



ENCOFRADO DE CONCRETO (HORMIGÓN)

APA

**TABLEROS DE MADERA ESTRUCTURAL
CERTIFICADOS DE LOS ESTADOS UNIDOS**

Los tableros de madera estructural que se describen en este folleto se refieren en general a materiales fabricados de conformidad ya sea con la norma de producto de Estados Unidos PS 1-95, Madera contrachapada (fibracel) industrial y de la construcción o la norma de producto de Estados Unidos PS 2-92 para tableros a base de madera para usos estructurales. Las dos normas bosquejan los requisitos mínimos de evaluación de conformidad de productos por una agencia de terceros. Cada una de estas últimas se identifica en el cuerpo de la marca comercial, que se encuentra en el tablero (panel). La marca comercial queda bajo la responsabilidad de la agencia industrial que lleve a cabo los servicios de evaluación de calidad en la planta.

Varias agencias independientes de los Estados Unidos proporcionan servicios de evaluaciones de conformidad. Más abajo se proporciona información para ponerse en contacto con esas agencias en los Estados Unidos.

Varios fabricantes estadounidenses proporcionan también tableros estructurales a base de madera, producidos de conformidad con normas de propiedad de los Estados Unidos o internacionales adicionales. Haga el favor de verificar con proveedores individuales de tableros su disponibilidad para esas normas alternativas.

APA – The Engineered Wood Association (Asociación de ingeniería de la madera)

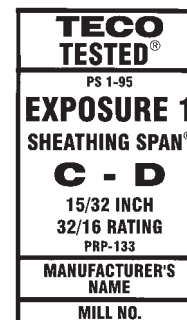
P.O. Box 11700, Tacoma, WA 98411-0700 ■ Teléfono internacional: 1-253-565-6600
Fax internacional: 1-253-565-7265 ■ <http://www.apawood.org>.

Professional Service Industries, Inc.

4820 West 15th Street, Lawrence, KS 66049 ■ Teléfono internacional: 1-800-548-7901
Fax internacional: 1-800-979-3727 ■ <http://www.psiusa.com>.

PFS/TECO

2402 Daniels Street, Madison, WI 53718 ■ Teléfono internacional: 1-608-221-3361
Fax internacional: 1-608-221-0180 ■ <http://www.pfs-teco.com>.



El encofrado representa cerca de la mitad del costo de las estructuras de concreto (hormigón). Por consiguiente, el desarrollo de las placas de encofrado merece una consideración seria y detallada de ingeniería.

De modo similar, la realización de ideas de arquitectura se relaciona con la calidad de los encofrados. Estos son para la estructura lo que los moldes para la escultura y de ello se desprende que un edificio u otra estructura de concreto sea tan elevado estéticamente como los encofrados que lo moldean.

Esta publicación se destina al uso por arquitectos, ingenieros y constructores en su búsqueda de estructuras de concreto (hormigón) apropiadas y eficientes en costos. Contiene información de clasificación de tableros, recomendaciones de mantenimiento de encofrados, datos de diseño y relatos casuísticos de varios proyectos.

Para obtener información adicional sobre clasificaciones de tableros, aplicaciones o fabricantes miembros, póngase en contacto con la oficina más cercana de las que aparecen en la contraportada.

Se recomiendan también los libros que siguen para obtener información adicional sobre encofrados de concreto (hormigón).

Formwork for Concrete, M.K.Hurd, copyright 1995 del American Concrete Institute

Formwork for Concrete Structures

R.I. Peurifoy y Gerald Oberlender, copyright 1995 de McGraw-Hill.

CONTENIDO

Selección y especificación de tableros de encofrados de concreto (hormigón)	-4
Mantenimiento de encofrados . . .	-9
Diseño de encofrados	-10
Datos de ingeniería	17
Estudios casuísticos	21

SELECCIÓN Y ESPECIFICACIÓN DE TABLEROS DE ENCOFRADO DE CONCRETO (HORMIGÓN)

Generalidades

Virtualmente cualquier tablero clasificado para durabilidad al exterior del tipo exterior se puede usar para el encofrado de concreto (hormigón), porque todas sus clases se producen con resina impermeable. Para el encofrado de concreto (hormigón), la industria de tableros (contrachapado) fabrica un producto especial que se conoce como tableros para encofrado de concreto B-B, que se recomienda para la mayor parte de los usos en encofrados. Todos los tableros de encofrados de concreto (hormigón) B-B son de clase exterior, laminados con chapas de madera de tipo C superiores y resina impermeable.

MDO y HDO son los nombres que usa la industria del tablero contrachapado para identificar las superficies recubiertas, MDO quiere decir “Medium Density Overlay” (“recubrimiento de densidad media”) y HDO equivale a “High Density Overlay” (“recubrimiento de alta densidad”). Durante la producción de tableros de madera contrachapada, estas películas se laminan a la madera en una prensa, a altas presiones y temperaturas. La función de la película es proveer estabilidad, rechazar las sustancias ajenas de la superficie y proporcionar un alisado y una superficie de encofrado más duradera. Las resinas termofraguadas que se utilizan en la producción de estas películas son duras y resistentes al agua, a los productos químicos y la abrasión. Los productos HDO son los que se especifican con mayor frecuencia cuando se desea el acabado del concreto (hormigón) más liso posible y la cantidad máxima de colados (vaciados).

Clases de madera contrachapada

Los tableros de encofrado de concreto (hormigón) B-B son láminas de madera contrachapada de tipo exterior, que se limitan a ciertas clases de chapas y especies de madera para garantizar el máximo rendimiento. Los productos que llevan esta identificación específica se encuentran disponibles en dos calidades básicas: Tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B de clases I y II. Todos ellos se pueden pedir con un recubrimiento de densidad elevada en uno o los dos lados. Los tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B se encuentran también disponibles en el tipo B-B estructural I, cuando se requiere de una mayor resistencia estructural.

Tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B de clase I

Estos tableros tienen caras de especies de madera del grupo 1 para dar una gran resistencia y mayor rigidez. Consulte las capacidades de carga en las tablas 3 y 4.

Tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B estructural I

Estos tableros se hacen con especies de madera del grupo 1, que son las más fuertes. Cuando todos los demás factores sean iguales, soportarán las cargas más elevadas tanto a lo largo como a través del tablero. Se diseñan específicamente para aplicaciones de ingeniería y se recomiendan cuando la dirección de la fibra de la cara del tablero sea paralela a los soportes. Consulte las capacidades de carga en las tablas 5 y 6.

Tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B Clase II

Los tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B de clase II pueden tener caras del grupo 2 y proporcionar de todos modos una resistencia adecuada para la mayor parte de las aplicaciones de encofrados. Consulte al proveedor para determinar su disponibilidad.

Tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B

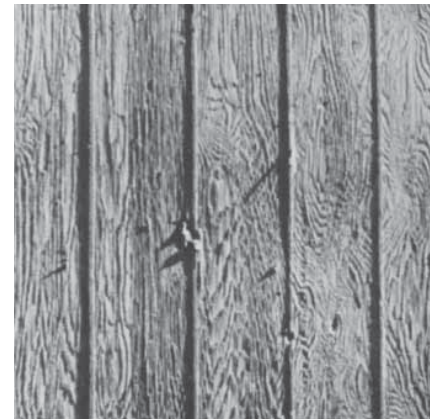
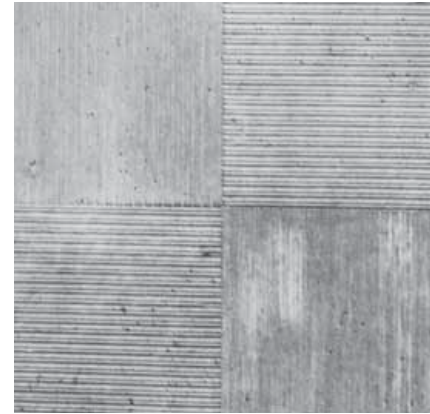
Los tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B sin recubrimiento se hacen por lo común con ambas caras de chapas de grado B y se denominan “tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B”. Se encuentran disponibles en los tipos estructural I de clase I o II. Se liján por ambos lados y se tratan con un agente de desmoldeo en la planta (denominado “aceitado en la fábrica”), a menos que se especifique de otra forma.

A menos que este tratamiento por la fábrica esté razonablemente fresco cuando se utilicen los tableros por primera vez, la madera contrachapada puede requerir otro tratamiento u otro agente de desmoldeo. También es importante que se aplique un sellador de cantos de la máxima calidad antes del primer colado. Se pueden pedir tableros para encofrados de concreto (hormigón) con cantos sellados de fábrica. Son comunes de cinco a diez reutilizaciones de dichos tableros.

Tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B HDO

Estos tableros satisfacen las mismas especificaciones generales que los tableros para encofrados de concreto B-B estructural I de clase I o II. Todas las clases de tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B HDO tienen una superficie dura y semiopaca de material impregnado con resina termofraguada, que constituye un enlace continuo y duradero con la madera contrachapada. La superficie resistente a la abrasión se debe tratar con un agente desmoldante antes de su primera utilización y entre unos colados y otros para conservar la superficie y facilitar el desencofrado.

Los tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B HDO se especifican sobre todo cuando se desean acabados de concreto lo más lisos posible (concreto aparente – hormigón visto), porque el tablero tiene una superficie dura y lisa. Puede darle al concreto una superficie casi pulida. Ambos lados de los tableros HDO son resistentes a la humedad; pero no siempre se pueden usar para encofrar concreto (hormigón) con la misma eficacia, a menos que se produzcan específicamente con ese fin. Las raspaduras y los estriados de las caras posteriores, como resultado de la sujeción de los tableros a los soportes pueden hacer que no resulte práctico el uso de los dos lados. Puede haber disponibles varias clases de tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B HDO, consulte a ese respecto a su proveedor. Con cuidados razonables, los tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B HDO producirán normalmente de 20 a 50 reutilizaciones o más. Algunos fabricantes de sistemas de encofrados de concreto (hormigón) logran 200 reutilizaciones o más, con buenos resultados.



Cubierta de densidad media (Medium Density Overlay)

Hay disponibles clases patentadas especiales de MDO para encofrados de concreto (hormigón). Los tableros MDO se destinan también a usos como superficies *pintables* y **no se deben emplear para encofrados de concreto**. Por lo común, dichos tableros se recubren sólo en uno de sus lados; aunque se pueden producir con película MDO en ambos lados.

Normalmente, la madera contrachapada para encofrados de concreto MDO patentado se trata en la fábrica con un agente desmoldante y sellador de cantos para proteger éstos contra la absorción de agua. La superficie resistente a la abrasión se debería tratar con un agente desmoldante antes de la primera utilización y entre colados, para preservar las superficies y facilitar el desencofrado. Los tableros para encofrados MDO crean un acabado mate y suave en la superficie del concreto (hormigón).

Clases relacionadas

Otros clases adicionales de madera contrachapada diseñadas específicamente para encofrado de concreto (hormigón) incluyen unidades con recubrimientos especiales y patentados. Esos tableros se diseñan para producir una superficie de concreto (hormigón) lisa y uniforme. Algunos tableros patentados se hacen sólo con especies de madera del grupo 1 y tienen chapas frontales y posteriores más gruesas que las que se usan normalmente. Estas le proporcionan al tablero una mayor rigidez y más resistencia de veta paralela a la cara. Las superficies se pueden tratar de modo especial o recubrirse con un agente desmoldante. Consulte al fabricante para obtener especificaciones de diseño y recomendaciones de tratamiento de las superficies.

Texturas especiales

La madera contrachapada se fabrica con muchas texturas superficiales, que van desde la pulida con recubrimiento de alta densidad a los tableros de entablado de placas y listones de madera. Se puede crear casi cualquier textura al trabajar con esos tableros especiales y con patrones aplicados in situ.

El contrachapado de textura de tipo exterior se aplica normalmente de dos modos en los diseños de encofrados: (1) como recubrimientos que requieren un respaldo de madera contrachapada de modo que dicho recubrimiento proporcione la textura, contribuyendo poco a la estructura del encofrado, o bien, (2) como tablero básico de encofrado. En el segundo caso, los mejores informes de resultados proceden de proyectos en los que la cantidad de colados requeridos es limitada, porque la superficie texturizada puede incrementar las fuerzas necesarias de desencofrado y, por consiguiente, la posibilidad de que los tableros sufran daños al efectuarse el desmoldeo. Se pueden utilizar recubrimientos de películas, tales como los de laca, poliuretano o epoxi, con un agente de desmoldeo para facilitar el desencofrado.

