instalación de bracones al centro del claro para luces mayores que 24 m

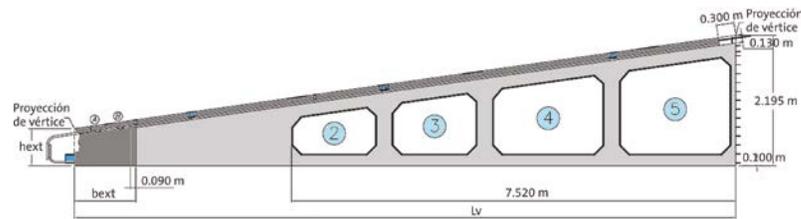
Las vigas de techo usualmente se transportan en mitades y son ensambladas y postensadas en sitio, como se muestra en la figura 10.17.

La viga de techo de alma abierta posee varillas de refuerzo en los extremos, según sea necesario, para realizar una conexión húmeda con las columnas como se muestra en los detalles de conexión de la figura 10.19.

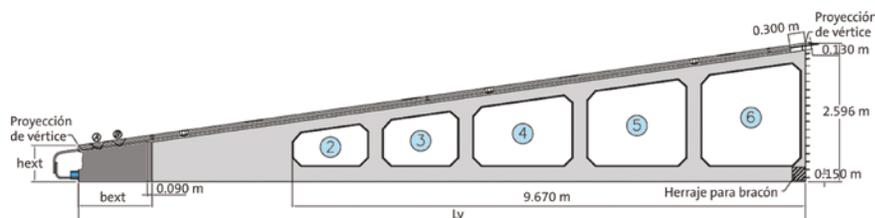
**Tabla 10.5 Familias de vigas de alma abierta para su colocación en posición normal**

Se consideran a) una junta central de 20 cm, b) columnas de 55 cm de ancho y c) apoyo de 2.5 cm dentro de la columna

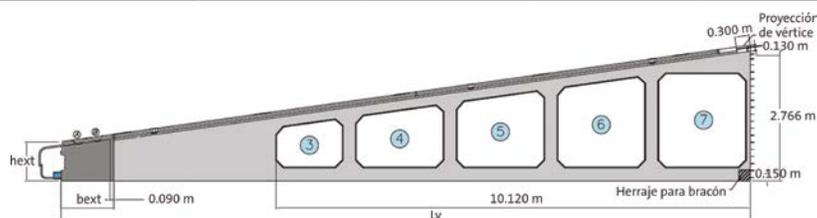
Familia de vigas	Altura máxima (m) Al centro, constante en la familia	Luz c.a.c. de columnas (m)	Altura de la cuerda inferior (m)	Luz libre (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	hext: Altura en el extremo (m)	bext: Longitud del bloque extremo (m)
Orientación normal Familia 20 a 23 m	2.195	20	0.20	19.45	9.7	0.837	0.415
		21	0.20	20.45	10.2	0.767	0.915
		22	0.20	21.45	10.7	0.697	1.415
		23	0.20	22.45	11.2	0.627	1.025



Familia de vigas	Altura máxima (m) Al centro, constante en la familia	Luz c.a.c. de columnas (m)	Altura de la cuerda inferior (m)	Luz libre (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	hext: Altura en el extremo (m)	bext: Longitud del bloque extremo (m)
Orientación normal Familia 24 a 28 m	2.596	24	0.30	23.45	11.7	0.837	0.415
		25	0.30	24.45	12.2	0.767	0.915
		26	0.30	25.45	12.7	0.697	1.415
		27	0.30	26.45	13.2	0.627	1.025
		28	0.30	27.45	13.7	0.678	1.375



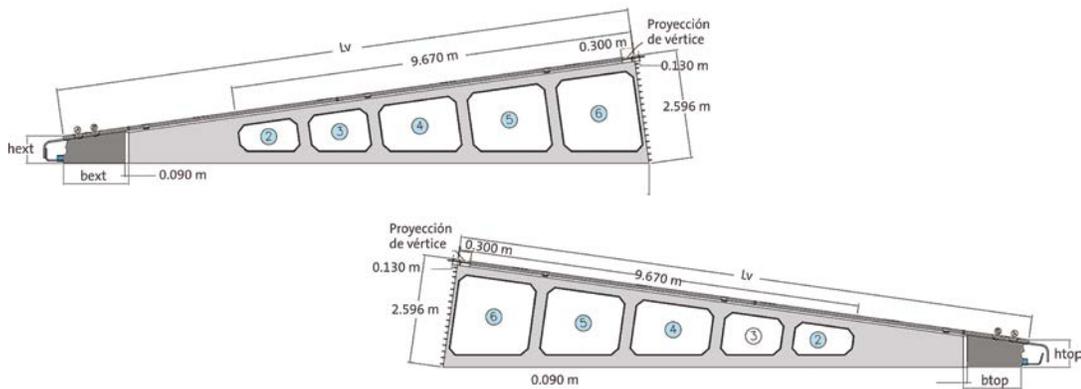
Familia de vigas	Altura máxima (m) Al centro, constante en la familia	Luz c.a.c. de columnas (m)	Altura de la cuerda inferior (m)	Luz libre (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	hext: Altura en el extremo (m)	bext: Longitud del bloque extremo (m)
Orientación normal Familia 20 a 23 m	2.766	29	0.30	28.45	14.2	0.778	0.63
		30	0.30	29.45	14.7	0.708	1.13
		31	0.30	30.45	15.2	0.638	0.63



