



CAPÍTULO 7

CERRAMIENTOS Y FACHADAS

Los paneles de concreto precolados permiten resolver de forma estética y rápida las necesidades de cerramiento y protección de espacios internos para proyectos industriales y comerciales.

Se pueden distinguir dos tipos de paneles para paredes: a) los de instalación vertical, que requieren de soporte o arriostramiento en su base y su borde superior; y b) los de instalación horizontal, que usualmente presentan una conexión machihembrada a elementos verticales de soporte.

Desde el punto de vista de diseño, pueden clasificarse como paneles estructurales (capaces de transmitir carga vertical o cargas laterales a la fundación) y paneles no estructurales (que por lo general solo deben soportar las acciones laterales ocasionadas por su propia área y masa). La metodología de diseño y el tipo de conexiones dependen del uso estructural que se les dé.

Desde el punto de vista arquitectónico, los paneles proporcionan bellas soluciones para la envolvente de edificios de varios pisos y naves industriales. Pueden fabricarse con textura y color integral, además en dimensiones estándar como las que se presentan en este manual o especiales para proyectos específicos.

La clave para la economía en una envolvente resuelta con paneles precolados está en la repetitividad y la modulación, de tal manera que se puedan optimizar los procesos en la línea de producción.

Advertencia: este capítulo no se refiere a paneles que deban funcionar como muros de retención. Para ese uso, refiérase al capítulo 8 de este manual. Los paneles aquí mostrados pueden ser empleados para retención de suelo en alturas pequeñas, pero usualmente requieren modificaciones a su refuerzo. Contacte al Departamento de Ingeniería de Holcim Modular Solutions para detalles sobre la solución específica de su proyecto.

Los sistemas de fachadas y paneles 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 controles y estándares de calidad, que además posibilitan el uso rutinario de concretos de alto desempeño, como: concretos de alta resistencia (CAD) de hasta $f'c = 700 \text{ kg/cm}^2$ para la reducción de las secciones o incremento de la rigidez y concretos autocompactantes (CAC) para la mejora de los acabados, optimización de las secciones, con resistencias de hasta $f'c = 800 \text{ kg/cm}^2$.
- Uso rutinario del concreto preesforzado para la solución económica de problemas difíciles de resolver con concreto reforzado: reducción de secciones, incremento de la capacidad a cortante, control de agrietamiento, control de rigidez y anclaje activo de los muros.
- Bajo costo de mantenimiento.
- Posibilidad de usar el concreto expuesto, lo cual elimina el costo de los acabados.
- Posibilidad de diseñar para cumplir con la normativa de resistencia al fuego.

Las conexiones entre los componentes prefabricados pueden hacerse 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.

Los sistemas de fachadas de Holcim Modular Solutions usualmente emplean conexiones secas para paneles no estructurales y conexiones de tipo húmedo para paneles estructurales (para detalles acerca de los tipos de conexiones, se recomienda ver el capítulo 11, sobre sistema de edificios prefabricados).

7.1 Materiales y componentes

- 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^2 para fundaciones reforzadas y de 350 kg/cm^2 para otros elementos reforzados. En el caso de los elementos

pretensados (con excepción de la Losa Lex), la resistencia a los 28 días es de 700 kg/cm². En el caso de la Losa Lex, la resistencia mínima a la compresión es de 420 kg/cm².

- Cemento: el cemento cumple con las especificaciones del Reglamento técnico de Cementos de Costa Rica RTCR 479:2015.
- Refuerzo: el acero de preesfuerzo cumple con las especificaciones ASTM A886 o ASTM A416 (Grado 270). El acero de refuerzo cumple con las especificaciones ASTM A706 y ASTM A615 y sus equivalentes en las normas nacionales INTECO.

7.2 Normativa vigente

- Código Sísmico de Costa Rica 2010 (CSCR-2010). (2011). Establece las cargas vivas mínimas y los requisitos sísmicos de diseño de componentes prefabricados, muros de corte y sistemas y componentes no estructurales.
- Código de Cimentaciones de Costa Rica. (2009). Establece los requisitos de diseño geotécnico de cimentaciones superficiales, cimentaciones profundas y muros de retención.
- 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/SEI/SFPE).
- Normas de la Sociedad Americana de Prueba de Materiales (ASTM).
- Normativa Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA).
- Manual de Diseño. Concreto prefabricado y preesforzado. (PCI Design Handbook) 7 ed. 2014. Chicago, Illinois. USA.