Tolerancias de la madera contrachapada

El contrachapado es un producto diseñado y manufacturado según tolerancias exigentes, de conformidad con la norma de productos de los Estados Unidos PS 1-95. Se permite una tolerancia de más de 0.0 y menos de 1.6 mm sobre la anchura y o la longitud especificadas. Se fabrican tableros para encofrado B-B lijados con una tolerancia de espesor de más o menos 0.4mm del grueso especificado del tablero de 19.1 mm y menos, y más o menos tres por ciento del espesor especificado para tableros de más de 19.1 mm de espesor.

Los tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B recubiertos tienen una tolerancia de más o menos 0.79 mm para todos los espesores hasta 20.0 mm. Los tableros más gruesos tienen una tolerancia del 5 por ciento por encima o por debajo del espesor especificado.

Para el escuadrado, la norma del producto exige que los tableros estén a escuadra dentro de 0.4 mm por cada 30 cm nominal de longitud, cuando se mide de esquina a esquina a lo largo de la diagonal, para los tableros del 1220mm de longitud o más.

En lo que se refiere a la rectitud de los cantos, los tableros se deben fabricar de modo que una línea recta trazada de una esquina a otra adyacente caiga dentro de 0.4 mm del canto.

Estas tolerancias y los niveles congruentes de calidad contribuyen a minimizar el tiempo y la mano de obra que se requieren para los encofrados de edificios. Las buenas prácticas de construcción dictan una conciencia de las tolerancias en el sitio de trabajo. En un caso extremo, dos tableros lijados de 19.1 mm, ambos dentro de las tolerancias de fabricación, podrían formar una junta con una variación de 0.79 mm del nivel de superficie de un tablero al otro. La realineación de dichos tableros y el uso de calces son soluciones rápidas y sencillas.

Características de la superficie del concreto (hormigón)

Un levantamiento de polvo en la superficie del concreto (hormigón) ha sido observado ocasionalmente, el cual se vierte sobre diversos materiales de encofrado, incluyendo la madera contrachapada. No parece haber ninguna razón simple para esto – la superficie blanda y gisácea se atribuye a diversas causas posibles, incluyendo exceso de aceite, suciedad, rocío, smog, calor inusual, condiciones climáticas secas y reacciones químicas entre la superficie del encofrado y el concreto (hormigón).

Puede haber otros factores involucrados en la formación de polvo. El problema parece ocurrir en ciertas estaciones del año, en lugares específicos y con ciertas mezclas de concreto (hormigón). La formación de polvo durante el tiempo frío puede deberse a los aditivos utilizados en el concreto (hormigón) como protección contra el congelamiento. Un exceso de agua en la mezcla puede crear capas de lechada de cemento que, en efecto, es una formación de polvo. La vibración excesiva puede contribuir al mismo problema.

Hay diversos medios de corrección del problema que han tenido éxito. Las medidas preventivas incluyen un almacenamiento apropiado de los encofrados (en condiciones frescas y secas) y su limpieza (evitando la exposición innecesaria al polvo, al aceite y al desgaste). Si se produce una formación de polvo, se ha señalado que se puede utilizar una aspersión final de agua como ayuda para acelerar el endurecimiento de la superficie. El Departamento de Transportes del Estado de California señala que: "... en lugar de intentar emplear métodos poco convenientes de prevención de la formación de polvo, los resultados finales serán satisfactorios si las zonas afectadas se curan subsiguientemente, durante varios días, con agua en una aspersión suficientemente fina para no erosionar la superficie blanda". Otros especialistas del concreto (hormigón) han recomendado soluciones de tratamiento superficial utilizando fluorosilicato de magnesio o silicato sódico.

Manchas se pueden observar ocasionalmente en el concreto (hormigón) vertido contra encofrados de madera contrachapada HDO. Las manchas rojizas o rosadas son un tinte fugitivo y suelen desaparecer al quedar expuestas a los rayos del sol y el aire.

Donde la luz del sol no pueda llegar a la mancha, la limpieza natural requiere mucho más tiempo. Se ha descubierto que los agentes blanqueadores domésticos (soluciones al 5% de hipoclorito de sodio), seguidos por un enjuagado con agua clara, resultan eficaces para apresurar la desaparición de las manchas.

En raras ocasiones, se han observado otras decoloraciones en el concreto (hormigón) nuevo. Por ejemplo, se ha encontrado que las sales de hierro que son el resultado de los sulfuros férricos y los óxidos ferrosos en el cemento con escorias, manchan el concreto (hormigón) con un color azul verdoso, sobre todo si se usan superficies de encofrado grandes, continuas, lisas e impermeables al aire.

GUÍA DE USO DE CLASES PARA ENCOFRADOS DE CONCRETO (HORMIGÓN)*

Especifique la madera contrachapada	Descripción	Clase de chapa		
		Caras	Capas internas	Dorsos
Tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B, clases I y II**	Fabricados específicamente para encofrados de concreto (hormigón). Muchas reutilizaciones. Superficies lisas y sólidas. Tratadas en la fábrica, a menos que se especifique de otra forma.	B	C	B
Tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B, con cubierta de alta densidad HDO, de clases I y II**	Recubrimiento de fibra de resina dura y semiopaca termofundida a las caras de los tableros. La superficie lisa resiste la abrasión. Hasta 200 reutilizaciones. Aplicaciones ligeras de agente de desmoldeo (recomendadas entre las utilizaciones).	B	C parchado	B
Tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B estructurales I**	Diseñados específicamente para aplicaciones en sistemas de encofrados. Todas las especies del grupo 1. Más fuertes y rígidos que los tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B de las clases I y II. Se recomiendan para presiones elevadas donde la veta de la cara es paralela a los soportes. También se encuentran disponibles con caras con cubiertas de alta densidad.	B	C o C parchado	B
Recubrimientos especiales, tableros patentados y madera contrachapada con recubrimiento de densidad media MDO, diseñada específicamente para encofrados de concreto (hormigón)**	Produce una superficie de concreto (hormigón) uniforme y lisa. En general se tratan en la fábrica con agente desmoldante. Consulte al fabricante sobre las especificaciones, la utilización apropiada y el tratamiento superficial recomendado para una mayor cantidad de reutilizaciones.			
B-C EXT	Tableros lijados que se utilizan con frecuencia para encofrados de concreto (hormigón) cuando sólo se requiera un lado sólido y liso.	B	C	C

*Disponibles comúnmente en 15.1 mm, 15.9 mm, 18.3 mm y 19.1 mm de espesor de tableros (tamaño de 1220 x 2440 mm).

**Consulte al distribuidor en lo que se refiere a la disponibilidad en su zona.



La aparición y la intensidad del color parecen tener relación con la cantidad de tiempo entre aplicaciones de agentes de desmoldeo a los encofrados y el vaciado del concreto (hormigón), así como también con la cantidad de tiempo transcurrido antes de que se desmolden los encofrados. Se ha sugerido que el aflojado o la abertura de los encofrados lo antes posible después del vertido del concreto (hormigón), impediría que se produjeran decoloraciones en el concreto con escorias. Por lo común, la decoloración se desvanece y desaparece con el tiempo. Se ha señalado que las soluciones de agua oxigenada son útiles para retirar los colores, sobre todo cuando se aplica al concreto (hormigón) inmediatamente después del retiro del encofrado.

Método recomendado de pedido

El mejor método de pedido de tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B es indicar la clase, la cantidad de piezas, la anchura, la longitud, el espesor y la clase. Por ejemplo: “tableros para encofrado de concreto (hormigón) B-B, de clase I, 100 piezas, 1220 x 2440 x 15.9 mm, tipo B-B exterior, aceitado en la fábrica”. Los tableros para encofrado de concreto (hormigón) se tratan en la fábrica con agentes desmoldantes, a menos que se especifique de otra forma. Incluso así, es una buena práctica indicar los requisitos de tratamiento al hacer el pedido.

Al pedir madera contrachapada recubierta, deberán especificarse las descripciones básicas – por ejemplo, recubrimiento de alta densidad (HDO). Se deberá anotar también la cantidad de piezas, el tamaño y el espesor de los tableros de encofrado de concreto (hormigón) B-B.

Deben indicarse los requisitos especiales de la superficie de conformidad con el formulario estándar del pedido. Los pesos del material superficial incluyen alta densidad 60-60 (el peso estándar) y otras variaciones tales como 90-60, 120-60 ó 120-120.

Conversiones métricas

Los equivalente métricos de espesores nominales y los tamaños comunes de los tableros de madera estructurales se presentan en la tabla que sigue (1pulgada = 25.4 milímetros).

MANTENIMIENTO DEL ENCOFRADO

Amarre del Encofrado

No se deberán utilizar varillas ni barras de metal en la madera contrachapada porque pueden dañar la superficie del tablero y los cantos. Use cuñas de madera, golpeándolas gradualmente, cuando sea necesario. La resistencia de la madera contrachapada, su peso ligero y los tableros grandes contribuyen a reducir el tiempo de desencofrado. La construcción en laminación cruzada reduce el astillado de los cantos.

Limpieza y aplicación de agente desmoldante

Poco después de su desamarre, se deben inspeccionar los tableros de madera contrachapada para ver si sufrieron desgaste y para limpiarse, repararse, sellarse en algunos puntos, reacebarse y recibir un tratamiento ligero con agente desmoldante de encofrados, antes de reutilizarse. Use una cuña de madera dura y un cepillo de fibra rígido para la limpieza (un cepillo metálico puede hacer que las fibras de madera se levanten). En general, el golpeteo ligero de la trascara con un martillo retirará una cubierta dura de concreto (hormigón). En los encofrados prefabricados, las caras de tableros de madera contrachapada (cuando la clase sea apropiada) podrán

DIMENSIONES NOMINALES DE TABLEROS (ANCHURA x LONGITUD)

Pies	mm	m (aproxim.)
4 x 8	1219 x 2438	1.22 x 2.44
4 x 9	1219 x 2743	1.22 x 2.74
4 x 10	1219 x 3048	1.22 x 3.05

ESPEORES NOMINALES DE TABLEROS

Pulgadas	mm
1/4	6.4
5/16	7.9
11/32	8.7
3/8	9.5
7/16	11.1
15/32	11.9
1/2	12.7
19/32	15.1
5/8	15.9
23/32	18.3
3/4	19.1
7/8	22.2
1	25.4
1-3/32	27.8
1-1/8	28.6

invertirse cuando se hayan dañado y los orificios se podrán parchar con placas metálicas, tapones o materiales plásticos. Se deberán quitar los clavos y enyesar los orificios con yeso para parches, madera plástica u otros materiales apropiados.

Manejo y almacenamiento

Se deberá tener cuidado para impedir que se resquebrajen los tableros, se estrién y sufran daños en sus esquinas durante el manejo. No se deberán dejar caer nunca. Las placas de encofrado se deberán apilar de plano, con cuidado, de cara a cara y dorso a dorso, para su transporte. Los encofrados se deberán limpiar inmediatamente después del desmoldeo y se podrán apilar en forma sólida o en paquetes pequeños, con las caras juntas. Esto hace que el secado sea más lento y minimiza las marcas en las caras. Los equipos de manejo de estibas de tableros de encofrados y remolques pequeños para el transporte y el almacenamiento entre trabajos minimizarán el tiempo de manejo y las posibilidades de que se produzcan daños. Durante el almacenamiento, las estibas de tableros de madera contrachapada deben mantenerse lejos del sol y la lluvia o cubrirse de modo ligero para permitir la circulación de aire sin que se acumule el calor. Los tableros que ya no sean adecuados para encofrados pueden conservarse para utilizarlos en contrapisos o forrado de muros y techos, si sus condiciones lo permiten.

Hay disponibles tableros con recubrimientos especiales con acabados muy duraderos que facilitan el desencofrado y reducen los costos de mantenimiento. Deberán manejarse con cuidado para asegurar que ofrezcan la mayor cantidad de reutilizaciones.