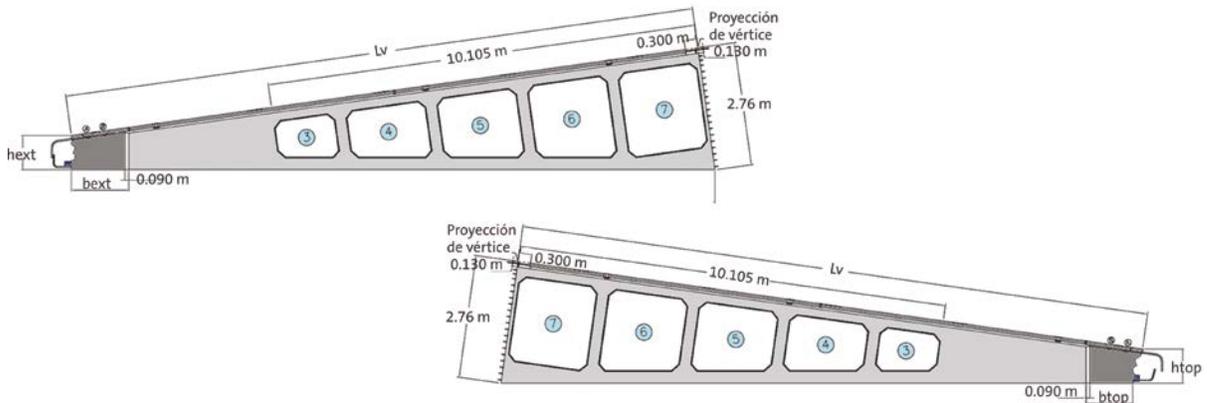
**Tabla 10.6 Familias de vigas de alma abierta para su colocación en posición invertida**

Se consideran a) una junta central de 10 cm, b) columnas de 55 cm de ancho y c) apoyo de 2.5 cm dentro de la columna

Familia de vigas	Altura máxima (m) al centro, constante en la familia	Luz c.a.c. de columnas (m)	Altura de la cuerda inferior (m)	Luz libre (inclinada) (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	bext: Longitud del bloque extremo (m)	hext: Altura en el extremo superior (m)	htop: Altura en el extremo superior (m)	btop: Longitud del bloque extremo (m)
Orientación invertida Familia 24 a 28 m	2.596	24	0.20	23.68	11.81	0.831	0.449	0.831	0.211
		25	0.20	24.69	12.32	0.761	0.949	0.761	0.731
		26	0.30	25.70	12.82	0.791	1.449	0.791	1.223
		27	0.30	26.71	13.33	0.721	1.059	0.721	0.853
		28	0.30	27.72	13.83	0.651	1.559	0.651	1.372



Familia de vigas	Altura máxima (m) al centro, constante en la familia	Luz c.a.c. de columnas (m)	Altura de la cuerda inferior (m)	Luz libre (inclinada) (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	bext: Longitud del bloque extremo (m)	hext: Altura en el extremo superior (m)	htop: Altura en el extremo superior (m)	btop: Longitud del bloque extremo (m)
Orientación invertida Familia 29 a 31 m	2.766	29	0.30	28.73	14.34	0.877	0.834	0.877	0.584
		30	0.30	29.74	14.84	0.807	1.334	0.807	1.104
		31	0.30	30.75	15.35	0.737	0.834	0.617	0.630



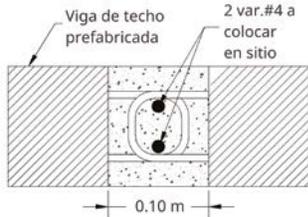


Figura 10.17 Ensamblaje y postensado en sitio

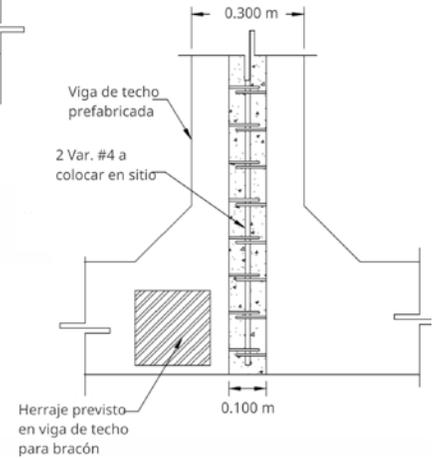
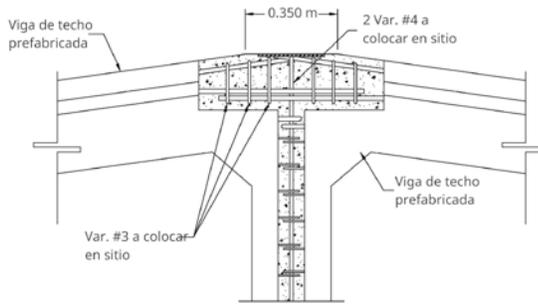


Figura 10.18 Detalle de unión central de las vigas alma abierta

### Vigas de techo de alma llena

La viga de techo de alma llena o cerrada es conveniente cuando el uso de la nave industrial implica particiones livianas ubicadas sobre los ejes de los marcos. Mediante el uso de esta viga se reduce el área a cerrar, así como la necesidad de cerrar los buques que existen en la viga de alma abierta.