Figura 9.1 Edificio de la Clínica Bíblica, fachadas y estructuras prefabricadas

7.3 Criterios para uso y especificación

Los paneles de fachada suelen ser elementos esbeltos y de gran área. En general, las cargas más importantes para estos elementos son las perpendiculares al plano del panel. Los procesos de izaje, transporte y erección en sitio pueden inducir elevadas cargas sobre los paneles, especialmente si estos se producen o transportan en posición horizontal. Por esta razón, el proceso de construcción debe formar parte integral de las consideraciones de diseño estructural. Una vez en posición vertical, las cargas más importantes de los paneles suelen ser las laterales de viento y sismo.

Para los paneles no estructurales, la principal carga lateral producida por el sismo será fuera de su plano y deberán tomarse las consideraciones del caso para desligarlos adecuadamente de la estructura principal. Estos paneles deben diseñarse como componentes no estructurales, según la definición del Código Sísmico de Costa Rica 2010 (2011).

Para el diseño sísmico hay que tener en cuenta que la demanda sobre los componentes no estructurales debe incorporar el factor de importancia I_p de la tabla 4.1 del CSCR, a fin de reducir la vulnerabilidad de estos componentes. Las ecuaciones 14-1, 14-2 y 14-3 de dicho Código se emplean con los factores X_P y R_P que se muestran en la tabla 7.1.

Tabla 7.1 Factores para el cálculo de las fuerzas horizontales (X_P, R_P)		
Tipo de panel	X_P	R_P
Elementos en voladizo soportados por debajo de su centro de gravedad	2.5	2.5
Elementos en voladizo soportados por encima de su centro de gravedad, paredes internas no estructurales y divisiones	1.0	2.5

En el caso de los paneles estructurales, estos deberán conectarse y proporcionarse para resistir las cargas y acomodar los desplazamientos impuestos por ellas, según el análisis estructural realizado por el diseñador. El cálculo y dimensionamiento de los paneles estructurales escapa al alcance de este manual.

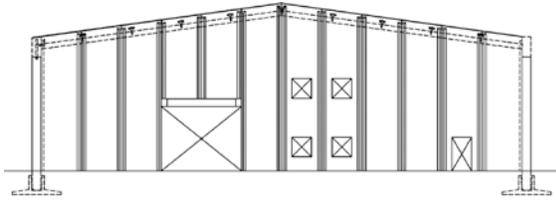
9.4 Ayudas de diseño

Paneles verticales (PV)

Los paneles verticales son elementos pretensados de 2,31 m o 2,44 m de ancho y de hasta 18 m de altura que se usan principalmente para cerramiento de bodegas, naves industriales de concreto y de acero e instalaciones industriales de varias plantas.

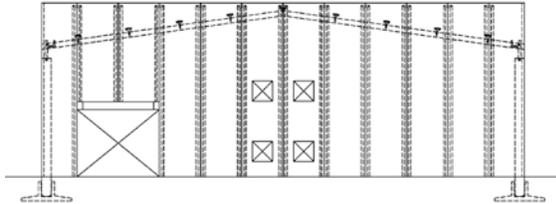
En su extremo inferior se apoyan en una placa de fundación corrida colada in situ o en un entrepiso por encima del nivel del terreno. En su extremo superior se apoyan en un entrepiso, en vigas de techo rígidas o diafragmas de techo.

Pueden fabricarse con una ménsula corrida en su extremo superior que conecta los paneles entre sí y sirve para el apoyo de largueros o clavadores. El borde superior del panel también puede ser horizontal o presentar la pendiente del techo.



Los paneles son colocados con las nervaduras hacia afuera. Ménsula y borde superior con la pendiente del techo.

Figura 7.2 Pared estándar de paneles verticales



Los paneles son colocados con las nervaduras hacia adentro, pueden detallarse con acabados especiales, como sisas. El borde superior es horizontal lo que produce una precinta que oculta la estructura de techo.

Figura 7.3 Pared de paneles verticales invertidos

Los paneles verticales presentan unas nervaduras que usualmente son visibles desde el exterior. También es posible utilizar los paneles con las nervaduras hacia adentro y darle algún tipo de acabado a la cara lisa expuesta, como el sisado.

El panel vertical se puede emplear como cerramiento no estructural o se puede integrar a la estructura principal como un muro de corte.