Pueden producirse fisuras capilares o resquebrajaduras en la cara superior. Esos “defectos” pueden ser más pronunciados después de la utilización repetida del encofrado. Esas deficiencias no quieren decir que el tablero se esté delaminando. Un programa cuidadoso de mantenimiento de los encofrados, incluyendo un almacenamiento cuidadoso para asegurar el secado lento minimizará el deterioro de las caras.

TABLA 1

PRESIONES DE CONCRETO (HORMIGÓN) PARA ENCOFRADOS DE COLUMNAS Y MUROS

Rango de vaciado (pies/hora)	Presiones de concreto (hormigón) vibrado kN/m^2 ^{(a)(b)}			
	10°C ^(c)		21°C ^(c)	
	Columnas	Muros	Columnas	Muros
0.31	15.80	15.80	13.41	13.41
0.61	24.42	24.42	19.63	19.63
0.91	33.03	33.03	25.85	25.85
1.22	41.65	41.65	31.60	31.60
1.52	50.27	50.27	37.82	37.82
1.83	58.89	58.89	44.05	44.05
2.13	67.50	67.50	50.27	50.27
2.44	76.12	70.38	56.49	52.18
2.74	84.74	72.77	62.72	54.10
3.10	93.36	75.64	68.94	56.01

(a) La presión máxima no tiene que sobrepasar 2400 gh, donde h es la altura máxima de vaciado en pies.

(b) Basado en concreto (hormigón) con una densidad de 2400-kg/m³ y 100-mm de asentamiento.

(c) Vea en la página 16 la información adicional que se proporciona sobre presiones de encofrados para concreto (hormigón).

TABLA 2

CARGAS DE DISEÑO PARA ENCOFRADOS DE LOSAS

Espesor de losa (mm)	Carga de diseño (kN/m^2)	
	Remolques acarreadores no motorizados ^(a)	Remolques acarreadores motorizados ^(b)
100	4.79 ^(c)	5.98 ^(c)
125	5.41	6.61
150	5.98	7.18
175	6.61	7.80
200	7.18	8.38
225	7.80	9.00
250	8.38	9.58

(a) Incluye carga de 2.39- kN/m^2 para trabajadores, equipos, impactos, etc.

(b) Incluye 3.59- kN/m^2 de carga para trabajadores, equipos, impactos, etc.

(c) Carga mínima de diseño, sea cual sea el peso del concreto (hormigón)

Recubrimientos y agentes

Los recubrimientos selladores de protección y los agentes desmoldantes de la madera contrachapa hacen que aumente la vida útil de los encofrados y facilitan el desencofrado. Los tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B “aceitados en la fábrica” pueden requerir sólo un recubrimiento ligero de agente desmoldante entre usos. Se deberán revisar las especificaciones antes de usar en los encofrados cualquier agente desmoldante.

Una cantidad generosa de agente desmoldante de encofrados, aplicada unos cuantos días antes de que se use la madera contrachapada y enjuagada a continuación de tal modo que quede sólo una película ligera, prolongará la vida útil del encofrado de madera contrachapada, incrementará sus características de desencofrado y minimizará la producción de manchas.

Un “agente desmoldante químicamente reactivo” les dará la vida más larga a los tableros recubiertos y se deberá aplicar antes del primer colado. El aceite diesel y el de motores degradan seriamente los tableros de clase HDO y MDO y no se deberán usar nunca como agentes desmoldantes en tableros recubiertos. Algunos aditivos del concreto (hormigón) pueden degradar también los recubrimientos. Consulte a ese respecto al fabricante.

La selección de un agente desmoldante se debería efectuar tomando conciencia de la influencia que tiene el producto sobre la superficie acabada del concreto. Por ejemplo, algunos agentes desmoldantes, incluyendo ceras y silicones, no se deberán utilizar cuando se vaya a pintar el concreto (hormigón). El aspecto arquitectónico del acabado se deberá tomar en consideración al escoger el tratamiento de la superficie del encofrado.

Los recubrimientos de encofrados de madera contrachapada, tales como lacas, compuestos a base de resina o plástico y otros recubrimientos similares de campo se usan a veces para formar una película dura, seca y resistente al agua sobre los encofrados de madera contrachapada. El nivel de rendimiento de esos recubrimientos se clasifica en general en algún punto entre los tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B y la madera contrachapada con recubrimiento de alta densidad. En la mayoría de los casos, la necesidad de aplicación de agentes desmoldantes entre colados se reduce por los recubrimientos aplicados in situ y muchos contratistas señalan que obtuvieron una reutilización considerablemente mayor con los tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B; pero en general menos que con la madera contrachapada HDO.

Hay disponibles productos recubiertos en la fábrica de diversos tipos, además de los tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B “aceitados en la fábrica”. Algunos fabricantes de maderas contrachapadas no recomiendan agentes de desmoldeo con sus productos de encofrado de concreto (hormigón) patentados y afirman tener acabados excepcionales del concreto (hormigón) y una gran cantidad de reutilizaciones.

DISEÑO DEL ENCOFRADO

Introducción

En esta sección se presentan tablas y se muestra cómo utilizarlas para escoger el espesor de los tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B apropiados para la mayoría de las aplicaciones. Se incluyen también tablas para escoger el tamaño apropiado y el espaciamiento correcto de las vigas, los vástagos y los largueros. Vea en las páginas 17 a 20 la información técnica que se proporciona, de interés para el fabricante de encofrados o el ingeniero que debe diseñar encofrados con condiciones de carga y/o criterios de deflexión que no se incluyen en las tablas que siguen.

Aunque muchas combinaciones de espaciamiento de los soportes y espesores de la madera contrachapada satisficarán los requisitos estructurales, probablemente sea mejor utilizar sólo un espesor de madera contrachapada y, luego, hacer variar el espaciamiento de los soportes para las diferentes presiones de vaciado. Los tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B se pueden fabricar en diversos espesores; pero es una buena práctica la de basar los diseños en los tableros de encofrado de concreto (hormigón) B-B de clase I, de 15.1 mm, 15.9 mm, 18.3mm y 19.1mm, puesto que son los que se encuentran disponibles de modo más común. Los espesores de la madera contrachapada deberán ser compatibles con las dimensiones del amarre del encofrado. Para trabajos grandes o los que tengan requisitos especiales, pueden ser preferibles otros espesores; pero podrían requerir un pedido especial.

Presiones del concreto (hormigón)

El espesor requerido de la madera contrachapada, así como también el tamaño y el espaciamiento de los soportes, dependerán de la carga máxima. El primer paso en el diseño de encofrados es determinar la presión máxima del concreto (hormigón). Dependerá de cosas tales como la tasa de vaciado, la temperatura del concreto (hormigón) su asentamiento, el tipo de cemento, la densidad del concreto (hormigón), el método de vibración y la altura del encofrado.

Presiones en encofrados de columnas y muros

En la tabla 1 se muestra la presión lateral para concreto (hormigón) recién colocado que se debería utilizar para el diseño de encofrados de columnas y muros. Esta presión se basa en las recomendaciones del American Concrete Institute (ACI) (Instituto estadounidense del concreto). Cuando se deban diseñar encofrados para vibración exterior o para utilizarse al mismo tiempo que los sistemas de colocación de concreto bombeado, las presiones de diseño indicadas deberían aumentar de conformidad con normas aceptadas de la industria del concreto (hormigón).

Los procedimientos de diseño de encofrados de concreto (hormigón) se basan en la norma 347R-88 de ACI, que reconoce el uso de una gran cantidad de variables en los diseños modernos de concreto (hormigón). Estas variables incluyen el uso de varios tipos de cemento, mezclas, asentamientos de diseño, sistemas de colocación del concreto (hormigón), etc. La falta de datos de pruebas sobre los efectos de variables en las presiones de diseño del concreto (hormigón) impulsaron al ACI a publicar ecuaciones de diseño más conservadoras cuando se usan diseños de mezclas de concreto (hormigón) no tradicionales.

La presión del concreto (hormigón) está en proporción directa a su densidad. Las presiones que se muestran en la tabla 1 se basan en una densidad de 2400kg/m³ por pie cúbico (lbs/pie³). Son adecuadas para la gama habitual de concretos vaciados. Para otras densidades, las presiones se pueden ajustar en proporción directa.

Cargas y encofrados de losas

Los encofrados para las losas de concreto (hormigón) deben soportar a los trabajadores y los equipos (cargas vivas) además del peso del concreto recién vaciado (carga muerta). El concreto de peso normal (2400 kg/m³) hará que se ejerza una carga sobre los encofrados de 0.60 kN/m² por cada pulgada

RADIOS MÍNIMOS DE FLEXION

Espesor de madera contrachapada (mm)	Perpendicular a la veta (mm)	Paralelo a la veta (mm)
6.4	610	1520
7.9	610	1830
9.5	910	2440
12.7	1830	3660
15.9	2440	4880
19.1	3660	6100

de espesor de la losa. En la tabla 2 se dan las cargas mínimas de diseño que representan la práctica promedio cuando se usen remolques acarreadores motorizados o no, para colocar el concreto (hormigón). Estas cargas incluyen los efectos del concreto (hormigón), de los remolques y de los trabajadores.

Encofrados curvos

Se pueden usar también tableros para encofrados de concreto B-B para encofrados curvos, como se muestra en la página 8. Se ha descubierto que los radios que siguen son los mínimos apropiados para tableros de fábrica de los espesores que se muestran, cuando se doblan en seco. Se pueden conseguir radios más pequeños, seleccionando tableros que no tengan nudos y de vetas cortas y/o humedeciéndolos o sometiéndolos al vapor. A veces, un tablero puede desarrollar fallas localizadas en esos radios más reducidos.

Presiones recomendadas en tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B

Las presiones máximas recomendadas para los espesores más comunes de tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B de clase I se presentan en las tablas 3 y 4. En las tablas 5 y 6 se dan presiones para tableros de encofrados de concreto (hormigón) estructurales I. Los cálculos para esas presiones se basaron en limitaciones de deflexión de 1/360 o 1/270 del claro o en resistencia al cortante o en deflexión, según lo que proporcione el valor más conservador (la carga más baja). Use los valores de las columnas no sombreadas para el diseño de concreto arquitectónico donde el aspecto es importante.

TABLA 3

PRESIONES MÁXIMAS RECOMENDADAS EN TABLEROS PARA ENCOFRADOS DE CONCRETO (HORMIGÓN) B-B DE CLASE I (kN/m²)^(a) VETA DE CARA TRANSVERSAL A LOS SOPORTES^(b)

Espaciamento entre soportes (mm)	Espesor de madera contrachapada (mm)													
	11.9	12.7	15.1	15.9	18.3	19.1	28.6							
100	133	133	145	145	165	165	176	176	197	197	202	202	293	293
200	43.7	43.7	47.9	47.9	60.0	60.0	64.1	64.1	75.3	75.3	77.2	77.2	112	113
300	17.9	19.52	20.2	21.25	26.6	26.6	28.5	28.5	34.3	34.3	36.2	36.2	67.6	67.6
400	7.62	9.88	8.72	11.36	12.2	15.07	13.4	16.05	17.2	19.26	18.5	20.26	36.7	38.04
500	–	5.68	4.46	6.67	6.35	9.39	7.04	10.38	9.29	13.34	10.0	14.08	21.8	26.4
600	–	–	–	–	–	4.94	–	5.43	5.5	7.16	5.98	7.91	13.8	16.8
800	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6.39	8.39

(a) Deflexión limitada a 1/360 del tramo, 1/270 donde esté sombreado.

(b) Madera contrachapada continua a través de dos o más tramos.

TABLA 4

PRESIONES MÁXIMAS RECOMENDADAS EN TABLEROS PARA ENCOFRADOS DE CONCRETO (HORMIGÓN) B-B DE CLASE I (kN/m²)^(a) VETA PARALELA A LOS SOPORTES^(b)

Espaciamento entre soportes (mm)	Espesor de madera contrachapada (mm)													
	11.9	12.7	15.1	15.9	18.3	19.1	28.6							
100	67.9	67.9	76.9	76.9	79.6	79.6	86.9	86.9	107	107	114	114	236	236
200	19.2	19.2	23.3	23.3	26.1	26.1	31.3	31.3	40.8	40.8	43.6	43.6	90.4	90.4
300	5.65	7.41	7.39	9.63	8.39	11.11	10.7	13.83	18.8	19.76	23.1	24.21	55.9	55.9
400	–	–	–	–	–	–	–	5.92	8.12	10.62	10.1	13.34	35.5	35.8
500	–	–	–	–	–	–	–	–	5.13	6.18	6.41	7.66	18.3	18.3
600	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4.94	12.7	12.7

(a) Deflexión limitada a 1/360 del tramo, 1/270 donde esté sombreado.