Esta viga de techo permite bajar las pendientes de techo a 6 %. En dicho caso, el diseñador debe seleccionar un tipo de lámina adecuado para la pendiente y longitud de techo de tal manera que inhiba las filtraciones. La lámina de techo debe sellar adecuadamente y tener una capacidad hidráulica apropiada.

Además, cuando las pendientes son bajas, la succión ocasionada por el viento se vuelve crítica y puede ocasionar el barrido de los tornillos de fijación de la lámina.

Por todo esto, cuando se empleen vigas de alma llena con pendientes bajas, se recomienda usar las láminas de tipo cosido con conexión mediante clips.

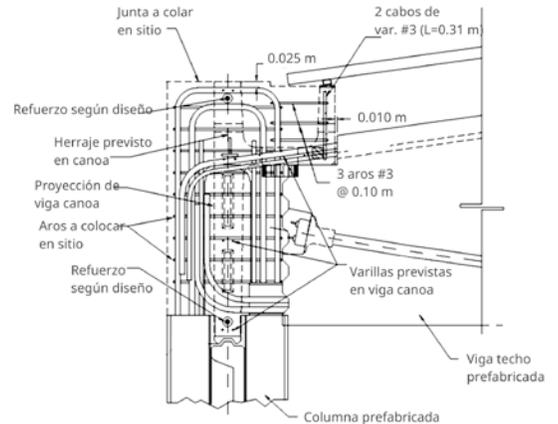
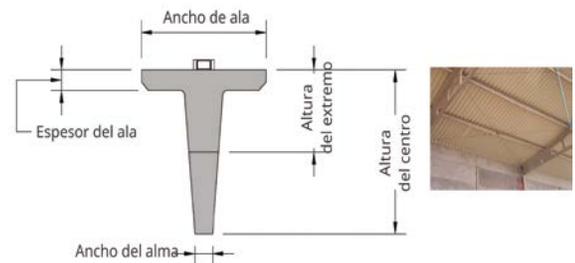


Figura 10.19 Conexión viga-columna típica

### Largueros

Los largueros son elementos de concreto pretensado de sección variable "T" altamente optimizados para distancias entre marcos de 12 m, separaciones de 3,00 m a 3,42 m y cargas normales (hasta 35 kg/m de sobrecarga permanente y 40 kg/m de carga temporal).

Por lo general se emplean con láminas de techo del tipo canaleta estructural o bandeja cosida con o sin asilamiento. Pueden utilizarse en luces menores si resulta necesario. Se pueden diseñar para cargas mayores cuando así se requiera.



Dimensiones (m)	Extremo	Centro
Altura	0.20	0.40
Ancho del alma	Variable	0.05
Ancho del ala	0.35	0.35
Espesor del ala	0.05	0.05

Figura 10.20 Dimensiones de los largueros

**Tabla 10.7 Familia de vigas de alma alma cerrada para su colocación en posición normal**

Familia de vigas	Altura máxima (m) al centro, constante en la familia	Luc c.a.c. de columnas (m)	Luz libre (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	hext: Altura en el extremo (m)
Orientación normal Familia 15 a 18 m	1.25	15	14.45	7.2	0.818
		16	15.45	7.7	0.788
		17	16.45	8.2	0.758
		18	17.45	8.7	0.728
Orientación normal Familia 19 a 23 m	1.40	19	18.45	9.2	0.848
		20	19.45	9.7	0.818
		21	20.45	10.2	0.788
		22	21.45	10.7	0.758
		23	22.45	11.2	0.728
Orientación normal Familia 24 a 28 m	1.55	24	23.45	11.7	0.848
		25	24.45	12.2	0.818
		26	25.45	12.7	0.788
		27	26.45	13.2	0.758
		28	27.45	13.7	0.728
Orientación normal Familia 29 a 31 m	1.70	29	28.45	14.2	0.848
		30	29.45	14.7	0.818
		31	30.45	15.2	0.788

**Tabla 10.8 Familia de vigas de alma alma cerrada para su colocación en posición invertida**

Familia de vigas	Altura máxima (m) al centro, constante en la familia	Luc c.a.c. de columnas (m)	Luz libre (m)	Lv: Longitud de la viga (m)	hext: Altura en el extremo (m)	htop: Altura en el extremo superior (m)
Orientación normal Familia 15 a 18 m	1.25	15	14.48	7.21	0.812	0.818
		16	15.48	7.71	0.782	0.788
		17	16.48	8.21	0.752	0.758
		18	17.48	8.72	0.722	0.727
Orientación normal Familia 19 a 23 m	1.40	19	18.48	9.22	0.842	0.848
		20	19.48	9.72	0.812	0.818
		21	20.49	10.22	0.782	0.788
		22	21.49	10.72	0.752	0.758
		23	22.49	11.22	0.722	0.727
Orientación normal Familia 24 a 28 m	1.55	24	23.49	11.72	0.842	0.848
		25	24.49	12.22	0.812	0.818
		26	25.50	12.72	0.782	0.788
		27	26.50	13.22	0.752	0.758
		28	27.50	13.72	0.722	0.727
Orientación normal Familia 29 a 31 m	1.70	29	28.50	14.23	0.842	0.848
		30	29.50	14.73	0.812	0.818
		31	30.50	15.23	0.782	0.788

