

## SECCIÓN 9 (SI) - TABLEROS Y SISTEMAS DE TABLERO

### CONTENIDO

9.1	CAMPO DE APLICACIÓN .....	9-1
9.2	DEFINICIONES .....	9-1
9.3	SIMBOLOGÍA.....	9-4
9.4	REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO .....	9-5
9.4.1	Acción en las Interfases .....	9-5
9.4.2	Drenaje de los Tableros .....	9-5
9.4.3	Accesorios de Hormigón.....	9-6
9.4.4	Apoyo de los Bordes .....	9-6
9.4.5	Encofrados Perdidos en los Vuelos del Tablero.....	9-6
9.5	ESTADOS LIMITE .....	9-6
9.5.1	Requisitos Generales.....	9-6
9.5.2	Estados Límites de Servicio .....	9-6
9.5.3	Estados Límites de Fatiga y Fractura .....	9-7
9.5.4	Estados Límites de Resistencia .....	9-7
9.5.5	Estados Límites Correspondientes a Eventos Extremos .....	9-7
9.6	ANÁLISIS.....	9-8
9.6.1	Métodos de Análisis.....	9-8
9.6.2	Cargas .....	9-8
9.6	ANÁLISIS.....	9-8
9.6.1	Métodos de Análisis.....	9-8
9.7	LOSAS DE TABLERO DE HORMIGÓN .....	9-8
9.7.1	Requisitos Generales.....	9-8
9.7.1.1	Mínima Altura y Recubrimiento .....	9-8
9.7.1.2	Acción Compuesta .....	9-8
9.7.1.3	Tableros Oblicuos .....	9-9
9.7.1.4	Apoyo de los Bordes .....	9-9
9.7.1.5	Diseño de Losas en Voladizo .....	9-9
9.7.2	Diseño Empírico .....	9-10
9.7.2.1	Requisitos Generales .....	9-10
9.7.2.2	Aplicación .....	9-11
9.7.2.3	Longitud Efectiva.....	9-11
9.7.2.4	Condiciones de Diseño.....	9-12
9.7.2.5	Armadura Requerida .....	9-13

9.7.2.6	Tableros con Encofrados Perdidos .....	9-14
9.7.3	Diseño Tradicional .....	9-14
9.7.3.1	Requisitos Generales .....	9-14
9.7.3.2	Armadura de Distribución .....	9-15
9.7.4	Encofrados Perdidos.....	9-15
9.7.4.1	Requisitos Generales .....	9-15
9.7.4.2	Encofrados de Acero .....	9-16
9.7.4.3	Encofrados de Hormigón.....	9-16
9.7.4.3.1	Altura.....	9-16
9.7.4.3.2	Armadura.....	9-16
9.7.4.3.3	Fluencia Lenta y Contracción.....	9-17
9.7.4.3.4	Material de Apoyo para los Paneles .....	9-17
9.7.5	Losas de Tablero Prefabricadas sobre Vigas.....	9-17
9.7.5.1	Requisitos Generales .....	9-17
9.7.5.2	Tableros Prefabricados Unidos Transversalmente .....	9-17
9.7.5.3	Tableros Prefabricados Postesados Longitudinalmente .....	9-18
9.7.6	Losas de Tablero en Construcciones por Segmentos .....	9-18
9.7.6.1	Requisitos Generales .....	9-18
9.7.6.2	Uniones en el Tablero.....	9-18
9.8	<b>TABLEROS METÁLICOS</b> .....	9-19
9.8.1	Requisitos Generales .....	9-19
9.8.2	Tableros de Emparrillado Metálico .....	9-19
9.8.2.1	Requisitos Generales .....	9-19
9.8.2.2	Pisos de Emparrillado Abierto .....	9-20
9.8.2.3	Tableros de Emparrillado con Vanos Llenos y Parcialmente Llenos.....	9-20
9.8.2.3.1	Requisitos Generales .....	9-20
9.8.2.3.2	Requisitos de Diseño .....	9-21
9.8.2.3.3	Estado Límite de Fatiga y Fractura .....	9-22
9.8.2.4	Tableros de Emparrillado con Vanos No Llenos Compuestos con Losas de Hormigón Armado .....	9-22
9.8.2.4.1	Requisitos Generales .....	9-22
9.8.2.4.2	Diseño.....	9-23
9.8.2.4.3	Estado Límite de Fatiga.....	9-23
9.8.3	Tableros Ortótropos de Acero .....	9-24
9.8.3.1	Requisitos Generales .....	9-24
9.8.3.2	Distribución de las Cargas de Rueda.....	9-24

9.8.3.3 Superficie de Rodamiento ..... 9-24

9.8.3.4 Análisis Refinado ..... 9-25

9.8.3.5 Análisis Aproximado..... 9-25

    9.8.3.5.1 Ancho Efectivo..... 9-25

    9.8.3.5.2 Tableros con Nervios Abiertos..... 9-25

    9.8.3.5.3 Tableros con Nervios Cerrados ..... 9-26

9.8.3.6 Diseño ..... 9-26

    9.8.3.6.1 Superposición de Efectos Locales y Globales..... 9-26

    9.8.3.6.2 Estados Límites ..... 9-27

9.8.3.7 Detalles de Diseño..... 9-27

    9.8.3.7.1 Mínimo Espesor de la Placa ..... 9-27

    9.8.3.7.2 Nervios Cerrados..... 9-27

    9.8.3.7.3 Soldaduras No Autorizadas en los Tableros Ortótropos ..... 9-28

    9.8.3.7.4 Detalles del Tablero y los Nervios ..... 9-28

9.8.4 Tableros Ortótropos de Aluminio..... 9-30

    9.8.4.1 Requisitos Generales ..... 9-30

    9.8.4.2 Análisis Aproximado..... 9-30

    9.8.4.3 Estados Límites ..... 9-30

9.8.5 Tableros de Metal Corrugado..... 9-31

    9.8.5.1 Requisitos Generales ..... 9-31

    9.8.5.2 Distribución de las Cargas de Rueda..... 9-31

    9.8.5.3 Acción Compuesta ..... 9-31

9.9 TABLEROS Y SISTEMAS DE TABLEROS DE MADERA..... 9-31

    9.9.1 Campo de Aplicación..... 9-31

    9.9.2 Requisitos Generales..... 9-32

    9.9.3 Requisitos de Diseño..... 9-32

        9.9.3.1 Distribución de las Cargas..... 9-32

        9.9.3.2 Diseño al Corte..... 9-32

        9.9.3.3 Deformación..... 9-33

        9.9.3.4 Expansión Térmica..... 9-33

        9.9.3.5 Superficies de Rodamiento..... 9-33

        9.9.3.6 Tableros Oblicuos ..... 9-33

    9.9.4 Tableros de Madera Laminada y Encolada ..... 9-33

        9.9.4.1 Requisitos Generales ..... 9-33

        9.9.4.2 Retenidas del Tablero..... 9-34

        9.9.4.3 Tableros Interconectados..... 9-34

9.9.4.3.1 Paneles Paralelos al Tráfico.....	9-34
9.9.4.3.2 Paneles Perpendiculares al Tráfico.....	9-34
9.9.4.4 Tableros No Interconectados.....	9-35
9.9.5 Tableros de Madera Laminada y Tesada.....	9-35
9.9.5.1 Requisitos Generales .....	9-35
9.9.5.2 Uso de Clavos.....	9-36
9.9.5.3 Uniones a Tope Alternadas .....	9-36
9.9.5.4 Orificios en las Laminaciones .....	9-36
9.9.5.5 Retenidas del Tablero .....	9-36
9.9.5.6 Tesado .....	9-37
9.9.5.6.1 Sistema de Pretensado .....	9-37
9.9.5.6.2 Materiales de Pretensado.....	9-39
9.9.5.6.3 Requisitos de Diseño .....	9-39
9.9.5.6.4 Protección contra la Corrosión.....	9-40
9.9.5.6.5 Barandas .....	9-41
9.9.6 Tableros de Madera Laminada y Clavada.....	9-41
9.9.6.1 Requisitos Generales .....	9-41
9.9.6.2 Retenidas del Tablero .....	9-42
9.9.6.3 Tableros Formados por Paneles.....	9-42
9.9.7 Tableros Formados por Tablones.....	9-43
9.9.7.1 Requisitos Generales .....	9-43
9.9.7.2 Retenidas del Tablero.....	9-43
9.9.8 Superficies de Rodamiento sobre Tableros de Madera .....	9-43
9.9.8.1 Requisitos Generales .....	9-43
9.9.8.2 Asfalto Mezclado en Planta.....	9-44
9.9.8.3 Sellado con Gravilla o "Chip Seal" .....	9-44

## SECCIÓN 9 (SI)

### TABLEROS Y SISTEMAS DE TABLEROS

#### 9.1 CAMPO DE APLICACIÓN

Esta sección contiene requisitos para el análisis y diseño de tableros y sistemas de tableros de puentes de hormigón, metálicos y de madera, o de combinaciones de dichos materiales, sujetos a cargas gravitatorias.

Para los tableros de hormigón monolítico que satisfacen ciertas condiciones específicas, se permite un diseño empírico que no requiere análisis.

Siempre que sea técnicamente posible se requiere acción compuesta entre el tablero y los elementos que lo soportan.