(b) Madera contrachapada continua en dos o más tramos.

TABLA 5

PRESIONES MÁXIMAS RECOMENDADAS EN TABLEROS PARA ENCOFRADO DE CONCRETO (HORMIGÓN) B-B ESTRUCTURAL I (kN/m²)^(a) VETA DE CARA TRANSVERSAL A LOS SOPORTES^(b)

Espaciamiento entre soportes (mm)	Espesor de madera contrachapada (mm)													
	11.9	12.7	15.1	15.9	18.3	19.1	28.6							
100	175.9	175.9	193.9	193.9	203.1	203.1	212.7	212.7	247.3	247.3	250.5	250.5	357.7	357.7
200	43.97	43.97	48.42	48.42	60.52	60.52	64.72	64.72	78.56	78.56	83.00	83.00	137.6	137.6
300	17.79	19.52	20.26	21.49	26.93	26.93	28.66	28.66	34.83	34.83	36.81	36.81	76.09	76.09
400	7.66	10.13	8.65	11.61	12.10	15.07	13.34	16.30	17.29	19.76	18.53	20.75	41.25	42.74
500	–	5.68	–	6.67	7.16	9.39	7.91	10.62	10.38	13.59	11.36	14.33	26.93	29.64
600	–	–	–	–	–	4.94	–	5.93	5.43	7.41	5.93	7.91	15.32	19.02
800	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	7.16	9.39

(a) Deflexión limitada a 1/360 del tramo, 1/270 cuando esté sombreado.

(b) Madera contrachapada continua en dos o más tramos.

TABLA 6

PRESIONES MÁXIMAS RECOMENDADAS EN TABLEROS PARA ENCOFRADO DE CONCRETO (HORMIGÓN) B-B ESTRUCTURAL I (kN/m²)^(a) VETA DE CARA PARALELA A LOS SOPORTES^(b)

Espaciamiento entre soportes (mm)	Espesor de madera contrachapada (mm)													
	11.9	12.7	15.1	15.9	18.3	19.1	28.6							
100	97.33	97.33	110.2	110.2	113.6	113.6	124.3	124.3	152.9	152.9	163.8	163.8	338.9	338.9
200	23.22	26.19	29.89	31.87	31.62	35.57	39.53	42.74	58.79	58.79	62.99	62.99	130.4	130.4
300	6.42	8.65	8.65	11.36	9.63	12.85	12.35	16.30	21.74	26.93	26.93	33.35	80.78	80.78
400	–	–	–	–	–	5.43	5.19	6.92	9.39	12.60	11.86	15.56	42.00	49.16
500	–	–	–	–	–	–	–	4.94	6.67	8.40	8.40	10.38	27.42	27.42
600	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5.68	16.80	17.54

(a) Deflexión limitada a 1/360 del tramo, 1/270 cuando esté sombreado.

(b) Madera contrachapada continua en dos o más tramos.

Aunque no se fabrican específicamente como clases de encofrado de concreto (hormigón), se han utilizado algunas clases de madera contrachapada distintas de tableros en esta aplicación B-B, cuando se necesitan tableros delgados para encofrados curvos. Las presiones recomendadas que se muestran en las tablas que siguen proporcionan una buena estimación del rendimiento para clases lijadas tales como A-C exterior y B-C exterior y clases no lijadas tales como Laminado clasificado exterior y exposición 1 (CDX) (marcado PSI), a condición de que la veta de la cara esté transversal a los soportes. Para clases lijadas del grupo 1 use las tablas correspondientes a los tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B de clase I. Para clases no lijadas (tableros de claro clasificado PSI), use las tablas de los tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B de clase I, suponiendo que se trate de tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B de 11.9mm para tableros de 32/16, 15.1mm para 40/20 y 18.3mm para 48/24.

Se ha utilizado recientemente madera contrachapada texturizada para obtener diversos acabados para el concreto arquitectónico. A muchos de estos tableros se les retira parte de la chapa de la cara debido a la texturización.

En consecuencia, se reducirán la rigidez y la resistencia. Puesto que las maderas contrachapadas texturizadas se encuentran disponibles en diversos acabados y especies de madera, es imposible dar factores exactos de reducciones de la resistencia y la rigidez. Para una fuerza aproximadamente equivalente, especifique la clase deseada en especies del grupo 1 y determine el espesor, suponiendo que haya tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B de clase I. Cuando se use madera contrachapada texturizada de 9.5mm como recubrimiento de encofrado, suponga que el respaldo de madera contrachapada debe soportar toda la carga.

En algunos casos, puede ser conveniente usar dos capas de madera contrachapada. Las presiones recomendadas se muestran en las tablas 3 a 6 y son aditivas para más de una capa.

Las tablas 3 a 6 se basan en la madera contrachapada actuando como viga continua que se tiende entre viguetas o largueros. No se supone que haya refuerzos en los cantos de tableros no apoyados. En condiciones de humedad elevada o carga sostenida sobre el tablero, los extremos pueden tener mayor deflexión que el centro del tablero y podrían rebasar la deflexión calculada, a menos que los extremos de los tableros sean reforzados. Por esta razón, y para minimizar la deflexión diferencial entre tableros adyacentes, algunos diseñadores de encofrados especifican refuerzos en los extremos no apoyados, sobre todo si la veta de la cara es paralela a los soportes.

Ejemplo 1 de diseño de encofrados de concreto (hormigón): etapa 1 – selección de tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B de clase I para encofrados de muros de concreto (hormigón).

El concreto vibrado internamente se colocará en encofrados murales a razón de 0.91 m por hora. La temperatura del concreto (hormigón) es de 21°C. ¿Cuál es el espaciamiento máximo entre soportes para tableros para encofrados de concreto (hormigón) de 15.9mm B-B de clase I para concreto arquitectónico si la pared tiene 2.74m de altura?

El concreto (hormigón) que se utilizará se hace de cemento consolidado de tipo I, que pesa aproximadamente 2400kg/m³ por pie cúbico y no contiene puzolanas o mezclas, tiene un asentamiento de 100mm y se hace vibrar interiormente hasta una profundidad de 1.22m o menos.

Determine la presión máxima de concreto (hormigón) En la tabla 1 se muestra una presión de 25.85 kN/m² para 21°C y una tasa de vaciado de 0.91m por hora. Esto es menos de 2400gh (2400 x 9.8 x 2.74 = 64.4kN/m²) y, por ende, utilice una presión máxima de 25.85kN/m².

Seleccione la tabla que dé las presiones recomendadas: Suponga que la madera contrachapada se colocará con la veta de su cara transversalmente a los soportes. Por consiguiente, vea la tabla3.

Determine el espaciamiento máximo entre soportes: Observe hacia abajo de la columna para ver si hay tableros de encofrado de concreto (hormigón) B-B de 15.9m. Esta muestra 28.5 kN/m² para soportes espaciados a 300mm de centro a centro. En este caso, 300mm es el espaciamiento máximo entre soportes que se recomienda.

Paso 2 – Selección del tamaño de viguetas, soportes y largueros.

Las cargas que soportan las viguetas de losas y los soportes y largueros de muros son proporcionales a su espaciamiento así como también a la presión máxima del concreto (hormigón). En las tablas 7 y 8 se proporciona información de diseño para los soportes de madera que soporten directamente la madera contrachapada. Observe que en las tablas se muestran claros para dos condiciones: miembros sobre 2 ó 3 soportes (1 ó 2 claros) y sobre 4 o más soportes (3 o más claros). Algunos sistemas de encofrado usan miembros con doble soporte. Aun cuando las tablas 7 y 8 son para miembros simples, se pueden adaptar para usos con miembros múltiples. El ejemplo que sigue a las tablas 7 y 8 muestra cómo tomar en cuenta esos factores.

Paso 3 – Selección de soportes para encofrados de muros

Diseñe los apoyos de bastidores (puntales) y los largueros dobles de los tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B seleccionados en el paso 1. La presión máxima del concreto es de 25.85kN/m².

Diseño de largueros: Puesto que la madera contrachapada debe soportarse a 300mm de espaciamiento de centro a centro entre soportes, espacie los puntales a 300mm de centro a centro. La carga soportada por cada puntal es igual a la presión del concreto (hormigón) multiplicada por el espaciamiento entre apoyos en metros*.

$$25.85\text{kN/m}^2 \times \frac{300}{1000} \text{ m} = 7.76\text{kN/m}$$

*Este método es aplicable a la mayoría de los sistemas de soportes (obra falsa). Presupone que la presión máxima del concreto (hormigón) es constante en todo el encofrado. La distribución real es aproximadamente más "trapezoidal" o "triangular". Los métodos de diseño para esas distribuciones se cubren en *Formwork for Concrete* del American Concrete Institute.

Suponiendo que haya puntales de abeto del Canadá número 2 o de pino sureño de 38 x 140, continuos sobre tres soportes (2 claros), en la tabla 7 se muestran claros de 1295mm para 5.84 kN por pie y un claro de 1041mm para 8.76kN por pie. Interpolando entre esos claros para una carga de 7.76kN por pie:

$$\frac{7.76 - 5.84}{8.76 - 5.84} \times (1295 - 1041) = \frac{1.92 \times 2.54}{2.92} = 167\text{mm}$$

Los puntales de 38 x 140 deben apoyarse a 1128mm de claro entre soportes. Suponga que este soporte se proporciona mediante largueros dobles de 38 x 140 espaciados a 1128mm de centro a centro.

Diseño de largueros dobles: La carga que soportan los largueros dobles es igual a la presión máxima del concreto (hormigón) multiplicada por el espaciamiento del larguero en pies, o bien,

$$25.85\text{kN/m}^2 \times \frac{1128}{1000} \text{ m} = 29.16\text{kN/m}$$

TABLA 7

ABETO DEL CANADÁ N° 2 O PINO SUREÑO N° 2

Carga uniforme equivalente (kg/m)	Continua sobre 2 ó 3 soportes (1 ó 2 claros) Tamaño nominal								Continua sobre 4 o más soportes (3 o más claros) Tamaño nominal							
	38x89	38x140	38x184	38x235	38x286	89x89	89x140	89x184	38x89	38x140	38x184	38x235	38x286	89x89	89x140	89x184
2.92	1245	1829	2311	2819	3277	1727	2565	3124	1346	1981	2489	3048	3531	2057	2997	3658
5.84	889	1295	1626	2007	2311	1346	1981	2591	965	1397	1778	2159	2489	1448	2134	2819
8.76	711	1041	1346	1626	1880	1092	1600	2134	787	1143	1448	1753	2032	1194	1727	2286
11.67	635	914	1143	1422	1626	965	1397	1829	686	991	1245	1524	1778	1041	1499	1981
14.59	559	813	1041	1270	1473	864	1245	1651	610	889	1118	1372	1575	914	1346	1778
17.51	508	737	940	1143	1346	787	1143	1499	559	813	1016	1245	1448	838	1219	1626
20.43	483	686	864	1067	1245	711	1041	1397	508	737	940	1143	1346	787	1143	1499
23.35	432	635	813	991	1168	686	991	1295	483	686	889	1067	1245	737	1067	1397
26.27	406	610	762	940	1092	635	940	1219	457	660	838	1016	1168	686	1016	1321
29.19	406	584	737	889	1041	610	889	1168	432	635	787	965	1118	660	940	1245
32.10	381	559	686	864	991	584	838	1118	406	584	762	914	1067	610	914	1194
35.02	356	533	660	813	940	559	813	1067	381	559	711	889	1016	584	864	1143
37.94	356	508	635	787	914	533	762	1016	381	559	686	838	991	559	838	1092
40.86	330	483	610	762	864	508	737	991	356	533	660	813	940	559	813	1067
43.78	330	483	584	737	838	483	711	940	356	508	635	787	914	533	787	1016
46.70	305	457	584	711	813	483	686	914	330	483	635	762	889	508	762	991
49.62	305	432	559	686	787	457	686	889	330	483	610	737	864	508	737	965
52.54	305	432	533	660	762	457	660	864	330	457	584	711	838	483	711	940
55.45	279	406	533	635	762	432	635	838	305	457	584	711	813	483	686	914
58.37	279	406	508	635	991	432	635	813	305	432	559	686	787	457	686	889
65.67	254	381	483	584	686	406	584	762	279	406	533	635	737	432	635	838
72.97	254	356	457	559	660	381	559	737	279	406	508	610	711	406	610	787

CLAROS MÁXIMOS PARA SOPORTES DE MADERA, mm

Los claros se basan en los valores permisibles de tensiones NDS 1991.