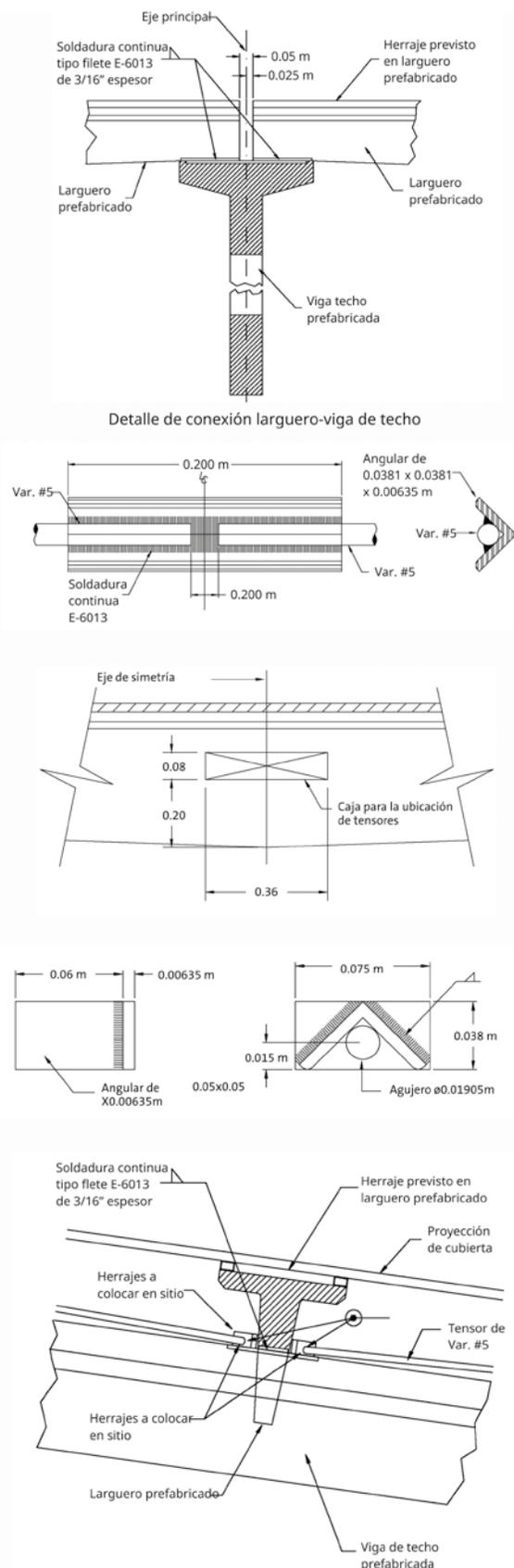


Figura 10.21 Detalle de conexiones de largueros y tensores

Los principales accesorios de los largueros son uno o dos tubos industriales instalados en su ala, para la conexión con la cubierta de techo, y cajas o aberturas en aquellos largueros que se ubican entre los tensores de techo, para que estos puedan pasar sin problemas entre ellos.

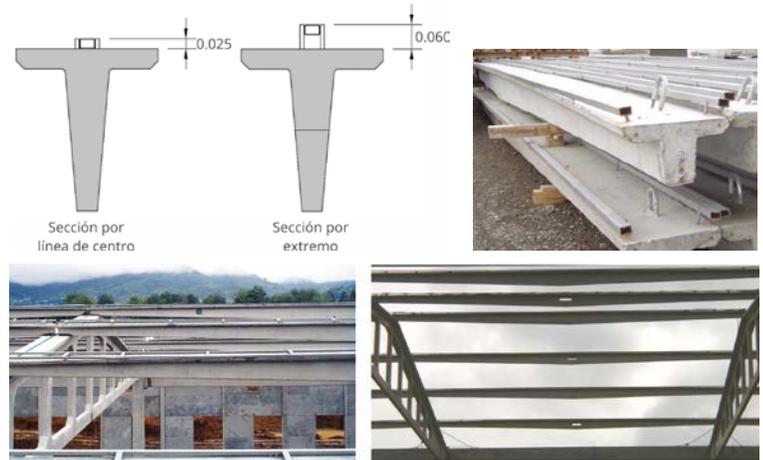


Figura 10.22 Detalles de ubicación del tubo industrial para la lámina de techo

### Viga canoa

La viga canoa cumple una doble función, pues también funciona como viga de amarre estructural. Es un elemento pretensado que se mantiene en compresión para las cargas de servicio. Esto le proporciona mayor rigidez que un elemento reforzado y además impide las filtraciones del agua que canaliza. Incluye previstas para la conexión de los bajantes.

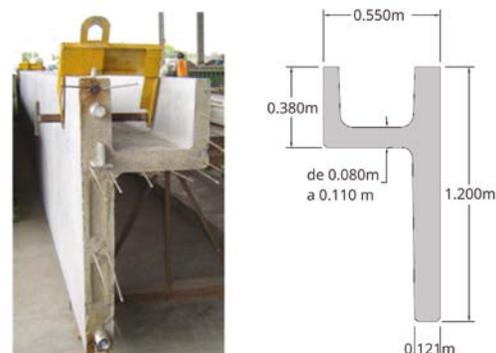


Figura 10.23 Vista transversal de la viga canoa

### Viga de amarre

Las vigas de amarre se utilizan cuando la viga de techo se coloca invertida para amarrar los marcos en su cumbrera. En estos casos, usualmente es necesario usar vigas de amarre cerca de las cumbreras de los pórticos para controlar los desplazamientos producto de cargas sísmicas. Las vigas de amarre son elementos reforzados sección I.