#### C9.1

Esta sección implícitamente contiene una filosofía de diseño según la cual se prefieren los tableros y sistemas de tableros continuos, sin juntas, con el objetivo de mejorar la resistencia a la intemperie y la corrosión del puente en su conjunto, reducir los esfuerzos que demanda la inspección y los costos de mantenimiento, y aumentar la efectividad y la redundancia de la estructura.

#### 9.2 DEFINICIONES

*Accesorios del Tablero* – Cordones, parapetos, barandas, barreras, divisorias y postes de iluminación y señalización unidos al tablero.

*Acción de Arco* – Fenómeno estructural según el cual las cargas de rueda se transmiten fundamentalmente mediante bielas comprimidas que se forman en la losa.

*Faja (o Banda)* – Franja de tablero de madera laminada dentro de la cual no se repite el patrón de uniones a tope.

*Travesaño* – Separador entre un tablero metálico y una viga.

*Distribuidor de la Fuerza de Pretensado* – Elemento de acero que se fija al costado de los tableros de madera laminada y tesada para distribuir la fuerza de pretensado y reducir la tendencia al aplastamiento de la madera.

*Tablero Celular* – Tablero de hormigón cuya relación de vacíos es superior al 40 por ciento.

*Luz Libre* – Distancia entre las caras de los elementos de apoyo.

*Nervio Cerrado* – Nervio de un tablero ortótropo que consiste en una placa que forma una canaleta, soldada a la placa del tablero a lo largo de ambos lados del nervio.

*Junta de Cierre* – Relleno de hormigón colado in situ entre elementos prefabricados con el objetivo de proveer continuidad.

*Compatibilidad* – Igualdad de deformación en la interfase entre elementos y/o componentes unidos entre sí.

*Componente* – Elemento estructural o combinación de elementos estructurales que requiere consideraciones de diseño individuales.

*Acción Compuesta* – Condición en la cual se hace que dos o más elementos o componentes actúen de forma conjunta impidiendo el movimiento relativo en la interfase entre ambos.

*Continuidad* – En los tableros, tanto continuidad estructural como capacidad de impedir la penetración de agua sin la ayuda de elementos no estructurales.

*Altura del Núcleo* – Distancia entre la parte superior de la armadura superior y la parte inferior de la armadura inferior de una losa de hormigón.

*Tablero* – Componente, con o sin superficie de rodamiento, que soporta las cargas de rueda en forma directa y es soportado por otros componentes.

*Junta del Tablero* – Interrupción total o parcial del tablero para permitir el movimiento relativo entre diferentes partes de una estructura.

*Sistema de Tablero* – Superestructura en la cual el tablero es integral con los componentes que lo soportan, o superestructura en la cual la deformación de los componentes de apoyo afecta significativamente el comportamiento del tablero.

*Tramo de Diseño* – Para los tableros, distancia entre los centros de elementos de apoyo adyacentes, considerada en la dirección principal.

*Longitud Efectiva* – Longitud de tramo utilizada para el diseño empírico de las losas de hormigón definido en el Artículo 9.7.2.3.

*Elástico/a* – Respuesta estructural en la cual la tensión es directamente proporcional a la deformación y no hay deformación residual luego de retirar las cargas.

*Equilibrio* – Estado en el cual la sumatoria de fuerzas paralela a cualquiera de los ejes y la sumatoria de los momentos respecto de cualquier eje espacial son iguales a 0,0.

*Faja Equivalente* – Elemento lineal artificial que se aísla de un tablero a los fines del análisis, en el cual las solicitaciones extremas calculadas para una línea de cargas de rueda, ya sea transversal o longitudinal, aproximarán las solicitaciones que realmente ocurren en el tablero.

*Extremo* – Máximo o mínimo.

*Continuidad Flexional* – Capacidad de transmitir momento y rotación entre diferentes elementos o dentro de un mismo elemento.

*Viga de Tablero* – Nombre tradicionalmente utilizado para designar las vigas transversales.

*Huella* – Área de contacto especificada entre una rueda y la superficie de la calzada.

*Acción de Pórtico* – Continuidad transversal entre el tablero y las almas de una sección transversal celular o entre el tablero y los componentes primarios en los puentes de grandes dimensiones.

*Panel de Tablero de Madera Laminada y Encolada* – Panel de tablero fabricado de laminaciones de madera unidas mediante adhesivos.

*Posición Determinante* – Ubicación y orientación de una carga transitoria que provoca las solicitaciones extremas.

*Inelástico/a* – Respuesta estructural en la cual la tensión no es directamente proporcional a la deformación y puede haber alguna deformación residual luego de retirar las cargas.

*Interfase* – Ubicación donde están en contacto dos elementos y/o componentes

*Acción Compuesta Interna* – Interacción entre un tablero y una sobrecapa estructural.

*Placa Isótropa* – Placa que tiene propiedades estructurales esencialmente idénticas en ambas direcciones principales.

*Armadura Isótropa* – Dos capas idénticas de armadura, perpendiculares y en contacto entre sí.

*Lateral* – Cualquier dirección horizontal o próxima a la horizontal.

*Tablero de Madera Laminada* – Tablero compuesto por una serie de laminaciones de madera que están fuertemente unidas a tope a lo largo de sus bordes de manera de formar una superficie continua.

*Análisis Local* – Estudio en profundidad de las tensiones y deformaciones en o entre componentes utilizando las solicitaciones obtenidas de un análisis global.

*Profundidad Neta* – Profundidad del hormigón, excluyendo el hormigón colado en las canaletas de un encofrado de metal corrugado.

*Piso de Emparrillado Abierto* – Piso de emparrillado metálico que no tiene relleno ni cubierta de hormigón.

*Nervio Abierto* – Nervio de un tablero ortótropo que consiste en una sola placa o sección laminada soldada a la placa del tablero.

*Placa Ortótropa* – Placa que tiene propiedades estructurales significativamente diferentes en ambas direcciones principales.

*Sobrecapa de Relleno* – Hormigón que se coloca sobre la parte superior del emparrillado metálico de un sistema de tablero de emparrillado metálico con sus vanos llenos o parcialmente llenos.

*Acción Compuesta Parcial* – Condición en la cual se hace que dos o más elementos o componentes actúen de forma conjunta disminuyendo, pero no eliminando, el movimiento relativo en la interfase entre ambos, o cuando los elementos conectados son demasiado flexibles para desarrollar plenamente la acción compuesta del tablero.

*Dirección Primaria* – En los tableros isótropos, dirección más corta; en los tableros ortótropos, dirección de los elementos portantes principales.

*Dirección Secundaria* – Dirección normal a la dirección primaria.

*Construcción por Segmentos* – Método de construcción de puentes en el cual se utilizan segmentos de hormigón prefabricados u hormigonados in situ con uniones machimbradas y unidos entre sí mediante postesado longitudinal.

*Conector de Corte* – Dispositivo mecánico que impide los movimientos relativos tanto normales como paralelos a una interfase.

*Continuidad frente al Corte* – Condición en la cual se transmite corte y desplazamiento entre diferentes componentes o dentro de un mismo componente.

*Llave de Corte* – Vacío preformado en el lateral de un elemento prefabricado que se llena con mortero o sistema de depresiones y salientes que encastran las unas en las otras en la cara de los segmentos y cuya intención es proveer continuidad frente al corte entre los componentes.

*Ángulo de Oblicuidad* – Ángulo que forma el eje de un apoyo con una línea normal al eje longitudinal del puente, es decir, un ángulo de oblicuidad de 0° indica que se trata de un puente rectangular.

*Separación* – Distancia entre los centros de los elementos o componentes, como por ejemplo distancia entre los centros de las barras de armadura, vigas, apoyos, etc.

*Encofrados Perdidos* – Encofrados permanentes metálicos o de hormigón prefabricado que permanecen en su lugar una vez terminada la construcción.

*Viga Rigidizadora* – Viga que se une a la parte inferior de un tablero de madera para mejorar su continuidad lateral.

*Rango de Tensiones* – Diferencia algebraica entre las tensiones extremas.

*Sobrecapa Estructural* – Sobrecapa adherida al tablero; consiste en hormigones no asfálticos.

*Tandem* – Dos ejes poco separados y de igual peso interconectados mecánicamente.

*Retenida* – Dispositivo mecánico que impide el movimiento relativo normal a una interfase.

*Vacío* – Discontinuidad interna del tablero que reduce su peso propio.

*Tablero Aligerado* – Tablero de hormigón en el cual el área de los vacíos no representa más del 40 por ciento del área bruta.

*Rueda* – Neumático o par de neumáticos en el extremo de un mismo eje.

*Carga de Rueda* – Un medio de la carga de eje de diseño especificada.

*Superficie de Rodamiento* – Sobrecapa o capa de desgaste que se coloca sobre el tablero estructural para protegerlo contra el desgaste, las sales y los efectos climáticos. La sobrecapa puede incluir impermeabilización.

*Línea de Fluencia* – Línea de rotulación plástica.

*Análisis por Líneas de Fluencia* – Método para determinar la capacidad de carga de un elemento en base a la formación de un mecanismo.

*Método de las Líneas de Fluencia* – Método de análisis para losas de hormigón en el cual se analizan varios patrones posibles de líneas de fluencia con el objetivo de determinar la mínima capacidad de carga.