Los claros se basan en tensiones permisibles de miembro simple, en seco, multiplicadas por un factor de duración de carga de 1.25 para cargas de 7 días.

La deflexión se limita a 1/360 del tramo con 6.4-mm como máximo. Los claros se miden de centro a centro sobre los soportes. Se supone que los troncos no tienen hendiduras ni estrías en sus extremos.

La anchura asumida de los miembros de soporte (tales como los largueros) es de 8.89-cm neta (tronco doble 2 más 1.27 cm para el amarre).

Puesto que se duplican los largueros, cada uno de ellos soporta 14.58kN por pie ($29.16/2 = 14.58$). Suponiendo que haya largueros de 38x 140 continuos sobre cuatro o más soportes, en la tabla 7 se muestra un claro de 889mm para 14.59kN por pie y un claro de 991mm para 11.67kN por pie.**

La interpolación muestra que los 38x 140 pueden abarcar 889mm para 14.58kN per meter. Soporte de los 38x 140 a 889mm de centro a centro con amarres de encofrado (coloque el larguero inferior aproximadamente a 254mm de la parte inferior del encofrado).

** Las tablas 7 y 8 son para cargas uniformes: pero los largueros reciben en realidad cargas puntuales de los apoyos. Este método de aproximación a la capacidad de los largueros es adecuado cuando haya tres o más apoyos entre los amarres. Se deberá llevar a cabo un análisis de cargas puntuales cuando haya sólo uno o dos apoyos entre los amarres.

Cargas sobre los amarres: La carga sobre cada amarre es igual a la que se ejerce sobre los largueros dobles multiplicada por el espaciamiento de los amarres en pies, o sea:

$$29.16 \text{ kN/m} \times \frac{889}{1000} \text{ m} = 25.92 \text{ kN}$$

TABLA 8

ABETO DEL CANADÁ N° 2

Carga uniforme equivalente (kg/m)	Continua sobre 2 ó 3 soportes (1 ó 2 claros) Tamaño nominal								Continua sobre 4 o más soportes (3 o más claros) Tamaño nominal							
	38x89	38x140	38x184	38x235	38x286	89x89	89x140	89x184	38x89	38x140	38x184	38x235	38x286	89x89	89x140	89x184
2.92	1219	1803	2286	2794	3226	1626	2438	2972	1321	1956	2464	2997	3480	1981	2845	3480
5.84	864	1270	1600	1956	2286	1295	1930	2515	940	1372	1753	2134	2464	1422	2108	2769
8.76	711	1041	1321	1600	1854	1092	1575	2083	762	1118	1422	1727	2007	1168	1702	2261
11.67	610	889	1143	1397	1626	940	1372	1803	660	965	1219	1499	1753	1016	1473	1956
14.59	559	813	1016	1245	1448	838	1219	1626	584	864	1092	1346	1549	914	1321	1753
17.51	508	737	940	1143	1321	762	1118	1473	533	787	1016	1219	1422	838	1219	1600
20.43	457	686	864	1041	1219	711	1041	1372	508	737	940	1143	1321	762	1118	1473
23.35	432	635	813	991	1143	660	965	1270	457	686	864	1067	1245	711	1041	1372
26.27	406	610	762	940	1067	635	914	1219	432	660	813	991	1168	686	991	1295
29.19	381	559	711	889	1016	584	864	1143	432	610	787	940	1092	635	940	1245
32.10	381	533	686	838	965	559	838	1092	406	584	737	914	1041	610	889	1168
35.02	356	508	660	813	940	533	787	1041	381	559	711	864	1016	584	864	1118
37.94	330	508	635	762	889	533	762	1016	381	533	686	838	965	559	813	1067
40.86	330	483	610	737	864	508	737	965	356	508	660	813	940	533	787	1016
43.78	305	457	584	711	838	483	711	940	356	508	635	787	889	533	762	991
46.70	305	457	559	686	813	457	686	914	330	483	610	762	864	508	737	965
49.62	305	432	559	686	787	457	660	889	330	483	584	737	838	483	711	914
52.54	279	432	533	660	762	432	635	864	305	457	584	711	813	483	711	889
55.45	279	406	533	635	737	432	635	838	305	457	559	686	787	457	686	889
58.37	279	406	508	610	711	432	610	813	305	432	559	660	787	457	660	864
65.67	254	381	483	584	686	406	584	762	279	406	508	635	737	432	635	813
72.97	254	356	457	559	635	381	559	737	254	381	483	610	686	406	584	787

CLAROS MÁXIMOS PARA SOPORTES DE MADERA, mm

Los claros se basan en los valores permisibles de tensiones NDS 1991.

Los claros se basan en tensiones permisibles por miembro simple, en seco, multiplicadas por un factor de 1.25 de duración de carga para cargas de 7 días.

La deflexión se limita a 1/360 del tramo con 6.4 mm como máximo. Los claros se miden de centro a centro sobre los soportes. Se supone que los troncos no tienen hendiduras ni estrías en sus extremos.

La anchura presupuesta de los miembros de soporte (tales como los largueros) es de 8.89-cm neta (tronco doble 2 más 1.27-cm por el amarre).

Si la carga aceptable en el amarre es de menos de 25.92kN, disminuya el espaciado en consecuencia. Por ejemplo, un amarre con 22.24kN de carga permisible se debería espaciar no más que:

$$\frac{22.24}{29.16} \times 1 \text{ m} = 0.76\text{m}$$

En la figura 1 se muestra el diseño final resultante del problema de ejemplo.

Otras cargas en los encofrados

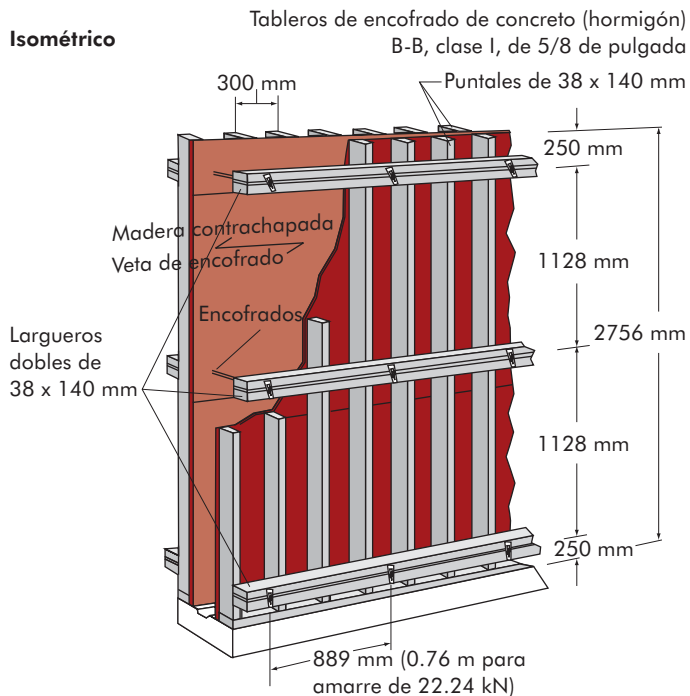
Los encofrados de concreto deben ser apuntalados contra cargas laterales debidas al viento y otras cargas de construcción. Diseño de encofrados para cargas laterales debidas al viento de cuando menos 0.146kN por metro cuadrado – o mayores, si lo requieren los reglamentos locales. En todos los casos, los encofrados de más de 2.44m de altura se deberán diseñar para que soporten por lo menos 1.46kN por metro lineal, aplicadas en la parte superior.

Los encofrados de muros se deberán diseñar para soportar presiones eólicas aplicadas desde cualquier lado. Se pueden diseñar puntales de madera inclinados para absorber tanto la tensión como la compresión, de modo que se podrán usar puntales en un solo lado. Los puntales de madera se deberán diseñar de tal modo que no se pandeen bajo cargas de compresión axial. Por otra parte, el arriostramiento con tensores de alambre puede resistir sólo las cargas de tensión. Si se usa éste último tipo, será necesario aplicarlo a ambos lados del encofrado.

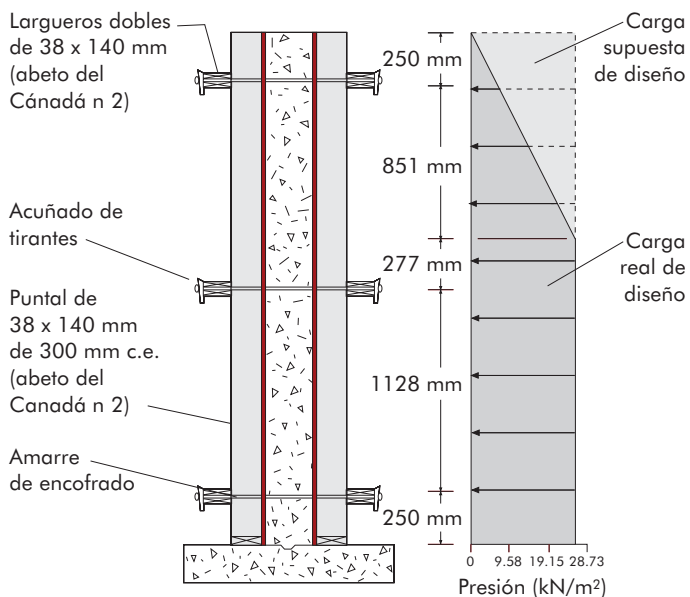
En general, el apuntalamiento contra el viento resistirá también las fuerzas ascendentes ejercidas sobre el encofrado, a condición de que éste sea vertical. Si el encofrado está inclinado, las fuerzas ascendentes pueden ser importantes. En algunos casos se podrán requerir amarres y anclajes especiales.

FIGURA 1

SOLUCIÓN FINAL PARA EL DISEÑO DE ENCOFRADOS DE CONCRETO (HORMIGÓN) - EJEMPLO 1



Sección de corte transversal



En la mayoría de los encofrados, lo mejor es sujetar los tableros de encofrado de concreto (hormigón) B-B al armazón con tan pocos clavos como sea posible. Para los encofrados de losas, cada tablero se deberá clavar por lo menos en sus esquinas. Utilice clavos 5d para tableros de encofrado de concreto (hormigón) B-B de 15.1mm y 15.9mm y 6 d para los de 18.3mm y 19.1 mm. En casos especiales, tales como los encofrados múltiples o agrupados y curvos, puede requerirse el uso de más clavos. No ajuste los tableros a tope demasiado apretados, sobre todo en el primer colado.

DATOS DE INGENIERÍA

El calculista de encofrados puede encontrar claros y condiciones de carga no cubiertos en las tablas previas. Esta sección se incluye para el ingeniero o diseñador de encofrados que requiere un análisis más amplio de ingeniería.

Presión del concreto (hormigón)

Como se explicó anteriormente, la presión máxima del concreto (hormigón) dependerá de varios factores. Suponiendo que se trate de concreto (hormigón) regular (7.18kN/m²), hecho con cemento de tipo I, sin contenido de pozolanas o mezclas, con un asentamiento de 101.6 mm y vibración limitada a la interna normal a una profundidad de 1.22 m o menos, el American Concrete Institute (Instituto Estadounidense del Concreto u Hormigón) recomienda las fórmulas que siguen para determinar la presión de diseño:

a. Para trabajos ordinarios con vibraciones internas normales en columnas,

$$P = \left[150 + 29,520 \frac{R}{1.8T + 32} \right] \times 0.047875$$

(máximo 144 kN/m² o 2400gh, según lo que sea menos)

b. Para trabajos ordinarios con vibración interna normal en muros con una velocidad de colocación de hasta 2.13 m por hora:

$$P = \left[150 + 29,520 \frac{R}{1.8T + 32} \right] \times 0.047875$$

(máximo de 95.75 kN/m² o 2400gh, según lo que sea menos)

c. Para trabajos ordinarios con vibraciones internas normales en muros, con una velocidad de colocación de 2.13 a 3.05 m por hora:

$$P = \left[150 + \frac{43,400}{1.8T + 32} + \frac{9,184R}{1.8T + 32} \right] \times 0.047875$$

(máximo de 95.75 kN/m² o 2400gh, según lo que sea menos)

d. Para muros con una velocidad de colocación de más de 3.05 m por hora:

$$P = 2400gh$$

en donde:

P = presión lateral, kN/m²

R = velocidad de vertido de colado, metros por hora

T = temperatura del concreto (hormigón), en grados Centígrados.

h = altura de concreto fresco por encima del punto considerado, metros.