### Columna de pared

Las columnas de pared se utilizan cuando se requiere emplear paneles horizontales de 6 m de longitud o bien para crear buques de portones en paredes de este tipo de paneles. Son un elemento auxiliar para el soporte lateral de los paneles. Se insertan en una placa de fundación y se conectan a la viga de amarre o a la viga canoa.

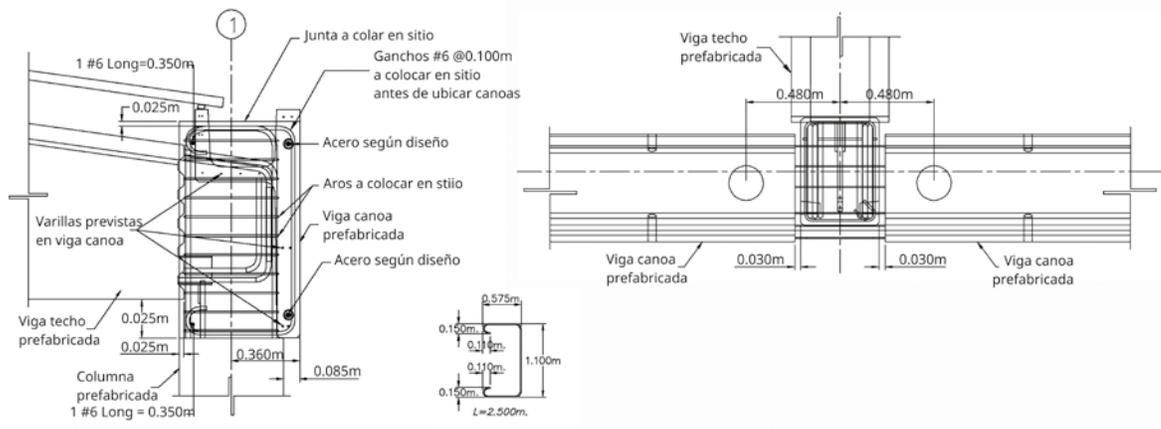


Figura 10.24 Detalles típicos de conexión viga canoa - columna

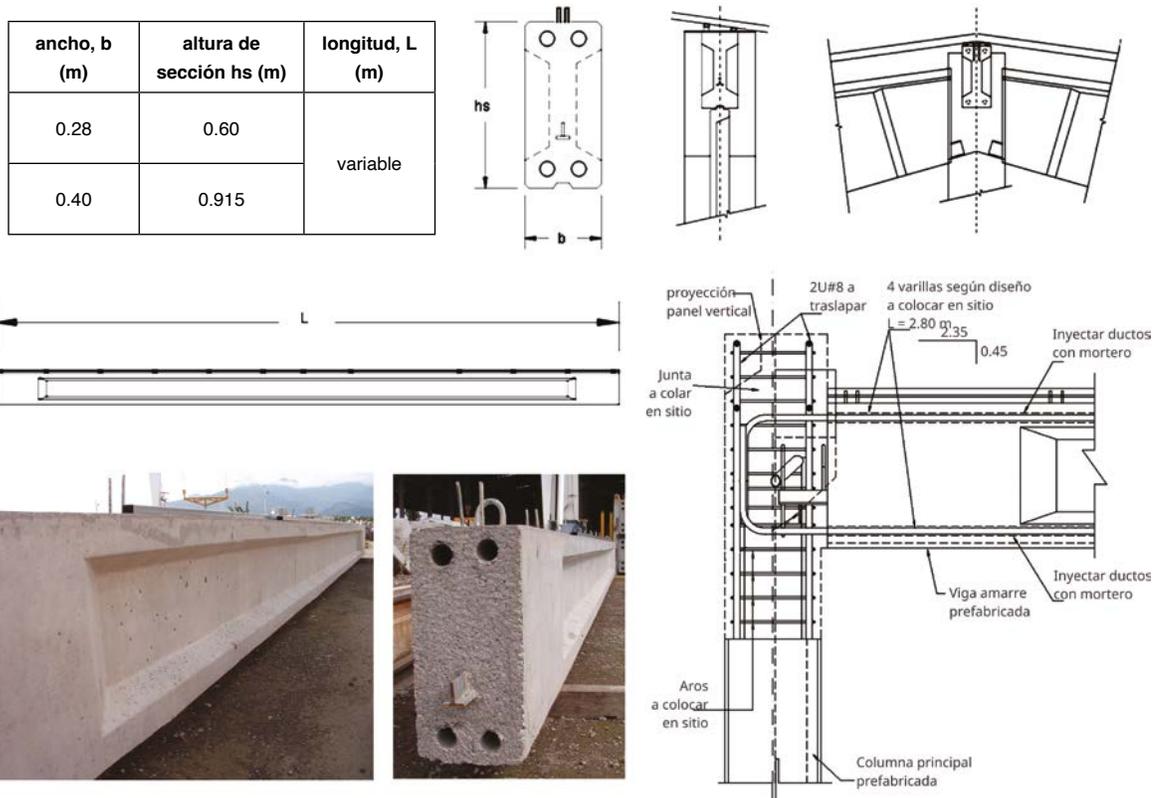


Figura 10.25 Detalles de vigas de amarre

### Viga portón

La viga portón se emplea en conjunto con los paneles verticales para hacer aberturas en las paredes de más de 2,30 m de ancho utilizados para accesos y portones. Se une a los nervios de los paneles adyacentes a través de una conexión húmeda colada en sitio.