### 9.3 SIMBOLOGÍA

$A_B$	=	área de apoyo efectiva del distribuidor de la fuerza de pretensado del anclaje ( $\text{mm}^2$ ) (9.9.5.6.3)
$A_s$	=	área de una barra o cable de acero ( $\text{mm}^2$ ) (9.9.5.6.3)
$a$	=	mayor de las separaciones entre las almas de los nervios (mm) (9.8.3.7.2)
$c$	=	profundidad del recorte inferior para acomodar un nervio en un tablero ortótropo (mm) (9.8.3.7.4)
$d$	=	profundidad efectiva; distancia entre la fibra extrema comprimida y el centro de gravedad de la armadura de tracción (mm) (C9.7.2.5)
$e$	=	separación libre entre nervios cerrados en un tablero ortótropo (mm) (9.8.3.7.4)
$F$	=	resistencia nominal al aplastamiento de la madera transversal el grano (MPa) (9.9.5.6.3)
$f_r$	=	tensiones de flexión fuera del plano en las almas de los nervios (MPa) (C9.8.3.7.2)
$h$	=	altura del tablero (mm) (9.9.5.6.3)



$h'$	= longitud de la porción inclinada del alma del nervio (mm) (9.8.3.7.2)
$k$	= factor que representa una distribución del momento flector a lo largo de un nervio (C9.8.3.7.2)
$L$	= longitud de tramo considerada entre centros de los apoyos (9.5.2)
$P_{BU}$	= resistencia a la compresión mayorada de la madera debajo del distribuidor de la fuerza de pretensado (N) (9.9.5.6.3)
$P_{pt}$	= fuerza de pretensado por elemento de pretensado (N) (9.9.5.6.3)
$q$	= intensidad de la carga (MPa) (C9.8.3.7.2)
$R_{sw}$	= relación acero-madera (9.9.5.6.3)
$S$	= longitud de tramo efectiva (9.7.3.2)
$s$	= separación de las barras de pretensado (mm) (9.9.5.6.3)
$t$	= espesor de la losa o placa (mm) (9.8.3.7.1)
$t_{d,ef}$	= altura efectiva de la placa de tablero, incluyendo el efecto rigidizador del acabado superficial (mm) (9.8.3.7.2)
$t_r$	= espesor del alma del nervio (mm) (9.8.3.7.2)
$\phi$	= factor de resistencia (9.9.5.6.3)

## 9.4 REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO

### 9.4.1 Acción en las Interfases

Excepto en el caso de los tableros de madera y los pisos consistentes en emparrillados abiertos, los tableros se deberán hacer compuestos con los elementos que los soportan, a menos que existan razones de peso que indiquen lo contrario. Los tableros no compuestos deberán estar conectados a los elementos que los soportan de manera de evitar la separación vertical.

Los conectores de corte y demás conexiones entre un tablero, excepto los tableros de madera y pisos consistentes en emparrillados abiertos, y los elementos que lo soporta se deberán diseñar para solicitaciones calculadas considerando acción compuesta plena, ya sea que al dimensionar los elementos primarios se considere o no dicha acción compuesta. Los detalles que permitirán transmitir corte a través de la interfase a elementos de apoyo metálicos deberán satisfacer los requisitos aplicables del Artículo 6.6 o el Artículo 7.6.

Se deberán considerar las solicitaciones entre el tablero y los accesorios del tablero u otros componentes.

### 9.4.2 Drenaje de los Tableros

Excepto en el caso de los tableros consistentes en emparrillados metálicos no llenos, la superficie del tablero deberá tener pendientes transversales y longitudinales de acuerdo con lo especificado en el Artículo 2.6.6.

En el diseño de los tableros se deberán considerar los efectos estructurales de las aberturas para drenaje.

### C9.4.1

Se recomienda utilizar acción compuesta para mejorar la rigidez y economía de las estructuras.

Históricamente algunos tableros sin conectores de corte han demostrado cierto grado de acción compuesta debido a los efectos de la adherencia química y/o fricción, pero esta acción compuesta no puede ser considerada en el diseño.

Es difícil diseñar y detallar un dispositivo de retenida que no atraiga esfuerzos de corte debido a las cargas transitorias, cambios de temperatura y variaciones del contenido de humedad. Estos esfuerzos pueden aflojar y/o romper estos dispositivos y provocar daños por fatiga en otras partes del sistema de piso y sus conexiones a los elementos principales, en particular a las vigas de tablero.

### 9.4.3 Accesorios de Hormigón

A menos que el Propietario especifique lo contrario, los cordones, parapetos, barreras y divisorias de hormigón deberían ser estructuralmente continuos. La consideración de su contribución estructural al tablero se debería limitar de acuerdo con los requisitos del Artículo 9.5.1.

### 9.4.4 Apoyo de los Bordes

A menos que el tablero se diseñe para soportar cargas de rueda en posiciones extremas con respecto a sus bordes, se deberán proveer apoyos en los bordes. Las vigas de borde no integrales deberán satisfacer los requisitos del Artículo 9.7.1.4.

### 9.4.5 Encofrados Perdidos en los Vuelos del Tablero

En los vuelos de los tableros de hormigón no se deberán utilizar encofrados perdidos, excepto en el caso de los tableros metálicos con vanos llenos.

## 9.5 ESTADOS LÍMITES

### 9.5.1 Requisitos Generales

La contribución estructural aportada al tablero por un accesorio de hormigón se puede considerar para los estados límites de servicio y fatiga, pero no para los estados límites de resistencia o correspondientes a eventos extremos.

Excepto para los vuelos del tablero, si se satisfacen las condiciones especificadas en el Artículo 9.7.2 se puede asumir que el tablero de hormigón satisface los requisitos para los estados límites de servicio, fatiga, y fractura y resistencia, y no será necesario que satisfaga los demás requisitos del Artículo 9.5.

### 9.5.2 Estados Límites de Servicio

En los estados límites de servicio los tableros y sistemas de tableros se deberán analizar como estructuras totalmente elásticas y se deberán diseñar y detallar de manera de satisfacer los requisitos de las Secciones 5, 6, 7 y 8.

Para los tableros de emparrillado metálico y otros tableros livianos metálicos y de hormigón se deberán considerar los efectos de la deformación excesiva del

### C9.4.3

La experiencia indica que interrumpir los accesorios de hormigón en ubicaciones diferentes a las juntas del tablero no satisface el propósito de aliviar las tensiones. En los parapetos de hormigón se han observado grandes fisuras, a distancias de apenas un pie de las juntas abiertas. Por lo general, aunque no en todos los casos, la contribución estructural de estos elementos es beneficiosa. Un potencial aspecto negativo de la continuidad es el aumento de la fisuración en los accesorios.

### C9.4.4

Si los elementos de ferretería utilizados en las juntas del tablero se integran con el tablero, éstos se pueden utilizar como un elemento estructural de la viga de borde.

### C9.5.1

Excluir la contribución de los accesorios de hormigón en el estado límite de resistencia es una medida de seguridad, ya que no se utilizan los componentes que pudieran sido dañados, desconectados o destruidos por una colisión.

El Artículo 9.7.2.2 establece que el método de diseño empírico no es aplicable a los vuelos de los tableros.

### C9.5.2

Deformación del tablero se refiere a combadura local bajo las cargas de rueda, no a la deformación global de la superestructura.

tablero, incluyendo las flechas. Para estos sistemas de tablero, la flecha provocada por la sobrecarga más el incremento por sobrecarga dinámica no deberá ser mayor que los siguientes valores:

- $L/800$  en el caso de tableros sin tráfico peatonal,
- $L/1000$  en el caso de tableros con tráfico peatonal limitado, y
- $L/1200$  en el caso de tableros con tráfico peatonal significativo.

donde:

$L$  = longitud de tramo entre los centros de los apoyos

### 9.5.3 Estado Límite de Fatiga y Fractura

No será necesario investigar la fatiga en los siguientes casos:

- Tableros de hormigón; y
- Tableros de madera de acuerdo con lo listado en el Artículo 9.9.

Los tableros de emparrillado metálico, emparrillados llenos, emparrillados parcialmente llenos y emparrillados no llenos compuestos con losas de hormigón armado deberán satisfacer los requisitos de los Artículos 4.6.2.1.8 y 6.5.3.

Los tableros de emparrillado de acero y los tableros de acero ortótropos deberán satisfacer los requisitos del Artículo 6.5.3. Los tableros de aluminio deberán satisfacer los requisitos del Artículo 7.6.

Los tableros de hormigón, salvo aquellos utilizados en aplicaciones multiviga, se deberán investigar para los estados límites de fatiga como se especifica en el Artículo 5.5.3.

### 9.5.4 Estados Límites de Resistencia

En los estados límites de resistencia los tableros y sistemas de tablero se pueden analizar ya sea como estructuras elásticas o como estructuras inelásticas, y se deberán diseñar y detallar de manera de satisfacer los requisitos de las Secciones 5, 6, 7 y 8

### 9.5.5 Estados Límites Correspondientes a Eventos Extremos

El principal objetivo de limitar las deformaciones excesivas del tablero es impedir la pérdida y desgaste de la superficie de rodamiento. No es posible especificar un límite general ya que este límite dependería de la composición de la capa de rodamiento y de la adherencia entre el tablero y dicha superficie. Los límites se deberían establecer en base a ensayos.