Estas fórmulas se presentan gráficamente en la figura 2 para diversas combinaciones de velocidad de vaciado de colado y temperatura.

Propiedades de sección (corte transversal) de la madera contrachapada

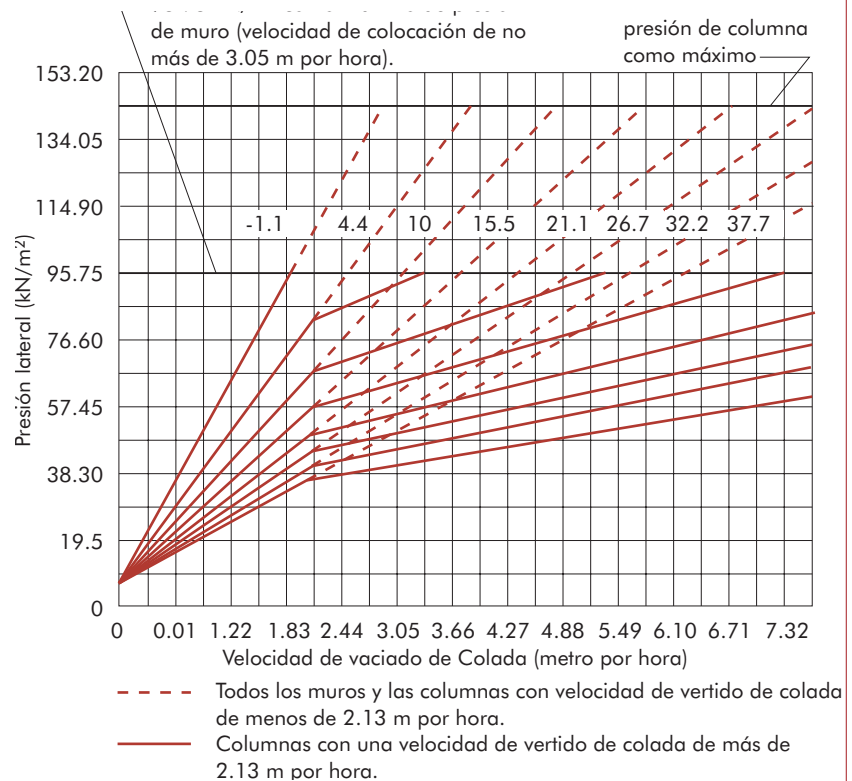
Las diversas especies de madera utilizadas en la fabricación de la madera contrachapada tienen diversas propiedades de rigidez y resistencia. Las que tienen propiedades similares son asignadas a un grupo de especies. Con el fin de simplificar el diseño de la madera contrachapada, se han tomado en cuenta los efectos del empleo de diversos grupos de especies en un tablero, así como también, los de la construcción de bandas cruzadas para evaluar las propiedades de sección (corte transversal) que aparecen en la tabla 9. Al calcular dichas propiedades de sección de corte transversal, se “transformaron” todas las capas a las propiedades de la cara. En consecuencia, el diseñador no tiene necesidad de preocuparse de la unión real de chapas de madera en los tableros, sino tan sólo de los esfuerzos admisibles para la chapa de la cara y de las propiedades de la sección de corte transversal dada. Por favor, observe que esas propiedades son para tableros de encofrado de concreto (hormigón) B-B de las clases I y II y estructural I. Para otros grados de madera contrachapada, vea las tablas de propiedades de sección de corte transversal en la publicación *Plywood Design Specification* (Form Y510).

Esfuerzos de la madera contrachapada

La publicación *Plywood Design Specification* proporciona los esfuerzos básicos de diseño de la madera contrachapada. Puesto que el encofrado de concreto (hormigón) es una aplicación especial, se deberán utilizar esfuerzos húmedos y ajustarse para condiciones de encofrado tales como la duración de la carga y un factor de experiencia.

FIGURA 2

PRESIONES LATERALES DE CONCRETO PARA DIVERSAS TEMPERATURAS*



	Tableros de encofrado de concreto B-B estructural I	Tableros de encofrado de concreto B-B de clase I	Tableros de encofrado de concreto B-B de clase II
Módulo de elasticidad – E (kN/m ² , ajustadas, usadas en cálculos de deflexión)	11,375,100	9,858,420	11,375,100
Módulo de elasticidad – E _g (kN/m ² , no ajustadas, usadas para cálculos de esfuerzos cortantes de deflexión)	10,341,000	8,962,200	10,341,000
Esfuerzo de flexión – F _b (kN/m ²)	13,305	9,169	13,305
Esfuerzo cortante de laminación – F _s (kN/m ²)	496	496	703

TABLA 9

PROPIEDADES DE SECCION (CORTE TRANSVERSAL) PARA TABLEROS DE ENCOFRADO DE CONCRETO (HORMIGÓN) B-B, DE CLASES I Y II Y ESTRUCTURAL I^(a)

Espesor (mm)	Peso aproximado (kN/m ²)	Propiedades para esfuerzos aplicados paralelamente a la veta de la cara			Propiedades para esfuerzos aplicados perpendicularmente a la veta de la cara		
		Momento de inercia I (mm ⁴ /m)	Sección efectiva de módulo KS (mm ³ /m)	Constante de cortante al rodamiento, (mm ² /m)	Momento de inercia I (mm ⁴ /m)	Sección efectiva de módulo KS (mm ³ /m)	Constante de cortante al rodamiento, (mm ² /m)
CLASE I							
11.9	0.07	90129	13118	10039	24581	5753	5120
12.7	0.07	105150	14409	10907	32774	6989	5798
15.1	0.08	157043	18011	11510	39602	7849	5999
15.9	0.09	177527	19247	12101	51892	9409	6549
18.3	0.10	245806	23118	14836	98322	13280	8039
19.1	0.11	271752	24462	15212	125634	16452	8600
22.2	0.12	404214	31398	18108	206204	22688	12759
25.4	0.14	583106	39624	19842	368709	34086	14846
28.6	0.16	756536	45645	22077	543504	42957	17820
CLASE II							
11.9	0.07	86032	13064	9523	20484	7419	5152
12.7	0.07	102419	14355	10353	27312	8978	5772
15.1	0.08	157043	17957	11273	34140	10108	5952
15.9	0.09	177527	19194	11839	43699	12097	6507
18.3	0.10	245806	23188	13767	81935	17043	8003
19.1	0.11	270387	24409	14036	102419	21075	8570
22.2	0.12	409677	31774	16912	167967	29140	12694
25.4	0.14	574913	40538	18233	300430	43656	14789
28.6	0.16	772923	46720	20259	441085	55000	17755
ESTRUCTURAL I							
11.9	0.07	91494	13226	9531	28677	7903	5091
12.7	0.07	106516	14570	10389	39602	9570	5768
15.1	0.08	158408	18172	10621	46430	10699	5950
15.9	0.09	178892	19409	11129	61451	12796	6505
18.3	0.10	249903	23602	12931	116075	18172	8001
19.1	0.11	275849	24946	13100	147484	22473	8566
22.2	0.12	432892	33656	15958	244440	31129	12681
25.4	0.14	654117	44462	16887	438354	46774	14776
28.6	0.16	850762	51344	18713	647289	59032	17731

(a) Las propiedades de corte transversal que se presentan aquí son específicamente para tableros de encofrado de concreto (hormigón) B-B, con sus consideraciones especiales de unión de placas. Para otras clases, las propiedades de corte transversal se enumeran en las Especificaciones de diseño de madera contrachapada, página 16.

En general, los parámetros “húmedos” de diseño se ajustan, multiplicándolos por todos y cada uno de los factores siguientes:

Cuando se calcula la deflexión de esfuerzo cortante por separado de la desviación de flexión, como se hizo al preparar las tablas 3 a 6, el módulo de elasticidad utilizado para calcular la desviación de flexión se podrá aumentar un 10 por ciento.

Estos ajustes dan como resultado los esfuerzos que se muestran en la tabla que antecede.

Presiones recomendadas del concreto (hormigón)

Las presiones recomendadas del concreto se ven afectadas por la cantidad de claros continuos. Para la veta de cara transversal los soportes, presuponga 3 claros continuos con un espaciamiento entre soportes de 800mm y 2 claros para los mayores. Para vetas de cara paralelas a los soportes, presuponga 3 claros de hasta 400mm y 2 claros para 500 y 600mm. Estas son sólo reglas generales. Para aplicaciones específicas pueden aplicarse otras relaciones de continuidad de claros.

Al calcular presiones recomendadas, use distancias de centro a centro entre soportes para presiones basadas en esfuerzos de flexión. Las pruebas han demostrado que se pueden utilizar claros más cortos, abertura libre (claro) + 6.4mm para determinar la carga sobre la base de la rigidez o la deflexión para soportes nominales de 38mm, con abertura libre + 15.9mm para soportes nominales de 89mm. Use la abertura libre para calcular el esfuerzo cortante y la deformación (deflexión por cortante).

	Duración de carga	Factor de experiencia
Esfuerzo de flexión (F_b)	1.25	1.30
Esfuerzo cortante de laminación (F_s)	1.25	1.30

En algunas aplicaciones de encofrado, pueden no ser aplicables todos los ajustes de esfuerzos. Por ejemplo, en el caso de los tableros de encofrado de concreto (hormigón) B-B HDO, puede que no sean aplicables los esfuerzos para lugares húmedos si los cantos de los tableros están sellados de modo apropiado para mantener un contenido de humedad de menos del 16 por ciento.

Las presiones aceptables para diversos claros se pueden determinar por medio de fórmulas tradicionales de ingeniería. Las que se dan a continuación se ajustaron para compensar el uso de unidades mixtas y se emplearon al preparar las tablas 3 a 6.

Presiones controladas por el esfuerzo de flexión:

$$w_b = \frac{8 F_b KS}{\ell_1^2} \times 10^{-3} \text{ para 2 claros; } = \frac{10 F_b KS}{\ell_1^2} \times 10^{-3} \text{ para 3 claros}$$

w_b = carga uniforme (kN/m²)

F_b = esfuerzo de flexión (kN/m²)

KS = módulo de sección real (mm³/m)

ℓ_1 = claro, centro a centro de soportes (mm).

Presión controlada por esfuerzo cortante:

$$w_s = \frac{1.6 F_s (\text{lb/Q})}{\ell_2} \times 10^{-3} \text{ para 2 claros; } = \frac{1.667 F_s (\text{lb/Q})}{\ell_2} \times 10^{-3} \text{ para 3 claros}$$

w_s = carga uniforme (kN/m²)

F_s = esfuerzo cortante de laminación (kN/m²)

lb/Q = constante de cortante rodante (mm³/m)

ℓ_2 = abertura libre (mm)

Deflexión*:

$$\Delta_b = \frac{w \ell_3^4}{185 EI} \times 10^3 \text{ para 2 claros; } = \frac{w \ell_3^4}{145.25 EI} \times 10^3 \text{ para 3 claros}$$

Δ_b = desviación de flexión (mm)

w = carga uniforme (kN/m²)

ℓ_3 = abertura libre + 6.4mm para armazón de 38mm y + 15.9mm para armazón de 89mm

E = módulo de elasticidad, ajustado (kN/m²)

I = momento de inercia (pulg/pie)

Deflexión (Deformación) por esfuerzo cortante*:

$$\Delta_s = \frac{Cwt^2 \ell_2^2}{105.833E_e I} \times 10^3$$

Δ_s = deflexión por esfuerzo cortante (mm)

C = constante, igual a 120 para veta de cara transversal a soportes y 60 para veta paralela a estos últimos

t = espesor de la madera contrachapada (mm)

E_e = módulo de elasticidad, no ajustado (kN/m²)

El ejemplo que sigue ilustra el procedimiento para calcular las presiones aceptables por medio de fórmulas de ingeniería. La presión aceptable es la menor de las calculadas para el esfuerzo de flexión, el cortante y la deflexión.