Sobre la viga portón se colocan más paneles verticales para conformar el dintel y pueden fijarse a la viga portón usando conexiones soldadas o húmedas mediante acero de refuerzo en ductos.

### Viga carrilera

La viga carrilera se fabrica en longitudes de hasta 12 m. Es una viga especialmente diseñada para soportar el tránsito de grúas viajeras. Se coloca simplemente apoyada en ménsulas previstas en las columnas.

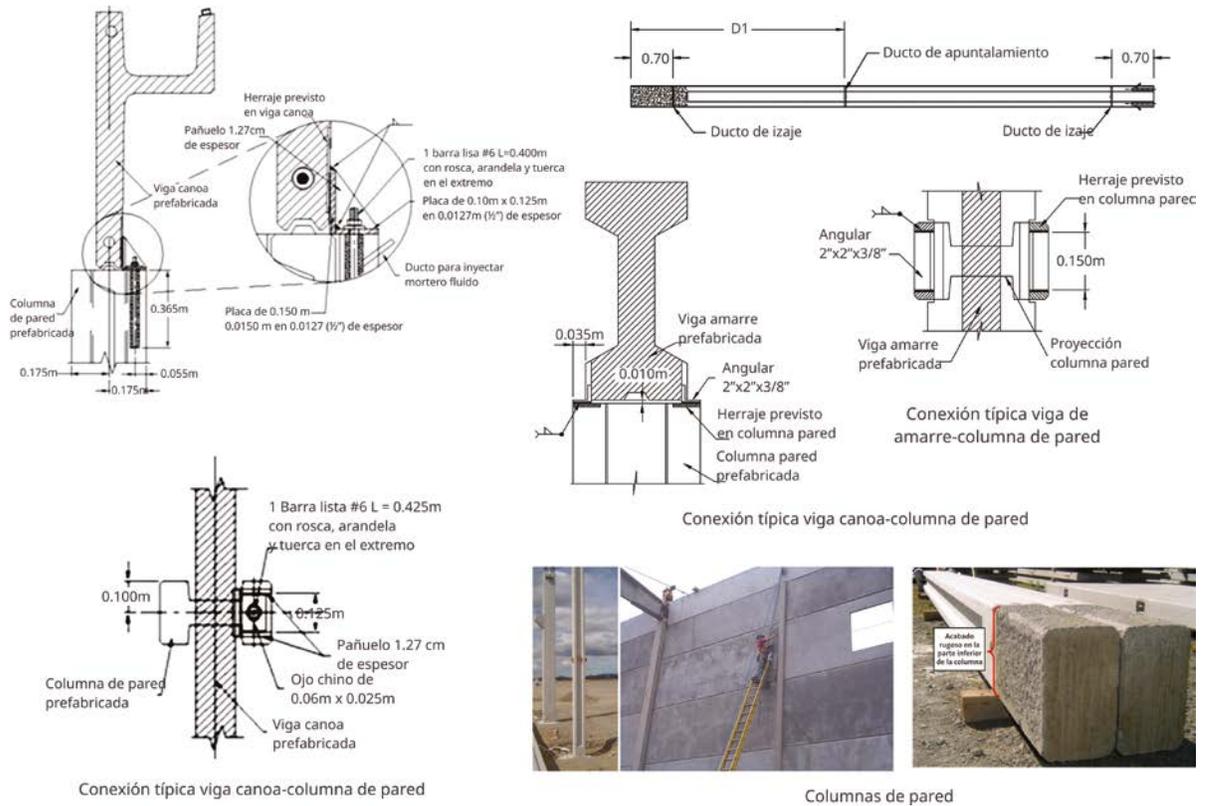


Figura 10.26 Detalles de columnas de pared

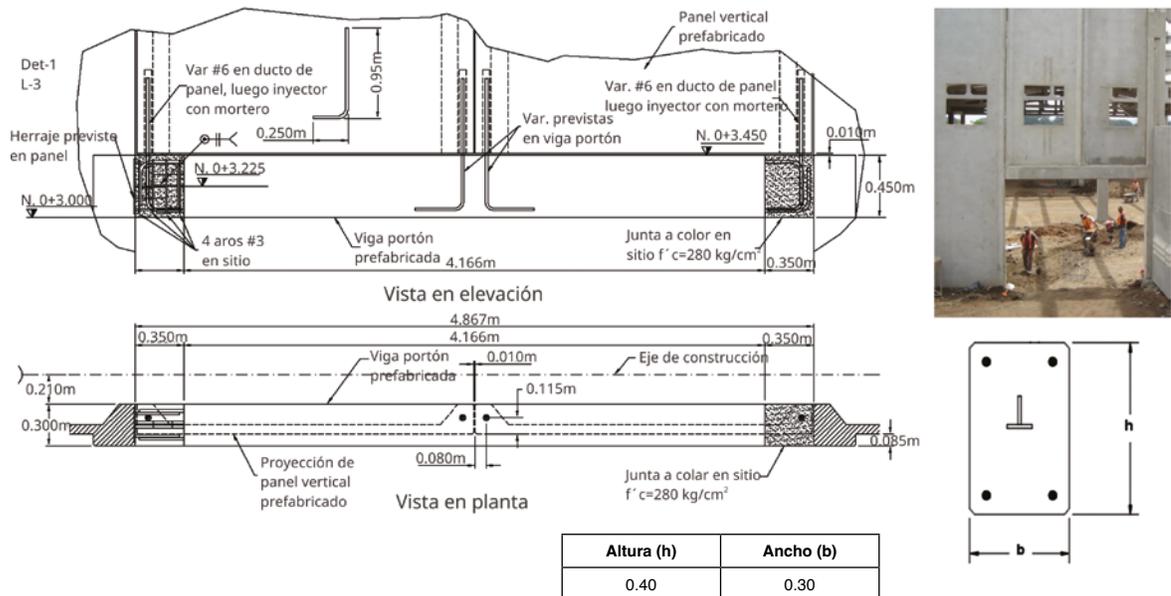
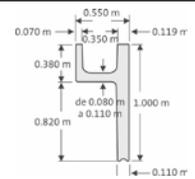
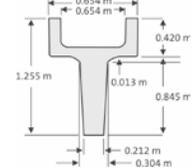
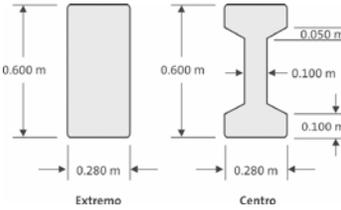
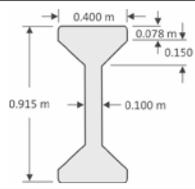
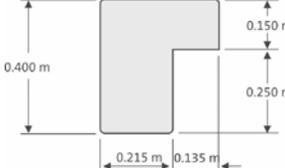
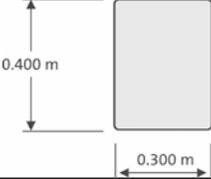
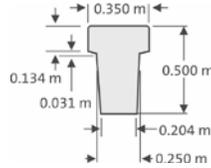
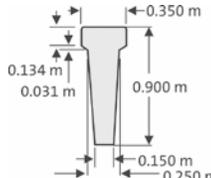


Figura 10.27 Detalle de viga portón



Figura 10.28 Viga carrilera

Tabla 10.9 Secciones estándar de vigas para naves industriales

Elemento	Sección transversal	Propiedades de la sección			Especificación		
		Área transversal $A_c$ (cm <sup>2</sup> )	Inercia $I_{xx}$ (cm <sup>4</sup> )	Ubicación del centroide $y_c$ (cm)	Resistencia a compresión $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso por metro lineal (kg/m)	
Vigas (V)	Viga canoa (VCa)		2058	$2.27 \times 10^6$	69.7	700	515
			4179	$4.60 \times 10^6$	70.3	700	293
	De amarre (VA)		$A_{\text{centro}} = 1050$	$I_{\text{centro}} = 4.38 \times 10^5$	$y_{\text{centro}} = 30.0$	350	341
			$A_{\text{extremo}} = 1050$	$I_{\text{centro}} = 5.04 \times 10^5$	$y_{\text{extremo}} = 30.0$		
			1833	$1.95 \times 10^6$	45.75	350	458
	Ménsula (VM)		1063	$1.44 \times 10^5$	22.4	350	266
	Portón (VP)		1200	$1.60 \times 10^5$	20	350	300
Carrilera (Vc)		1232	$2.47 \times 10^5$	29	350	308	