Se han realizado numerosos trabajos para estudiar la relación entre las aceleraciones y el confort de los usuarios. La aceleración es función de la frecuencia fundamental de vibración del tablero en un tramo particular, y de la magnitud de la deformación dinámica debida a la sobrecarga. Típicamente las deformaciones dinámicas son entre 15 y 20 por ciento de las deformaciones estáticas. Análisis realizados indican que para los sistemas de tablero, en lugar de los niveles de aceleración, se pueden utilizar las deformaciones estáticas.

### C9.5.3

Los requisitos que establecen que no es necesario investigar la fatiga en ciertos tipos de tableros se basan exclusivamente en comportamientos previos observados y en ensayos realizados en laboratorio.

Una serie de 35 ensayos de fatiga bajo carga pulsante realizados utilizando losas modelo indica que el límite de fatiga para las losas diseñadas de acuerdo con los métodos convencionales de AASHTO (basados en los momentos) es aproximadamente tres veces el nivel de servicio. Los tableros diseñados en base al método de la armadura isótropa especificado en el Artículo 9.7.2 tuvieron límites de fatiga iguales a aproximadamente dos veces el nivel de servicio (*deV Batchelor et al. 1978*).

### C9.5.4

Estas Especificaciones no permiten la aplicación ilimitada de los métodos de análisis inelásticos, ya que las investigaciones sobre el tema aún no son suficientes. Sin embargo, existen análisis inelásticos para placas bien establecidos cuyo uso está permitido.

Los tableros se deberán diseñar para las solicitaciones transmitidas por el tráfico y las barandas combinadas utilizando las cargas, procedimientos de análisis y estados límites especificados en la Sección 13. Para satisfacer este requisito se pueden utilizar ensayos de aceptación que satisfagan la Sección 13.

## **9.6 ANÁLISIS**

### **9.6.1 Métodos de Análisis**

Para los diferentes estados límites estará permitido utilizar los métodos de análisis elástico aproximados especificados en el Artículo 4.6.2.1, los métodos refinados especificados en el Artículo 4.6.3.2 o el método de diseño empírico para losas de hormigón especificado en el Artículo 9.7, de acuerdo con lo permitido por el Artículo 9.5.

### **9.6.2 Cargas**

Las cargas, la posición de las cargas, el área de contacto de los neumáticos y las combinaciones de cargas deberán ser como se especifica en los requisitos de la Sección 3.

## **9.7 LOSAS DE TABLERO DE HORMIGÓN**

### **9.7.1 Requisitos Generales**

#### **9.7.1.1 Mínima Altura y Recubrimiento**

A menos que el Propietario apruebe una altura menor, la altura de un tablero de hormigón, excluyendo cualquier tolerancia para pulido, texturado o superficie sacrificable deberá ser mayor o igual que 175 mm.

El mínimo recubrimiento de hormigón deberá satisfacer los requisitos del Artículo 5.12.3.

#### **9.7.1.2 Acción Compuesta**

Los conectores de corte se deberán diseñar de acuerdo con los requisitos de la Sección 5 en el caso de vigas de hormigón y de acuerdo con los requisitos de las Secciones

### **C9.6.1**

No se debe interpretar que los métodos analíticos aquí presentados excluyen otros enfoques analíticos, siempre y cuando éstos hayan sido aprobados por el Propietario.

#### **C9.7.1.1**

En el caso de losas cuya altura es menor que  $1/20$  de la longitud del tramo de diseño se debería considerar aplicar pretensado en la dirección del tramo a fin de controlar la fisuración.

Las tolerancias constructivas se deben considerar cuidadosamente en el caso de los tableros de poca altura.

Los requisitos de mínimo recubrimiento de hormigón se basan en mezclas de hormigón tradicionales y en la ausencia de recubrimientos protectores tanto sobre el hormigón como sobre el acero en su interior. Una combinación de mezclas especiales, recubrimientos protectores, clima seco o moderado, y la ausencia de productos químicos corrosivos puede justificar una reducción de estos requisitos, siempre que el Propietario así lo apruebe.

#### **C9.7.1.2**

Se han realizado algunas investigaciones para estudiar los casos de vigas de madera compuestas con tableros de hormigón y vigas de acero compuestas con tableros de

6 y 7 en el caso de vigas metálicas.

### 9.7.1.3 Tableros Oblicuos

Si el ángulo de oblicuidad del tablero es menor o igual que  $25^\circ$  la armadura principal se puede disponer en la dirección de la oblicuidad; caso contrario, esta armadura se deberá colocar de forma perpendicular a los elementos de apoyo principales.

madera tesada, pero aún no hay datos suficientes para permitir su codificación.

### C9.7.1.3

La intención de este requisito es evitar que el tablero se fisure excesivamente, lo cual podría ocurrir como resultado de la ausencia de armadura suficiente actuando en la dirección de las tensiones principales de flexión si la armadura tiene un fuerte ángulo de inclinación, tal como se ilustra en la Figura C1. El límite algo arbitrario de  $25^\circ$  podría afectar el área de acero tanto como 10 por ciento. Esto no se tomó en cuenta ya que no se consideró que el procedimiento de análisis y el uso del momento flector como base para el diseño tenían una precisión suficiente como para ameritar este ajuste. Los Propietarios interesados en refinar el diseño de esta manera también deberían considerar uno de los métodos de análisis refinados identificados en el Artículo 4.6.3.2.

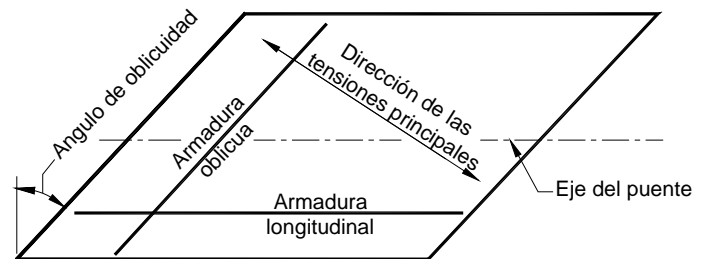


Figura C9.7.1.3-1 – Disposición de la armadura

### 9.7.1.4 Apoyo de los Bordes

A menos que se especifique lo contrario, en las líneas de discontinuidad el borde del tablero deberá estar reforzado o soportado por una viga u otro elemento lineal. La viga u otro elemento deberá estar integrado o actuar de forma compuesta con el tablero. Las vigas de borde se pueden diseñar como vigas cuyo ancho se puede tomar como el ancho efectivo del tablero especificado en el Artículo 4.6.2.1.4.

Si la dirección principal del tablero es transversal, y/o si el tablero actúa de forma compuesta con una barrera de hormigón estructuralmente continua, no será necesario proveer la viga de borde adicional.

### 9.7.1.5 Diseño de Losas en Voladizo

La porción del tablero en voladizo se deberá diseñar para las cargas de impacto sobre las barandas de acuerdo con los requisitos del Artículo 3.6.1.3.4.

Se deberán investigar los efectos del punzonamiento debidos a las cargas de colisión de vehículos en la base

### C9.7.1.5

En el Apéndice de la Sección 13 se presenta un método aceptable para analizar los vuelos de los tableros para las cargas de impacto sobre las barandas.

Para evitar las fallas debidas al corte por punzonamiento se puede utilizar cualquier combinación de

exterior de los postes de barandas o barreras.

los siguientes métodos: aumentar de la altura de la losa, utilizar armadura especial que se extienda en un ancho de losa más allá de la baranda y utilizar placas base de mayor tamaño debajo de los postes de las barandas.

## 9.7.2 Diseño Empírico

### 9.7.2.1 Requisitos Generales

Los requisitos del Artículo 9.7.2 se refieren exclusivamente al procedimiento de diseño empírico para losas de tablero de hormigón soportadas por componentes longitudinales, y no se deberán aplicar a ningún otro artículo de la presente sección a menos que esto se permita expresamente.

### C9.7.2.1

Se han realizado numerosas investigaciones sobre el comportamiento de las losas de tablero de hormigón y se ha descubierto que la acción estructural primaria mediante la cual estas losas resisten las cargas de rueda concentradas no es la flexión, como se creía tradicionalmente, sino un estado membranar de tensiones internas denominado acción de arco interna. Esta acción es posible gracias a la fisuración del hormigón en la región de momento positivo de la losa de diseño y el desplazamiento hacia arriba del eje neutro en dicha porción de la losa. La acción es sostenida por esfuerzos membranales en el plano que se desarrollan como resultado del confinamiento lateral provisto por la losa de hormigón circundante, los accesorios rígidos y los elementos de apoyo que actúan de forma compuesta con la losa.

La acción de arco crea lo que se podría describir como un domo de compresión interno, cuya falla en general ocurre como resultado de tensiones excesivas alrededor del perímetro de la huella de las ruedas. El modo de falla resultante es de corte por punzonamiento, aunque la inclinación de la superficie de fractura es mucho menor que 45° debido a la presencia de los grandes esfuerzos de compresión en el plano asociados con la acción de arco. Sin embargo, la acción de arco no puede resistir la totalidad de la carga de rueda. Resta una pequeña componente de flexión para la cual la mínima cantidad de armadura isótropa especificada es más que adecuada. El acero cumple una doble función: proporciona tanto resistencia local a la flexión como el confinamiento global necesario para desarrollar la acción de arco (*Fang* 1985; *Holowka et al.* 1980).