Ejemplo 2:

¿Cuál es la presión recomendada para tableros de encofrado de concreto (hormigón) B-B de 19.1 mm, de clase I, con la veta de la cara transversal a los soportes, con espaciamiento de 400mm sobre centros, si la deflexión es de no más de 1/360? Suponga que el soporte nominal es de 38mm.

Puesto que el claro es de menos de 800mm, suponga que hay 3 claros. A partir de la tabla 9, las propiedades de sección de corte transversal de los tableros para encofrados de concreto (hormigón) B-B de 19.1 mm, de clase I, son:

$$I = 271,752\text{mm}^4/\text{m}$$

$$KS = 24,462\text{mm}^3/\text{m}$$

$$Ib/Q = 15,212\text{mm}^2/\text{m}$$

Esfuerzos de diseño:

$$E = 11,375,100\text{kN/m}^2$$

$$E_e = 10,341,000 \text{ kN/m}^2$$

$$F_b = 13,305\text{kN/m}^2$$

$$F_s = 49.6\text{kN/m}^2$$

Claros para el cálculo:

$$\ell_1 = \text{claro, centro a centro de soportes} = 400\text{mm}$$

$$\ell_2 = \text{abertura libre} = 400\text{mm} - 38\text{mm} = 362\text{mm}$$

$$\ell_3 = \text{abertura libre} + 6.4\text{m} = 362\text{mm} + 6.4\text{mm} = 368.4\text{mm}$$

Presión basada en el esfuerzo de flexión:

$$w_b = \frac{10 F_b KS}{\ell_1^2} \times 10^{-3} = \frac{10 \times 13,305 \times 24,462}{(400)^2} \times 10^{-3} = 20.34 \text{ kN/m}^2$$

Presión basada en el esfuerzo cortante:

$$w_s = \frac{1.667 F_s (Ib/Q)}{\ell_2} \times 10^{-3} = \frac{1.667 \times 49.6 \times 15,212}{362} \times 10^{-3} = 34.75 \text{ kN/m}^2$$

Presión basada en la deflexión:

a) Determine la deflexión aceptable:

$$\Delta_{\text{aceptable}} = \frac{\ell_1}{360} = \frac{400}{360} = 1.111 \text{ mm}$$

b) Determine la deflexión por esfuerzo cortante debido a una carga de 1kN/m²:

$$\Delta_s = \frac{Cwt^2\ell_2^2}{105.833 E_c I} \times 10^3 = \frac{120 \times 1.0 \times (19.1)^2 \times (362)^2}{105,833 \times 10,341,000 \times 271,752} \times 10^3 = 0.0193 \text{ mm}$$

c) Encuentre la desviación de flexión que se debe a una carga de 1kN/m²:

$$\Delta_b = \frac{w\ell_3^4}{145.25 EI} \times 10^3 = \frac{1.0 \times (368.4)^4}{145.25 \times 11,315,000 \times 271,752} \times 10^3 = 0.0410 \text{ mm}$$

d) Presión aceptable:

$$w_{\Delta} = \frac{\Delta_{\text{ace}}}{\Delta_s + \Delta_b} = \frac{1.111}{0.0193 + 0.0410} = 18.42 \text{ kN/m}^2$$

RESUMEN

$$w_b = 20.34 \text{ kN/m}^2$$

$$w_s = 34.75 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{\Delta} = 18.42 \text{ kN/m}^2$$

Por consiguiente, 18.42 kN/m² es la presión aceptable*.

*Las presiones que aparecen en las tablas 3 a 6 se determinaron por análisis de computadora con valores dados para esfuerzos de diseño y propiedades de corte de sección transversal redondeadas matemáticamente. En consecuencia, las presiones determinadas mediante cálculos manuales pueden no coincidir exactamente con las que las proporcionadas en las tablas.

ESTUDIOS CASUÍSTICOS

El sofisticado sistema de Encofrado deslizante (“cimbra trepadora”) se basa en superficies de madera contrachapada recubierta, lisa y duradera para el colado de concreto (hormigón)

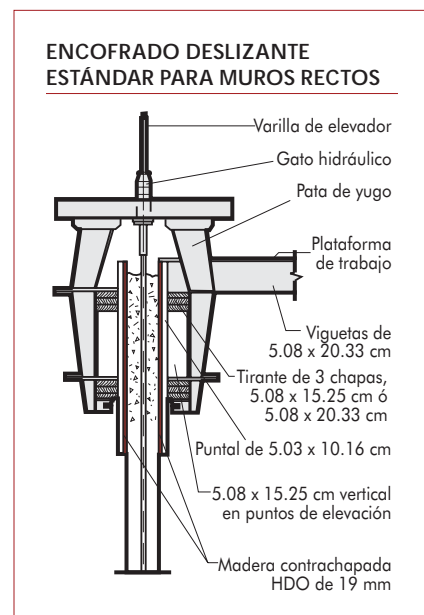
Con una planeación apropiada, una programación precisa y un equipo de trabajadores bien preparados, el encofrado deslizante puede ahorrar tiempo y mano de obra.

Cuanto mayor sea el proyecto, tanto más imperativa es la necesidad de precisión – y tanto menor el margen de error.

La estructura que aquí se presenta se construyó con un sistema clásico de encofrado deslizante desarrollado por Heede International, de San Francisco, una empresa que se especializa en diseños y equipos de encofrados deslizantes. Heede ha diseñado y supervisado operaciones de encofrados deslizantes para estructuras de hasta 30pisos de altura, con más de 139,355m² de área interior.

Este edificio es de apartamentos, de 15pisos, situado en San Francisco. Los encofrados deslizantes de 1.22 m de profundidad avanzaron a razón de 38.1cm por hora durante el proceso de deslizamiento, para completar una altura de un piso en 8 horas, funcionando con un turno (dos equipos de tres hombres por cada semitorre).

El encofrado básico utilizado por Heede (vea el dibujo) es relativamente sencillo y a prueba de errores. El material preferido de encofrado es madera contrachapada de recubrimiento de alta densidad de 19.1 mm. Estos tableros, que se pueden conseguir con facilidad, proporcionan una superficie lisa y uniforme. Resistentes y duraderos, los tableros funcionaron bien durante todo el proceso de construcción y todavía se pudieron volver a emplear en otros proyectos. La misma madera contrachapada HDO se usa con frecuencia en sistemas patentados de encofrados rentados, donde son comunes 200 reutilizaciones o más.



Los encofrados de madera con diseño de ingeniería y el concreto (hormigón) postensado (reforzado) se combinan para obtener soluciones innovadoras en garajes de estacionamiento

Cuando el Puerto de Seattle decidió agregar 117,058 m² de espacio de estacionamiento en el Aeropuerto Internacional de Seattle-Tacoma, los encofrados agrupados y los de losas armadas con miembros de madera de diseño de ingeniería y maderas contrachapadas HDO y MDO ahorraron dinero y materiales.



El encofrado de los muros y la torre de ocho pisos del ascensor se realizaron con encofrados agrupados o múltiples, con soportes de puntales y largueros de chapas de madera laminada (LVL). Los encofrados de losas se enmarcaron con viguetas I de madera.

“La razón principal por la que utilizamos las viguetas I es que permiten claros más largos que los que se pueden obtener incluso con aluminio y pesan menos que las de acero”, explica Brian Blount, ingeniero de proyectos de la Nelson Concrete Company.

El peso ligero de los productos de madera de diseño de ingeniería proporcionó una ventaja evidente sobre el acero, según Blount. Sobre todo porque los encofrados se fabricaron en la planta de la Nelson en Portland, Oregon, y se transportaron por carretera al sitio de la construcción.

Las losas de concreto (hormigón) tienen sólo 15.24 cm de espesor debido al refuerzo del postensado. Las losas originales del garaje de estacionamiento se moldearon con encofrados metálicos de molde reticular. Según Blount, los encofrados de molde reticular para la ampliación hubieran sido más costosos porque requieren más tiempo y una mayor cantidad de materiales.

“La ventaja de estos tipos de encofrados es que se pueden desplazar los materiales de encofrado con mayor rapidez y con muchas menos personas”, dice Herb Dunphy, el ingeniero que diseñó el sistema de encofrado para Formwork Engineering. “La velocidad y el ahorro de mano de obra son las ventajas primordiales”, explica Dunphy.

La rigidez excepcional de los largueros con chapas laminadas (LVL) y las viguetas I de madera mantuvieron la deflexión en un mínimo y dieron como resultado un acabado casi arquitectónico en el concreto (hormigón). Además, los encofrados tuvieron en promedio 24 colados cada uno de ellos antes de que se recubrieran y volvieran a ponerse en servicio.

Expresión arquitectónica sutil alcanzada con un método de encofrado simple y práctico.

La iglesia que se muestra a la derecha la diseñó Paul Thiry, FAIA, para darle al material una expresión tan directa y simple como fuera posible – la iglesia parece de concreto (hormigón), con la misma sencillez con la que algunas iglesias de piedra de otras épocas parecen de piedra.

El material de encofrado de madera contrachapada se presenta de modo igualmente directo. Se utilizó madera contrachapada no lijada, sin intentar obtener un acabado más liso que el que proporcionaba el colado mismo. El resultado es una conciencia del material de encofrado, así como de la superficie acabada, sin ocultamientos ni excusas.



Ese tratamiento – o esa falta de él – ayudó a alcanzar el objetivo arquitectónico subyacente: una estructura con un propósito elevado y producida con materiales humildes.

La realización es especialmente notable porque fue posible el método estructural más simple y menos complicado. Al realzar el carácter de los materiales básicos – madera contrachapada y concreto (hormigón)–, en lugar de tratar de ocultarlos, el arquitecto obtuvo una estructura práctica y económica de un gran mérito estético.

La madera de diseño de ingeniería da forma a la historia estatal: tableros de madera estructurales utilizados para el encofrado de arcos macizos de concreto (hormigón).

Fue evidente desde el principio que la construcción del edificio del Washington State History Museum, en Tacoma, Washington, iba a ser un verdadero desafío. No sólo fue el museo mismo un proyecto de perfil elevado, en un lugar destacado del centro de la ciudad de Tacoma, sino que, además, el proyecto representaba la construcción de una serie espectacular de once arcos de concreto (hormigón) reforzado de 16.76 m de altura, que se diseñaron para acentuar la fachada del edificio y combinarse con la cercana e histórica Union Station.

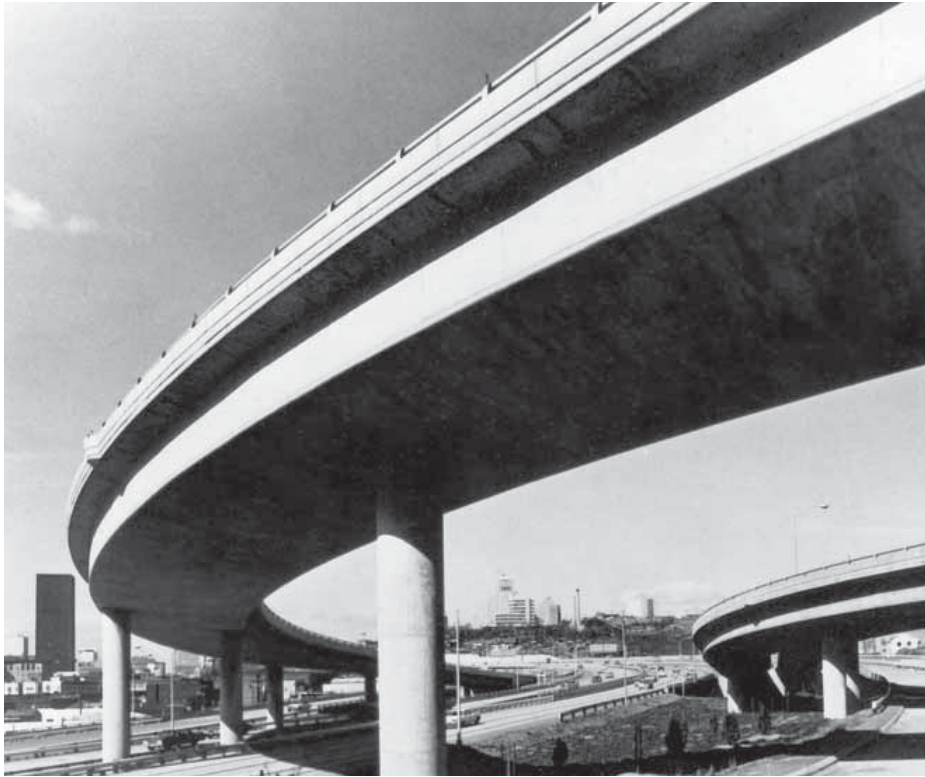


Esta última estructura es un edificio enorme de mampostería, construido en 1911, con cuatro arcos abovedados que forman una cúpula central. El objetivo de la Washington State Historical Society (Sociedad Histórica del Estado de Washington) fue construir una estructura de categoría mundial, manteniendo al mismo tiempo la arquitectura histórica de la antigua estación ferroviaria. La Historical Society se puso en contacto con Moore/Anderson Architects, una empresa de diseño con sede en Texas, para que diseñaran las instalaciones.