Para dejar buques de portones con anchos mayores a 1,80 m; se emplean vigas prefabricadas de concreto reforzado como se muestra en las siguientes figuras.

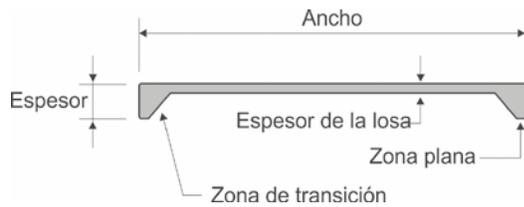


Figura 7.4 Sección transversal del PV típico o especial

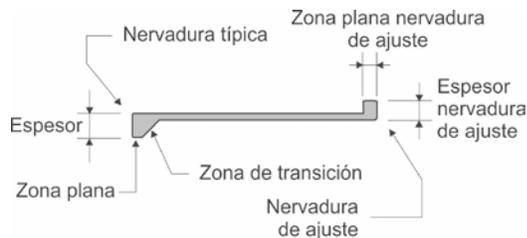


Figura 7.5 Sección transversal del PV tipo ajuste Zona plana nervadura

Tipos de panel	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor de losa (m)	Espesor de nervadura (m)
Típico	Variable (máximo 17 m)	2.310	0.06	0.21
Especial		2.445	0.06	0.21
Ajuste		mínimo 0.30 máximo 2.10	0.06	0.16

Ancho máximo de puerta	1.80 m
Altura máxima de puerta	4 m
Inicio buque de puerta	0.60 m desde parte inferior del panel
Refuerzo alrededor del buque	Primera varilla a 0.025 m del borde Segunda varilla a 0.05 m de la primera Diagonales en las esquinas
Corte de torones	Se cortan hasta que el PV esté montado en el sitio

Alto y ancho máximo	1.80 m x 1.80 m
Cantidad máxima	3 en un solo panel
Geometría de la ventana	Cuadrada o rectangular
Refuerzo alrededor del buque	Primera varilla a 0.025 m del borde Segunda varilla a 0.05 m de la primera Diagonales en las esquinas
Corte de torones	Se cortan hasta que el PV esté montado en el sitio

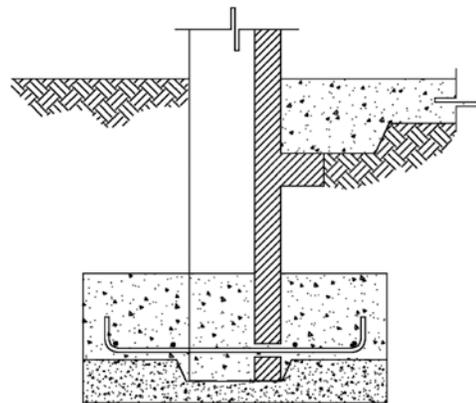


Figura 7.6 Detalle de fundación para naves industriales con paneles estándar

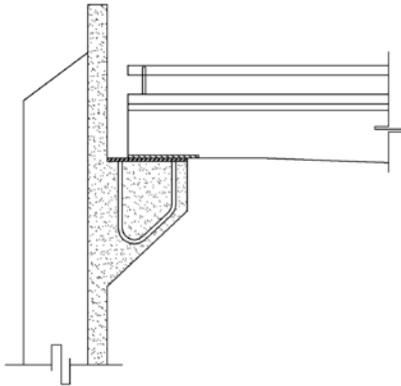


Figura 7.7 Detalle de apoyo de clavadores para naves industriales con paneles estándar

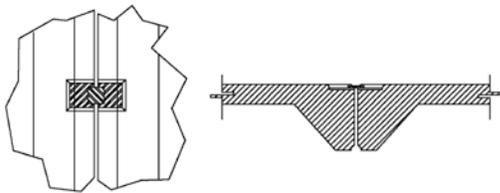


Figura 7.8 Detalle típico de unión temporal entre paneles verticales

Paneles horizontales (PH)

Los paneles horizontales son elementos pretensados nervados con la misma sección del panel vertical, que pueden utilizarse en luces horizontales de hasta 12,5 m como cerramiento no estructural paralelo a los marcos de amarre. Se colocan superpuestos unos sobre otros, apoyados en las llaves previstas en las columnas. La carga vertical se transmite en las llaves y, de ser necesario, en bloques de fundación intermedios.

Usualmente se fabrican en anchos de 2,31 m y 2,44 m. Se pueden elaborar con anchos menores (de ajuste) si es necesario para completar la modulación.