		2032	$1.40 \times 10^6$	51.5	350	508	

### Paneles horizontales

Los paneles horizontales (PH) son elementos pretensados nervados, que pueden emplearse en luces de hasta 12,5 m como cerramiento no estructural paralelo a los marcos de amarre. Se colocan superpuestos apoyados en las llaves previstas en las columnas. Se fabrican en anchos de 2,31 m y 2,44 m. Pueden elaborarse con anchos menores (de ajuste) si es necesario para completar la modulación (capítulo 7, sobre paneles y fachadas).

### Paneles Lex-panel

Los paneles horizontales con base en Losa Lex son elementos pretensados alveolares, que pueden utilizarse en luces de hasta 12,5 m como cerramiento no estructural paralelo a los marcos de amarre. Se colocan superpuestos apoyados en las llaves previstas en las columnas. Se fabrican en un ancho de 1,22 m, aunque pueden elaborarse con anchos menores (de ajuste) si resulta necesario para completar la modulación (capítulo 7, sobre paneles y fachadas).

### Paneles verticales

Los paneles verticales se fabrican con alturas de hasta 18 m y poseen la misma sección transversal de los paneles horizontales. Se colocan e integran a una placa de fundación corrida colada in situ. Se pueden emplear como cerramiento o integrarse a la estructura cuando resulte necesario. Poseen una ménsula para el apoyo de los largueros cuando se usan en los ejes externos de los marcos de carga (capítulo 9, sobre paneles y fachadas).

Los paneles pueden colocarse con las nervaduras hacia afuera o hacia adentro para lograr acabados de fachada arquitectónica. Cuando las nervaduras se colocan hacia adentro se requiere un elemento auxiliar que actúe como ménsula para los largueros (viga ménsula). Los paneles pueden producirse con puertas y ventanas pequeñas de hasta 1,2 m de ancho.