Todos los datos de ensayo disponibles indican que el factor de seguridad de un tablero diseñado mediante el método flexional especificado en la Edición No. 16 de las Especificaciones Estándares de AASHTO, diseño por tensiones de trabajo, es de al menos 10,0. Ensayos realizados indican un factor de seguridad comparable de aproximadamente 8,0 en el caso del diseño empírico. Por lo tanto, aún los diseños empíricos proveen una extraordinaria reserva de resistencia.

El diseño de tableros de hormigón armado utilizando el concepto de acción de arco interna dentro de los límites aquí especificados ha sido verificado exhaustivamente mediante análisis no lineales por elementos finitos (*Hewitt*

En las estructuras continuas las barras longitudinales de la armadura isótropa pueden contribuir a resistir los momentos negativos en los apoyos internos.

### 9.7.2.2 Aplicación

El diseño empírico para tableros de hormigón armado se puede utilizar solamente si se satisfacen las condiciones establecidas en el Artículo 9.7.2.4.

Los requisitos del presente artículo no se deberán aplicar a los vuelos del tablero.

El vuelo del tablero se debería diseñar para:

- Las cargas de rueda en el caso de tableros con barandas y barreras discontinuas usando el método de las fajas equivalentes,
- La carga lineal equivalente en el caso de tableros con barreras continuas como se especifica en el Artículo 3.6.1.3.4, y
- Las cargas de colisión (o impacto) utilizando un mecanismo de falla tal como se describe en el Artículo A13.2.

### 9.7.2.3 Longitud Efectiva

A los fines del método de diseño empírico, la longitud efectiva de una losa se deberá considerar de la siguiente manera:

- Para losas construidas en forma monolítica con muros o vigas: distancia entre cara y cara, y
- Para losas apoyadas sobre vigas metálicas o de hormigón: distancia entre las puntas de las alas, más el vuelo de las alas, considerado como la distancia desde la punta del ala extrema hasta la cara del alma, despreciando los chaflanes.

Si los componentes de apoyo no están uniformemente

y deV Batchelor 1975; Fang et al. 1990). Es aceptable utilizar este análisis en lugar de realizar un cálculo de diseño más específico como base para el diseño.

Las losas que contienen la mínima armadura especificada han demostrado una insensibilidad prácticamente total frente a los desplazamientos diferenciales entre sus apoyos.

No es necesario repetir en la dirección perpendicular la armadura longitudinal adicional que se dispone para la losa en las regiones de momento negativo de las vigas continuas y los puentes tipo viga en exceso a la requerida como armadura isótropa de acuerdo con los requisitos del Artículo 9.7.2.5. Teóricamente, esta parte del tablero estará armado de forma orótropa, pero esto no debilitará el tablero.

### C9.7.2.2

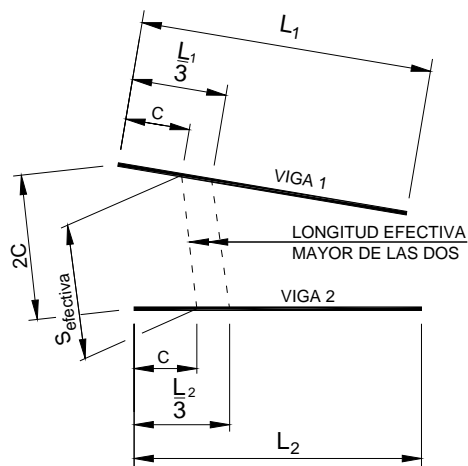
Aunque ensayos recientes indican que es posible que exista acción de arco en la porción de la losa de tablero en voladizo, la evidencia disponible es insuficiente para formular requisitos codificables para la misma (Hays et al. 1989).

Como se indica en el Artículo 9.5.5, para satisfacer los requisitos de diseño para los vuelos del tablero se pueden utilizar ensayos de aceptación realizados de acuerdo con la Sección 13

### C9.7.2.3

Ensayos físicos e investigaciones analíticas realizadas indican que el parámetro más importante relacionado con la resistencia de las losas de hormigón frente a las cargas de rueda es la relación entre la longitud efectiva de la losa y su altura.

espaciados, la longitud efectiva,  $S_{efectiva}$ , se deberá tomar como la mayor de las longitudes del tablero en las dos ubicaciones ilustradas en la Figura 1.



**Figura 9.7.2.3-1 – Longitud efectiva para el caso de vigas que no están uniformemente espaciadas**

#### 9.7.2.4 Condiciones de Diseño

Para los fines del presente artículo, la altura de diseño de la losa deberá excluir la pérdida que se anticipa se producirá como resultado del pulido, texturado o desgaste.

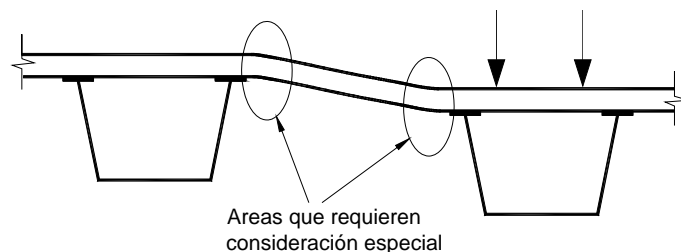
El procedimiento de diseño empírico solamente se podrá utilizar si se satisfacen las siguientes condiciones:

- En la totalidad de la sección transversal se utilizan marcos transversales o diafragmas en las líneas de apoyo;
- En el caso de las secciones transversales que involucran unidades rígidas a la torsión, tales como las vigas cajón individuales separadas, se proveen diafragmas intermedios entre los cajones con una separación menor o igual que 8000 mm o bien se investiga la necesidad de disponer armadura suplementaria sobre las almas para acomodar la flexión transversal entre los cajones y, en caso de ser necesaria, se la provee;
- Los componentes de apoyo son de hormigón y/o acero;
- El tablero se hormigona totalmente in situ y se cura al agua;
- La altura del tablero es uniforme, con la excepción de los acartelamientos en las alas de las vigas y otros aumentos de espesor localizados;

#### C9.7.2.4

En el caso de las secciones transversales que no son rígidas a la torsión, como por ejemplo las vigas en forma de T o doble T, para poder utilizar el método de diseño empírico no es necesario que hayan marcos transversales intermedios.

El uso de vigas rígidas a la torsión separadas sin diafragmas intermedios puede provocar la situación ilustrada en la Figura C1, donde hay desplazamiento relativo entre las vigas y donde la rotación de las vigas no es suficiente para aliviar el momento sobre las almas. Este momento puede o no requerir más armadura que la calculada de acuerdo con el método de diseño empírico para tableros.



**Figura C9.7.2.4-1 – Representación esquemática del efecto de los desplazamientos relativos en una sección transversal rígida a la torsión**

Todos los ensayos realizados hasta este momento se han limitado a losas de altura uniforme. Las losas soportadas por vigas de madera no califican para el diseño



- La relación entre la longitud efectiva y la altura de diseño es menor o igual que 18,0 y mayor o igual que 6,0;
- La altura del núcleo de la losa es mayor o igual que 100 mm;
- La longitud efectiva, de acuerdo con lo especificado en el Artículo 9.7.2.3, es menor o igual que 4100 mm;
- La mínima altura de la losa es mayor o igual que 175 mm, excluyendo la superficie sacrificable cuando corresponda;
- Más allá del eje de la viga exterior la losa tiene un vuelo (voladizo) como mínimo igual a 5,0 veces la altura de la losa; esta condición se satisface si el vuelo es como mínimo igual a 3,0 veces la altura de la losa y hay una barrera de hormigón estructuralmente continua actuando de forma compuesta con el vuelo;
- La resistencia a la compresión especificada a 28 días del hormigón del tablero es mayor o igual que 28,0 MPa; y
- El tablero trabaja de forma compuesta con los componentes estructurales sobre los cuales se apoya.

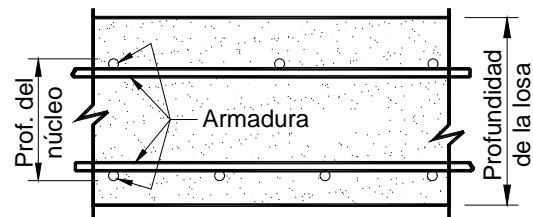
Para los propósitos del presente artículo, en la región de momento negativo de las superestructuras continuas de acero se deberán proveer como mínimo dos conectores de corte con una separación entre centros de 600 mm. También se deberán satisfacer los requisitos del Artículo 6.10.1.1. En el caso de las vigas de hormigón, el uso de estribos que se extiendan hacia el interior del tablero se considerará suficiente para satisfacer este requisito.

#### 9.7.2.5 Armadura Requerida

En las losas diseñadas empíricamente se deberán disponer cuatro capas de armadura isótropa. Se deberá ubicar armadura tan próxima a las superficies exteriores como lo permitan los requisitos de recubrimiento. Se deberá proveer armadura en cada cara de la losa, con las capas más externas ubicadas en la dirección de la longitud

empírico, ya que no hay evidencia experimental respecto a la adecuada transferencia de corte lateral entre la losa y las vigas de madera relativamente blanda.

No existe ninguna experiencia con longitudes efectivas mayores que 4100 mm. La altura de 175 mm se considera un mínimo absoluto, considerando 50 mm de recubrimiento en la parte superior y 25 mm de recubrimiento en la parte inferior, con lo cual se obtiene un núcleo armado de 100 mm de altura como se ilustra en la Figura C2.