Pueden emplearse columnas de pared auxiliares que permiten proyectar buques de puerta de hasta 6 m de ancho contiguos a las columnas principales de las naves industriales de concreto o acero.



Figura 7.9 Pared de paneles horizontales soportados en columnas principales y con columna de pared intermedia

Estos paneles generalmente no se integran a la estructura, aunque es posible convertirlos en vigas medianeras a través del uso de acero de refuerzo que las conecte con las columnas principales. En este caso, es importante garantizar que la capacidad de las columnas sea mayor que la capacidad del panel y que no se generen columnas cortas.

Panel horizontal Lex-panel

La Losa Lex puede emplearse como un elemento de cerramiento horizontal de hasta 12,5 m de longitud, del mismo modo que se hace con el panel horizontal. El ancho estándar de estos paneles de Losa Lex es de 1,22 m y típicamente se utilizan como componentes no estructurales.

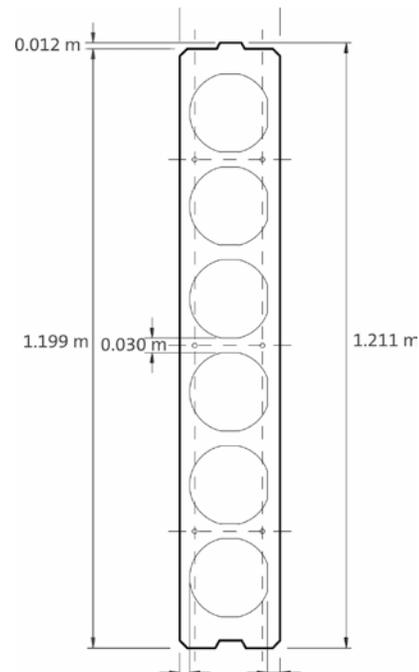
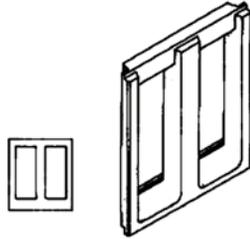


Figura 7.10 Detalle de Losa Lex para cerramiento horizontal

Paneles de fachada para edificaciones

Es posible desarrollar soluciones de paneles de fachada a la medida para edificaciones. En estos casos, se recomienda que el arquitecto trabaje en estrecha colaboración con el Departamento de Ingeniería de Holcim Modular Solutions, para encontrar una solución que sea satisfactoria desde los puntos de vista estético, estructural, productivo y constructivo. Para obtener una solución limpia y sobre todo económica, deben seguirse algunas recomendaciones básicas:

Repetición: el diseño arquitectónico de las fachadas idealmente debe conducir a la definición de uno o varios módulos básicos dimensionales, así como patrones de forma, textura y color que se puedan repetir en la mayor cantidad de paneles posible. Es conveniente que los distintos módulos y patrones puedan integrarse en un molde maestro.



Panel típico para niveles superiores



Variaciones del molde para el primer nivel

Figura 7.11 Detalle de módulos y patrones

Orientación: idealmente, los paneles deben colocarse en forma vertical apoyados en los entrepisos. Pueden construirse de varios pisos de altura para acelerar el proceso constructivo.

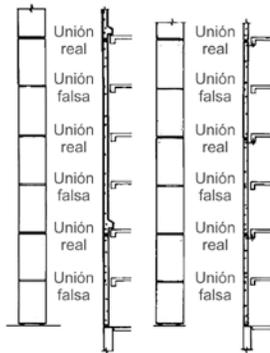


Figura 7.12 Colocación vertical de paneles



Figura 7.13 Edificios con Losa Lex como cerramiento horizontal

Ancho y transporte: es recomendable que el ancho del panel (ya sea la dimensión vertical u horizontal) no exceda los 2,4 m a 3,0 m si se planea transportar acostado en forma horizontal, o los 3,5 m a 4,0 m si se desea transportar como se muestra en la figura 7.14.

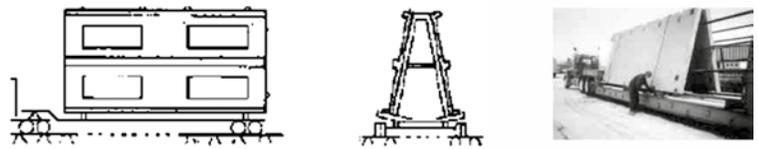


Figura 7.14 Transporte vertical de paneles de cerramiento