*Importante: en caso de requerirse el uso de buques, éstos deberán ser entre nervaduras. Si se requieren de mayor tamaño, se debe emplear una viga portón. Es recomendable que el ancho del buque sea en múltiplos del ancho del panel.*

### Viga ménsula

La viga ménsula es una pieza auxiliar de concreto reforzado, que se usa para el soporte de los largueros en las paredes de panel vertical cuando éste se emplea con las nervaduras hacia adentro. Alternativamente, puede usarse una viga de techo de alma abierta o cerrada.



Figura 10.29 Vigas ménsula con la unión sin colar. Se nota la pendiente del 14% para la cubierta de techo.

Otros elementos que pueden adaptarse al sistema son:

- Muros de retención para andén en Losa Lex (capítulo 8).
- Entrepisos para andén (vigas, columnas y vigueta o Losa Lex, capítulo 6).
- Fundaciones profundas prefabricadas, como pilotes (capítulo 3).
- Monitores de concreto como el que se muestra en la siguiente fotografía.



Figura 10.30 Uso de monitores de concreto en nave industrial Durman Esquivel, Coyol de Alajuela

## 10.5 La construcción de naves industriales

### Transporte, manipulación, almacenamiento y montaje

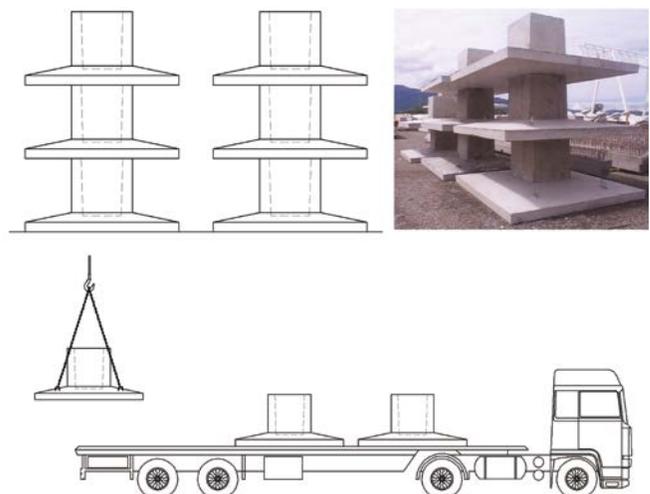


Figura 10.31 Almacenamiento e izaje de placas de fundación



Figura 10.32 Instalación de placas: a) Trazado b) Excavación c) Revisión de niveles d) Sello de concreto pobre e) Montaje y f) Compactación

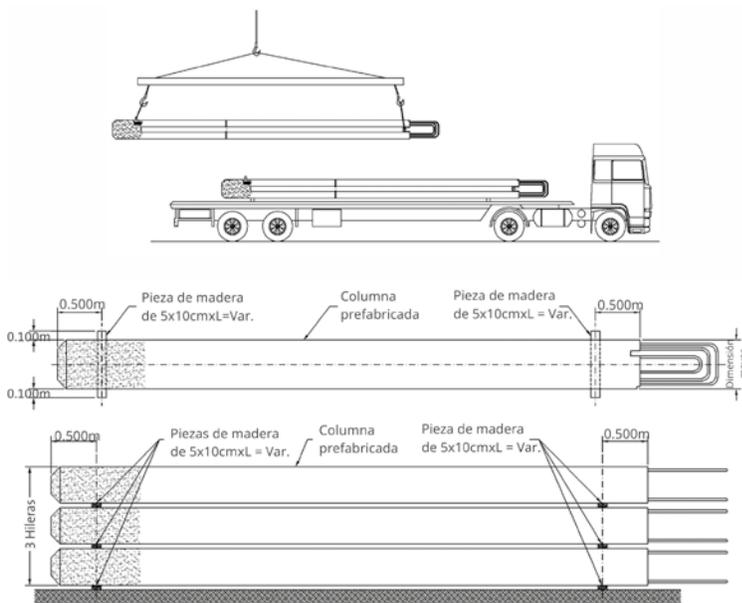


Figura 10.33 Almacenamiento e izaje de columnas

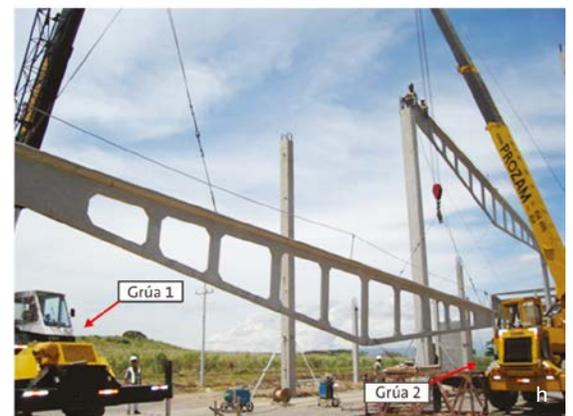


Figura 10.34 Almacenamiento e izaje de columnas

Instalación de columnas: a y b) Izaje c) Inserción d) Calzas para verticalidad e) Revisión del plomo g) Alineado de las vigas de techo en sitio para el colado de la junta central y postensado. h) Izaje de las vigas de techo.

Como regla general, todos los elementos pre-esforzados de tipo viga (largueros, vigas de techo, canoas) siempre deben almacenarse y manipularse sin rotarlas, nunca en torno a su eje.