**Figura C9.7.2.4-1 – Núcleo de una losa de hormigón**

Los requisitos del *Ontario Highway Bridge Design Code* (1991), los cuales se basan en resultados de ensayos realizados sobre modelos, no permiten relaciones longitud-altura mayores que 15,0. El valor 18,0 se basa en experimentos más recientes (*Hays et al.* 1989).

La intención del requisito que exige el vuelo o voladizo es asegurar que la losa esté confinada entre la primera y la segunda viga.

El límite de 28,0 MPa se basa en el hecho de que ninguno de los ensayos se realizaron con hormigón de menos de 28,0 MPa a los 28 días. Muchas jurisdicciones especifican hormigón de 31,0 MPa para asegurar una permeabilidad reducida del tablero. Por otra parte, ensayos realizados indican que la resistencia no es sensible a la resistencia a la compresión, y por lo tanto se pueden aceptar hormigones de 24,0 MPa siempre que el Propietario así lo autorice.

#### C9.7.2.5

Ensayos realizados sobre prototipos indican que los requisitos de resistencia se satisfacen con 0,2 por ciento de armadura en cada una de cuatro capas en base a la profundidad efectiva  $d$ . Sin embargo, se especifica el valor conservador de 0,3 por ciento del área bruta (que corresponde a aproximadamente  $0,570 \text{ mm}^2/\text{mm}$  en una

efectiva. La mínima cantidad de armadura será de 0,570 mm<sup>2</sup>/mm de acero para cada capa inferior y de 0,380 mm<sup>2</sup>/mm de acero para cada capa superior. La separación del acero deberá ser menor o igual que 450 mm. Las armaduras deberán ser de acero Grado 420 o superior. Toda la armadura deberá consistir en barras rectas, excepto que se podrán proveer ganchos donde sean requeridos.

Estará permitido utilizar tanto empalmes solapados como empalmes mecánicos. Los empalmes mecánicos deberán ser ensayados y aprobados para verificar que satisfagan los límites de resbalamiento del Artículo 5.11.5.2.2, Conexiones Mecánicas, y los requisitos de fatiga del Artículo 5.5.3.4, Empalmes Mecánicos o Soldados en las Armaduras. No estará permitido utilizar acoples tipo cuña con camisa en las armaduras revestidas.

Si el ángulo de oblicuidad es mayor que 25°, la armadura especificada en ambas direcciones se deberá duplicar en las zonas de los extremos del tablero. Cada zona de un extremo se deberá considerar como una distancia longitudinal igual a la longitud efectiva de la losa especificada en el Artículo 9.7.2.3.

#### 9.7.2.6 Tableros con Encofrados Perdidos

Para los tableros fabricados con encofrados de metal corrugado se deberá asumir que la profundidad de diseño de la losa es igual a la mínima profundidad de hormigón.

No estará permitido utilizar encofrados perdidos de hormigón si se utiliza el método de diseño empírico para losas de hormigón.

### 9.7.3 Diseño Tradicional

#### 9.7.3.1 Requisitos Generales

Los requisitos del presente artículo se deberán aplicar a las losas de hormigón que tienen cuatro capas de armadura, dos en cada dirección, y que satisfacen el Artículo 9.7.1.1.

losa de 190 mm) para controlar mejor la fisuración en la región de momento positivo. Mediciones in situ indican tensiones muy bajas en el acero de momento negativo; esto se refleja mediante el requisito de 0,380 mm<sup>2</sup>/mm, que corresponde a aproximadamente 0,2 por ciento de armadura. Otra intención de esta baja cuantía de armadura es evitar el descantillado del tablero que podría provocar la corrosión de las barras o alambres.

No se permite utilizar empalmes soldados por consideraciones de fatiga. Se pueden permitir empalmes mecánicos ensayados y pre-aprobados cuando no sea posible o deseable solapar la armadura, como ocurre frecuentemente en el caso de construcciones por etapas y ensanchamientos. No se permite utilizar acoples tipo cuña con camisa en las armaduras revestidas debido a la posibilidad de que estos acoples dañen el revestimiento.

La intención de este requisito es controlar la fisuración. Los puentes de vigas y losa con una oblicuidad mayor que 25° han evidenciado una tendencia a desarrollar fisuras por torsión debido a las deformaciones diferenciales en la zona de los extremos (*OHBDC* 1991). La fisuración generalmente se limita a un ancho que se aproxima a la longitud efectiva.

#### C9.7.2.6

Se ignora el hormigón en las canaletas del tablero metálico corrugado porque no hay evidencia que indique que éste contribuye de manera consistente a la resistencia del hormigón. Las armaduras no se deben apoyar directamente sobre un encofrado de metal corrugado.

El diseño empírico se basa en un confinamiento radial alrededor de la carga de rueda, el cual puede ser debilitado por la discontinuidad inherente de la armadura inferior en los bordes entre los paneles de encofrado. Algunos ensayos realizados en losas diseñadas a flexión con encofrados perdidos de hormigón indican un modo de falla por corte por punzonamiento, pero una resistencia algo menor que la proporcionada por las losas totalmente hormigonadas in situ. La causa de esta reducción es que la discontinuidad entre los paneles intercepta, y por lo tanto impide, la formación del tronco de cono donde ocurre corte por punzonamiento (*Buth et al.* 1992).

#### C9.7.3.1

El diseño tradicional se basa en la flexión. Las solicitaciones en la losa debidas a la sobrecarga se pueden determinar utilizando los métodos aproximados del Artículo 4.6.2.1 o los métodos refinados del Artículo 4.6.3.2.

### 9.7.3.2 Armadura de Distribución

En la parte inferior de las losas se deberá disponer armadura en la dirección secundaria; esta armadura se deberá calcular como un porcentaje de la armadura principal para momento positivo:

- Si la armadura principal es paralela al tráfico:

$$1750/\sqrt{S} \leq 50 \text{ por ciento}$$

- Si la armadura principal es perpendicular al tráfico:

$$3840/\sqrt{S} \leq 67 \text{ por ciento}$$

donde:

$S$  = longitud de tramo efectiva considerada igual a la longitud efectiva especificada en el Artículo 9.7.2.3 (mm)

### 9.7.4 Encofrados Perdidos

#### 9.7.4.1 Requisitos Generales

Los encofrados perdidos se deberán diseñar de manera que permanezcan elásticos bajo las cargas constructivas. La carga constructiva no se deberá considerar menor que el peso del encofrado y la losa de hormigón más  $2,4 \times 10^{-3}$  MPa.

Las tensiones de flexión debidas a las cargas constructivas no mayoradas no deberán superar los siguientes valores:

- 75 por ciento de la tensión de fluencia del acero, o
- 65 por ciento de la resistencia a la compresión a 28 días en el caso de hormigón comprimido o el módulo de rotura en tracción en el caso de paneles de hormigón pretensado utilizados como encofrados.

La deformación elástica provocada por el peso propio de los encofrados, el hormigón plástico y las armaduras no deberá superar los siguientes valores:

- Para encofrados cuya longitud de tramo es menor o igual que 3000 mm, la longitud de tramo del encofrado dividida por 180, pero nunca mayor que 13 mm; o

#### C9.7.4.1

La intención de este artículo es evitar que durante la construcción los encofrados sufran flechas excesivas, lo cual provocaría un aumento no anticipado del peso de la losa de hormigón.

Se especifican límites para las flechas a fin de asegurar que el recubrimiento sobre el acero de las armaduras sea adecuado y para tomar en cuenta la totalidad de la carga permanente en el diseño.

- Para encofrados cuya longitud de tramo es mayor que 3000 mm, la longitud de tramo del encofrado dividida por 240, pero nunca mayor que 20 mm.

#### 9.7.4.2 Encofrados de Acero

Se deberá especificar que los paneles se deben unir mecánicamente en sus bordes comunes y sujetar a sus apoyos. A menos que la documentación técnica especifique lo contrario, no estará permitido soldar los encofrados metálicos a los componentes de apoyo.

Los encofrados de acero no se deberán considerar compuestos con una losa de hormigón.

#### 9.7.4.3 Encofrados de Hormigón

##### 9.7.4.3.1 Altura

La altura de los encofrados perdidos de hormigón no deberá ser mayor que 55 por ciento de la altura de la losa de tablero terminada ni menor que 90 mm.

##### 9.7.4.3.2 Armadura

Los paneles de hormigón utilizados como encofrados se pueden pretensar en la dirección del tramo de diseño.

Si un encofrado prefabricado se pretensa, los cables se pueden considerar como armadura principal en la losa de tablero.

Se deberán investigar las longitudes de transferencia y anclaje de los cables para las condiciones que se presentarán durante la construcción y en servicio.

No es necesario prolongar los cables de pretensado y/o las barras de armadura del panel prefabricado hacia el interior del hormigón colado in situ sobre las vigas.

#### C9.7.4.2

En el caso de los encofrados perdidos metálicos, una práctica habitual común consiste en considerar una tolerancia para el peso del encofrado y el hormigón adicional, agregando a la documentación técnica un requisito que establece que si el Contratista decide superar esta tolerancia, el propio Contratista será responsable por demostrar que las solicitaciones sobre el resto del puente son aceptables o por proveer resistencia adicional si fuera necesario, sin costo para el Propietario. La tolerancia que se ha utilizado tradicionalmente es de  $7,19 \times 10^{-4}$  MPa, pero este valor se debería revisar si la longitud de tramo de los encofrados es mayor que aproximadamente 3000 mm.