Moore/Anderson diseñó los once arcos de concreto (hormigón) reforzado de 16.76 m de altura para que coincidieran con la altura y la escala de los de Union Station. De los once arcos, cuatro van en dirección este – oeste y el resto se intersectan y van en dirección norte – sur.

El equipo de construcción edificó un encofrado curvo de 2073m² compuesto de tableros superpuestos de madera contrachapada de alta densidad (HDO) para encofrar un arco simple. Se utilizaron más de 4,000 tableros de madera contrachapada HDO para crear secciones de encofrados agrupados. “El primer arco requirió cuatro semanas”, recuerda Eric Holopainen, gerente superior de proyecto de la Ellis-Don Construction Co., el contratista general. “Para cuando concluimos el segundo ciclo de la sección, necesitamos tan sólo 15 días”.

Mediante la utilización de madera contrachapada HDO, Holopainen pudo utilizar los tableros siete veces al vaciar los otros arcos. Resultó esencial un modelo a escala para determinar cómo se tenderían los tableros en los encofrados curvos.



Tableros de usos múltiples contribuyen a moldear un proyecto de autopista lleno de gracia.

Los requisitos de encofrados en intercambios complejos de autopistas pueden ir desde muros de contención relativamente simples a puentes voladizos moldeados sobre andamiajes muy complejos.

Todos los tipos de retos se encontraron presentes en el intercambio de Spokane Street en la Interestatal 5, en Seattle, Washington, una ciudad cuyas principales arterias llegan a ella bordeando las vías acuáticas y las colinas circundantes.

Los puentes elevados que se muestran se moldearon con tableros de encofrado de concreto (hormigón) clase B-B apoyados en andamios de madera maciza muy complejos. Los mismos tableros se reutilizaron una y otra vez, recortándose con frecuencia para adaptarse a nuevas curvas y formas.

Una de las características inusuales del proyecto es la de los muros de contención precolados requeridos para 2440m de la autopista que se empotraron en la ladera de una colina. El colado de los muros en el sitio hubiera requerido tener que esperar al clima y al acabado de varias operaciones de movimiento de tierras. El método más económico resulto ser el precolado. Las plataformas para los lechos de colada fueron de madera contrachapada lisa de 19.1 mm. Sobre ella, a intervalos de 1.22 m, el contratista tendió tableros de madera contrachapada estriada de 19.1 mm, de cara hacia arriba. Las secciones de muros resultantes tienen una superficie texturizada agradable. Se hicieron hasta 10 colados sobre un encofrado antes de desmantelarlo y, además, la madera contrachapada volvió a utilizarse para encofrados de plataformas del puente.

La mayoría de los tableros de muro se colaron en claros de 7.32 m, algunos de los cuales pesaban más de 50 toneladas. Las secciones más altas (de un máximo de 10.36 m) se colaron en tramos de 2.44 ó 3.66 m de longitud.

Ocho puentes de la fase final del Dallas Central Expressway se encofraron con HDO.

Quienes se dirigen a sus trabajos ven cambios lentos, aunque constantes, en la construcción de carreteras, al acercarse a su realización completa la fase final del proyecto del Dallas Central Expressway, de cinco años de duración. Se entrelazaron ocho puentes en este claro de 3.7 km de la autopista, creando retos importantes en cada curva. La complejidad del proyecto – con diversos ángulos y diferentes curvas de los puentes, 9,290 metros cuadrados de muros de retención y 6,503 metros cuadrados de voladizos en cantiliver– hicieron que los versátiles encofrados de concreto (hormigón) de madera de diseño de ingeniería fueran una opción ideal.

Para dar acomodo a la variabilidad de formas y hacer que los colados fueran más manejables, se dividieron todos y cada uno de los puentes en esquinas – 32 en total. Los equipos de construcción de la Granite Construction Company, el contratista general, habilitaron encofrados curvos para colar segmentos de puentes, compuestos de tableros de madera contrachapada de recubrimiento de alta densidad (HDO).



Además de la necesidad de versatilidad, la naturaleza muy visible de la superficie indicó que los encofrados debían tener una gran capacidad de reutilización, manteniendo al mismo tiempo una superficie de calidad superior para el concreto (hormigón) acabado. La superficie lisa y dura de la madera HDO le dio al concreto (hormigón) una superficie casi pulida, incluso al cabo de muchos colados. Utilizando HDO de 19.1 mm, la Granite logró ahorrar dinero al utilizar los tableros en los encofrados de voladizos durante más de 20 colados antes de darles la vuelta a su segunda cara. La flexibilidad y reusabilidad de los tableros de madera HDO de diseño de ingeniería permitieron también que se usaran los mismos encofrados curvos en 6 de los 8 puentes.

Otro obstáculo en este proyecto fue la coordinación de colados, de tal modo que muchos propietarios de casas y dueños de empresas y sus clientes tuvieran todavía acceso a los restaurantes adyacentes, hogares y edificios de oficinas. Esto significó que la compleja autopista se construyera en porciones y segmentos pequeños. Los encofrados curvos de HDO hicieron que a los equipos de construcción les resultara más sencillo ajustar los encofrados para el colado de segmentos más pequeños.

Otro reto adicional para los contratistas del proyecto fue el de mantener bajo el factor de desperdicios en un proyecto de esa magnitud, un tema crucial en lo que se refiere a los costos y el ambiente. Se utilizaron aproximadamente 4,000 tableros de HDO de 1220 x 2440mm para crear los encofrados curvos para las diversas colados – una cantidad baja para un proyecto de esa magnitud.



Sistema de Alojamiento de Sala de Asambleas (Assembly Hall Shell) encofrado con materiales utilizados primeramente en colados del piso principal y en los arbotantes.

Como en muchos proyectos, esta estructura de cubierta en concha se construyó durante un periodo que abarcó varias estaciones del año. Por consiguiente, el proceso de encofrado tuvo lugar durante una gama amplia de condiciones meteorológicas.

Las cualidades de aislamiento natural de la madera contrachapada contribuyeron a suavizar las curvas de temperaturas, proporcionando condiciones de fraguado más congruentes.

La estructura es un foro de 18,000 asientos para espectadores, en la Universidad de Illinois. Los 48 arbotantes se construyeron con seis encofrados de madera contrachapada y el mismo material se reutilizó en los seis encofrados móviles que se utilizaron en el sistema del techo. El alojamiento se compone de 24 segmentos de placas plegadas. El sistema de madera contrachapada permitió un cronograma que dio como resultado la realización completa de dos colados de segmentos del techo por semana.

Los tres anillos de concreto (hormigón), que constituyen el sistema de soporte, se encofraron también con madera contrachapada: la base circular continua para los contrafuertes, al aro de compresión en la parte superior de la cúpula y la viga del extremo del postensado en la unión de la cápsula superior y la inferior, que soporta el techo de 6,000 toneladas.

La madera contrachapada demostró su versatilidad en este trabajo, funcionando como material caballito de batalla en los colados de la cimentación maciza y también como superficie de encofrado de precisión al reutilizarse en el complejo sistema de la techumbre en forma de concha.

Las propiedades mecánicas de la madera contrachapada contribuyen a su versatilidad, pero hay otros valores tan evidentes que con frecuencia se pasan por alto. Entre estos se encuentran el hecho de que el material está disponible en una amplia selección de espesores; se puede trabajar con él con facilidad y rapidez para darle acabados y formas diversas, utilizando herramientas ordinarias y capacidades estándar de carpintería. La naturaleza del material es de índole tal que es posible una improvisación sin reelaboraciones complejas de un sistema básico.



**DO THE RIGHT THING RIGHT™
(HAGA BIEN LO QUE ES CORRECTO)**

La madera es buena. Es el material de construcción natural, renovable y eficiente en energía de la tierra.

La madera de diseño de ingeniería es una utilización más eficiente de dicho material. Usa menos madera para obtener más productos.

Es por esto que el uso de las viguetas I American (estadounidenses), los tabloncillos laminados y encolados, las chapas laminadas, la madera contrachapada y las tablas de vetas orientadas son lo mejor que se puede utilizar.

Unos cuantos datos sobre la madera.

▪ **No se están agotando los árboles.** Una tercera parte de la base de terreno de los Estados Unidos – 292.4 millones de hectáreas— está cubierto de bosques. Aproximadamente las dos terceras partes de esas 292.4 millones de hectáreas son apropiadas para la reforestación y aprovechamiento de madera repetidos. Sin embargo, apenas la mitad de los terrenos apropiados para la producción de madera de aserradero están abiertas para la silvicultura. La mayor parte de los terrenos cosechables están también abiertos para otros usos, tales como campamentos, caminatas, caza, etc.

▪ **Producimos más madera cada día.** Los terratenientes estadounidenses plantan más de dos mil millones de árboles cada año. Además, muchos millones más de árboles crecen naturalmente. La industria de los productos forestales, que incluye a aproximadamente el 15 por ciento de los propietarios de tierras de bosques, es responsable del 41 por ciento de las extensiones silvícolas replantadas. Esto equivale a más de mil millones de árboles, o sea, aproximadamente tres millones de árboles plantados cada día. Esta tasa elevada de reforestación es la causa de que cada año se cultiven 27 por ciento más madera de aserradero que la que se cosecha.

Material	Porcentaje de producción	Porcentaje de uso de energía
Madera	47	4
Acero	23	48
Aluminio	2	8

▪ **La madera de fabricación es eficiente en energía.** Los productos de madera constituyeron el 47 por ciento de todas las materias primas industriales producidas en los Estados Unidos y, sin embargo, consumieron menos del 4 por ciento de la energía necesaria para fabricar todas las materias primas industriales, según un estudio de 1987.

▪ **Buenas noticias para un planeta sano.** Por cada tonelada de madera que se produce, un bosque joven genera 1.07 toneladas de oxígeno y absorbe 1.47 toneladas de dióxido de carbono.

Madera. Es el producto apropiado para el ambiente.

Encofrado de Concreto (Hormigón)

Contamos con representantes que pueden ayudarle. Para obtener asistencia técnica, promocional o de diseño, o información adicional sobre paneles y aplicaciones con la marca registrada APA, comuníquese con la APA.

OPERACIONES INTERNACIONALES

7011 So. 19th St. ■ Tacoma, Washington 98466 ■ (253) 565-6600 ■ Fax: (253) 565-7265

www.apawood.org



PRODUCT SUPPORT HELP DESK

(253) 620-7400 ■ E-mail Address: help@apawood.org

NEGADOR

Las recomendaciones contenidas en esta publicación sobre el uso de los productos están basadas en los programas continuos de la APA – The Engineered Wood Association, en pruebas de laboratorio, investigación del producto y experiencia práctica. Sin embargo, debido a que la Asociación no tiene control sobre la calidad de la mano de obra o las condiciones bajo las cuales se utilizan sus productos de madera, no puede aceptar responsabilidad por el rendimiento del producto o de los diseños usados en la construcción. Debido a que los requerimientos para el rendimiento de productos estructurales de madera varían de acuerdo con la zona de instalación, consulte con un arquitecto, ingeniero o profesional de diseño local para asegurar que se cumple con los requisitos de código, construcción y uso.

Form No. EXP G840D LA/Revised May 2002