##### C9.7.4.3.1

Se han construido exitosamente miles de puentes con relaciones de altura mayores o iguales que 43 por ciento; se cree que 55 por ciento es un límite práctico más allá del cual es dable esperar la fisuración del hormigón colado in situ en las interfases entre paneles.

##### C9.7.4.3.2

Las longitudes de transferencia y anclaje de los cables recubiertos con compuestos epoxi que contienen partículas duras resistentes a los álcalis pueden ser menores que las correspondientes a los cables sin recubrimiento epoxi. Si se utilizan cables recubiertos con compuestos epoxi este valor se debería determinar mediante ensayos.

Ensayos realizados indican que no hay diferencia entre las construcciones en las cuales la armadura se extiende hacia el hormigón colado in situ sobre las vigas y aquellas en las cuales no lo hace (*Bieschke y Klingner* 1982). Sin embargo, la falta de extensión de la armadura puede afectar la distribución de las cargas transversales debido a una falta de continuidad al momento positivo sobre las vigas o puede provocar fisuración refleja en los extremos del panel. Además de la fisuración transversal, que generalmente se produce en las juntas entre paneles como resultado de la fluencia lenta y la contracción, es posible que la fisuración refleja no sea aceptable desde el punto de vista estético y/o que haga que este tipo de tablero sea cuestionable donde se utilizan sales anticongelantes.

Si se utiliza armadura inferior de distribución, esta armadura se puede colocar directamente en la parte superior de los paneles. Los empalmes de la armadura principal superior de la losa no se deberán ubicar sobre las juntas entre paneles.

El recubrimiento de hormigón debajo de los cables no debería ser menor que 20 mm.

#### 9.7.4.3.3 *Fluencia Lenta y Contracción*

La edad del hormigón de los paneles en el momento de colocar el hormigón in situ deberá ser tal que se minimice la diferencia entre la contracción y fluencia lenta combinadas del panel prefabricado y la contracción del hormigón colado in situ.

Se deberá especificar que a la superficie superior de los paneles se le debe imprimir una rugosidad tal que asegure su acción compuesta con el hormigón colado in situ.

#### 9.7.4.3.4 *Material de Apoyo para los Paneles*

Los extremos de los paneles utilizados como encofrados se deberán apoyar sobre un lecho continuo de mortero, o bien durante la construcción deberán estar soportados de manera tal que el hormigón colado in situ fluya hacia el espacio entre el panel y el componente de apoyo formando un lecho de hormigón.

#### C9.7.4.3.3

El objetivo de este artículo es minimizar las tensiones de corte en la interfase entre el panel prefabricado y el hormigón colado in situ, además de proveer una buena adherencia. Normalmente para lograr la acción compuesta no es necesario utilizar compuestos adhesivos ni conectores mecánicos.

#### C9.7.4.3.4

Como soportes temporarios se pueden utilizar tornillos de fijación, placas de fibras bituminosas, collarines de neopreno, etc. Algunas jurisdicciones han tenido malas experiencias en el pasado en casos en los cuales los paneles de hormigón pretensado eran soportados exclusivamente por materiales flexibles. La fluencia lenta debida al pretensado aparentemente separó los extremos de los paneles del hormigón colado in situ. La carga se transfirió a los apoyos flexibles, los cuales se comprimieron provocando fisuración excesiva en el hormigón colado in situ.

### 9.7.5 Losas de Tablero Prefabricadas sobre Vigas

#### 9.7.5.1 **Requisitos Generales**

Se pueden utilizar paneles de losa prefabricados tanto de hormigón armado como de hormigón pretensado. La altura de la losa, excluyendo cualquier tolerancia para pulido, texturado o superficie sacrificable deberá ser mayor o igual que 175 mm.

#### 9.7.5.2 **Tableros Prefabricados Unidos Transversalmente**

Se podrán utilizar tableros flexionalmente discontinuos contruidos de paneles prefabricados y unidos mediante llaves de corte. El diseño de la llave de corte y el mortero utilizado en la llave deberán ser aprobados por el Propietario. Para el diseño del material de apoyo se pueden aplicar los requisitos del Artículo 9.7.4.3.4.

#### C9.7.5.2

Las llaves de corte tienden a fisurarse debido a las cargas de rueda, alabeo y efectos ambientales, con lo cual hay pérdidas en las llaves y disminuye la transferencia de corte. Si es que se utiliza una sobrecapa, el movimiento relativo entre paneles adyacentes tiende a fisurarla. Por lo tanto, este tipo de construcción no es recomendable en zonas en las cuales el tablero podría estar expuesto a la

acción de sales.

### **9.7.5.3 Tableros Prefabricados Postesados Longitudinalmente**

Los componentes prefabricados se pueden colocar sobre vigas y unir entre sí mediante postesado longitudinal. La mínima tensión efectiva de pretensado promedio deberá ser mayor o igual que 1,7 MPa.

Se deberá especificar que la junta transversal entre los componentes y los volúmenes vacíos creados para acoplar las vainas de postesado se deben llenar con mortero sin retracción que tenga como mínimo una resistencia a la compresión a las 24 horas igual a 35 MPa.

Se deberán crear volúmenes vacíos en la losa alrededor de los conectores de corte; luego de completar el postesado estos vacíos se deberán llenar con el mismo mortero.

### **C9.7.5.3**

Los tableros a los cuales se les imprime continuidad flexional mediante postesado longitudinal son la solución preferida, ya que estos tableros se comportan de forma monolítica y se anticipa que requerirán menos mantenimiento a largo plazo.

Las vainas de postesado se deberían ubicar en el centro de la sección transversal de la losa. Se deberían crear volúmenes vacíos en las juntas para permitir el empalme de las vainas de postesado.

Los paneles se deberían colocar sobre las vigas sin utilizar mortero ni adhesivos a fin de permitir su movimiento relativo respecto de las vigas durante el pretensado. Los paneles se pueden colocar directamente sobre las vigas o bien se los puede ubicar con ayuda de calces de material inorgánico u otros dispositivos de nivelación. Si los paneles no se disponen directamente sobre las vigas, el espacio que queda se debería llenar con mortero en el mismo momento que se llenan los vacíos creados para los conectores de corte.

En el pasado se ha utilizado una gran variedad de tipos de llaves de corte. Ensayos recientes realizados sobre prototipos indican que las juntas en forma de "V" podrían ser las más fáciles de encofrar y llenar.

## **9.7.6 Losas de Tablero en Construcciones por Segmentos**

### **9.7.6.1 Requisitos Generales**

Los requisitos del presente artículo se deberán aplicar a las losas superiores de las vigas postesadas cuyas secciones transversales son tipo cajón de una o múltiples celdas. La losa se deberá analizar de acuerdo con los requisitos del Artículo 4.6.2.1.6.

### **9.7.6.2 Uniones en el Tablero**

Las uniones en los tableros de los puentes construidos con segmentos prefabricados podrán ser uniones secas, superficies machimbradas con resina epoxi o uniones de hormigón colado in situ.

Las uniones secas sólo se deben utilizar en regiones en las cuales no se aplican sales anticongelantes.

La resistencia de las uniones de hormigón colado in situ no deberá ser menor que la del hormigón prefabricado. El ancho de la junta de hormigón deberá permitir el anclaje de la armadura en la junta o bien el acople de las vainas si se utilizan, pero en ningún caso deberá ser menor que 300

### **C9.7.6.2**

Se ha observado que las juntas secas utilizadas en tableros, con o sin selladores no estructurales, permiten la infiltración de agua debido a la contracción, así como la fluencia lenta y el alabeo térmico de los segmentos. Tanto las uniones machimbradas con resina epoxi como las uniones de hormigón colado in situ permitidas por el presente artículo deberían producir uniones herméticas al agua. Se cree que las juntas de cierre hormigonadas in situ de 300 mm de ancho proveen un perfil de mejor transitabilidad cuando no se utilizan sobrecapas sobre el tablero.

mm.

Se deberían evitar las uniones combinadas en las cuales sólo se utiliza resina epoxi en la parte de las uniones machimbradas correspondiente al tablero.

## 9.8 TABLEROS METÁLICOS

### 9.8.1 Requisitos Generales

Los tableros metálicos se deberán diseñar de manera de satisfacer los requisitos de las Secciones 6 y 7. El área de contacto de los neumáticos se deberá determinar como se especifica en el Artículo 3.6.1.2.5.

### 9.8.2 Tableros de Emparrillado Metálico

#### 9.8.2.1 Requisitos Generales

Los tableros de emparrillado deberán estar compuestos por elementos principales que se extienden entre vigas, vigas longitudinales o vigas transversales y elementos secundarios que interconectan y se extienden entre los elementos principales. Los elementos principales o secundarios pueden formar un patrón rectangular o diagonal y deberán estar firmemente unidos entre sí. En los pisos de emparrillado abierto, los tableros de emparrillado con vanos parcialmente llenos y los tableros de emparrillado con vanos no llenos que trabajan de forma compuesta con una losa de hormigón armado se deberán soldar todas las intersecciones entre elementos.

Las solicitudes se pueden determinar utilizando uno de los métodos siguientes:

- Los métodos aproximados especificados en el Artículo 4.6.2.1, según corresponda;
- La teoría de placas ortótropas;
- Emparrillados equivalentes; o
- Ayudas para el diseño provistas por el fabricante, si hay evidencia técnica suficiente para documentar y avalar el comportamiento del tablero.

Uno de los métodos aproximados aceptados se basa en el área de la sección transversal transformada. Se pueden utilizar dispositivos mecánicos de transferencia de corte, incluyendo indentaciones, relieves, arenado de la superficie y otros medios apropiados para mejorar la acción compuesta entre los elementos del emparrillado y el relleno de hormigón.

Si un tablero de emparrillado metálico con vanos llenos o parcialmente llenos trabaja de forma compuesta con una losa de hormigón armado se considera compuesto con los

#### C9.8.2.1

Investigaciones realizadas indican que las soldaduras entre los elementos de los tableros con vanos parcialmente llenos "pueden ser muy importantes para la supervivencia de la barra transversal " (*Gangarao et al.* 1992).

Ensayos realizados en laboratorio indican que las propiedades de la sección de los emparrillados con vanos llenos y parcialmente llenos, calculadas mediante el método de las áreas transformadas, son conservadores (*Gangarao et al.* 1992). Otros ensayos demuestran que una sobrecapa de hormigón vertido en forma monolítica se puede considerar totalmente efectiva al determinar las propiedades de la sección.

Los tableros de emparrillado con vanos llenos o parcialmente llenos y los tableros de emparrillado con

elementos que lo soportan a los fines del diseño de dichos elementos, el ancho de losa efectivo en la sección compuesta deberá ser como se especifica en el Artículo 4.6.2.6.1.

vanos no llenos compuestos con losas de hormigón armado tienen mayor potencial de acción compuesta con los componentes de apoyo, gracias a su considerable rigidez en el plano.

Al calcular las propiedades de una sección, omitir cualquier efecto del hormigón traccionado (es decir, debajo del eje neutro en flexión positiva y encima del eje neutro en flexión negativa).

Se pueden aplicar relaciones de módulos a la acción compuesta entre el relleno de hormigón y un tablero de emparrillado en flexión y a la acción compuesta entre el tablero y sus vigas de apoyo.

Ensayos realizados in situ sobre sistemas consistentes en tableros de emparrillado con vanos no llenos compuestos con losas y vigas longitudinales o vigas de tablero de hormigón indican niveles significativos de acción compuesta, siendo el ancho efectivo como mínimo 12,0 veces el espesor total del tablero, incluyendo la porción emparrillada y la losa de hormigón armado estructural.

### 9.8.2.2 Pisos de Emparrillado Abierto

Los pisos de emparrillado abierto se deberán conectar a los elementos de apoyo mediante soldaduras o conexiones mecánicas en cada elemento principal. Si para realizar esta conexión se utilizan soldaduras, estará permitido utilizar una soldadura de 75 mm de longitud a un solo lado o bien una soldadura de 40,0 mm de longitud a cada lado del elemento principal.

A menos que haya evidencia que indique lo contrario, las soldaduras en los pisos de emparrillado abierto se deberán considerar como detalles Categoría E, y se deberán aplicar los requisitos del Artículo 6.6.

Los extremos y bordes de los pisos de emparrillado abierto que pudieran estar expuestos al tránsito vehicular deberán estar soportados mediante barras de cierre u otros medios efectivos.

### 9.8.2.3 Tableros de Emparrillado con Vanos Llenos y Parcialmente Llenos

#### 9.8.2.3.1 Requisitos Generales

Estos tableros deberán consistir en un emparrillado metálico u otro sistema estructural metálico con sus vanos llenos o parcialmente llenos con hormigón.

Los requisitos del Artículo 9.8.2.1 se deberán aplicar a los tableros de emparrillado con vanos llenos y parcialmente llenos.

Siempre que sea posible se debería proveer una sobrecapa estructural de 45 mm de espesor.

Los emparrillados con vanos llenos y parcialmente

### C9.8.2.2

La experiencia a largo plazo indica que, incluso cuando la acción compuesta entre el tablero y sus componentes de apoyo es aparentemente insignificante, es posible que se desarrollen tensiones elevadas en su interfase, provocando fallas locales y separación del tablero. Por lo tanto, el requisito que establece que se debe realizar una conexión en cada intersección de una barra principal, tal como se indica, se aplica aún en el caso de pisos de emparrillado abierto.

#### C9.8.2.3.1

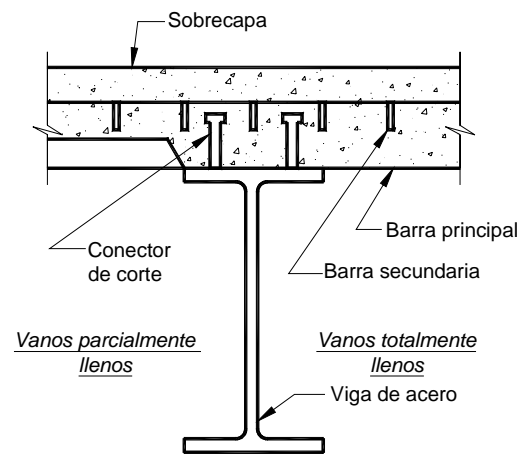
Ensayos realizados a escala real en sistemas



llenos se deberán unir a los elementos de apoyo mediante soldaduras o pernos de corte a fin de transferir corte entre ambas superficies.

consistentes en tableros de emparrillado con vanos parcialmente llenos y vigas longitudinales mostraron niveles significativos de acción compuesta, siendo el ancho efectivo como mínimo 12,0 veces la profundidad del tablero. Bajo carga, las deformaciones unitarias del tablero medidas a lo largo del ancho del tablero eran prácticamente uniformes, registrándose un resbalamiento extremadamente pequeño en la interfase tablero-viga longitudinal.

A fin de activar el tablero en acción compuesta es necesario resistir grandes esfuerzos de corte en la interfase. Un método preferido de transferencia de corte es mediante pernos soldados encerrados en un acartelamiento de hormigón, similar a lo ilustrado en la Figura C1.



**Figura C9.8.2.3.1-1 – Conexión aceptable entre un tablero de emparrillado con vanos llenos o parcialmente llenos y las vigas**

#### 9.8.2.3.2 Requisitos de Diseño

Los tableros de emparrillado con vanos llenos y parcialmente llenos se deberá realizar de acuerdo con los requisitos de los Artículos 9.8.2.1 y 4.6.2.1.8.

La parte de hormigón de los tableros de emparrillado con vanos llenos y parcialmente llenos deberá satisfacer los requisitos generales de la Sección 5 relacionados con la integridad y durabilidad a largo plazo.

Para las aplicaciones hormigonadas in situ se deberá asumir que el peso del relleno de hormigón es soportado exclusivamente por la porción metálica del tablero. Se puede asumir que las cargas temporarias y las cargas permanentes impuestas son soportadas por las barras del emparrillado y el relleno de hormigón actuando de forma compuesta. Una sobrecapa estructural se puede considerar parte del tablero estructural compuesto. Si se provee una sobrecapa estructural, la altura de diseño del tablero se deberá reducir para considerar una tolerancia para la pérdida que se anticipa como resultado del pulido, texturado o desgaste del hormigón.

#### C9.8.2.3.2

La presión de una sobrecapa estructural que trabaja de forma compuesta mejora tanto el comportamiento estructural como la transitabilidad del tablero.

### 9.8.2.3.3 Estado Límite de Fatiga y Fractura

La conexión interna entre los elementos del emparrillado metálico de un tablero de emparrillado con vanos total o parcialmente llenos se deberá investigar para fatiga.

A menos que haya evidencia que indique lo contrario, las soldaduras de punto que unen encofrados horizontales a los emparrillados metálicos se deberán considerar detalles Categoría E'.

### C9.8.2.3.3

La categoría de fatiga a utilizar para investigar la fatiga se deberá determinar mediante ensayos en laboratorio en flexión positiva y negativa. La categoría de fatiga para las soldaduras y troqueles no se deberá considerar mejor que Categoría C, ya que ensayos realizados demuestran que esta categoría es adecuada para la mayoría de los detalles de los tableros emparrillados contruidos con hormigón.

Las pequeñas soldaduras de filete que se utilizan para fabricar los tableros de emparrillado generalmente tienen menos de 38 mm de longitud, pero no se consideran "puntos de soldadura." En los tableros de emparrillado, los términos "puntos de soldadura" o "soldadura de puntos" se refieren sólo a las pequeñas soldaduras usadas para fijar láminas metálicas que se utilizan exclusivamente como encofrados para el hormigón que se vierte en o sobre el emparrillado.

Siempre que sea posible los encofrados se deberían unir utilizando medios que no sean puntos de soldadura.

### 9.8.2.4 Tableros de Emparrillado con Vanos No Llenos Compuestos con Losas de Hormigón Armado

#### 9.8.2.4.1 Requisitos Generales

Un tablero de emparrillado con vanos no llenos compuesto con una losa de hormigón armado consiste en una losa de hormigón armado que se cuela sobre y de forma compuesta con un emparrillado metálico con vanos no llenos. La acción compuesta entre la losa de hormigón y el tablero de emparrillado se deberá asegurar proveyendo conectores de corte u otros medios capaces de resistir las componentes horizontales y verticales de los cortes en las interfaces.

La acción compuesta entre el tablero de emparrillado y los elementos de apoyo se debería asegurar utilizando conectores de corte mecánicos.

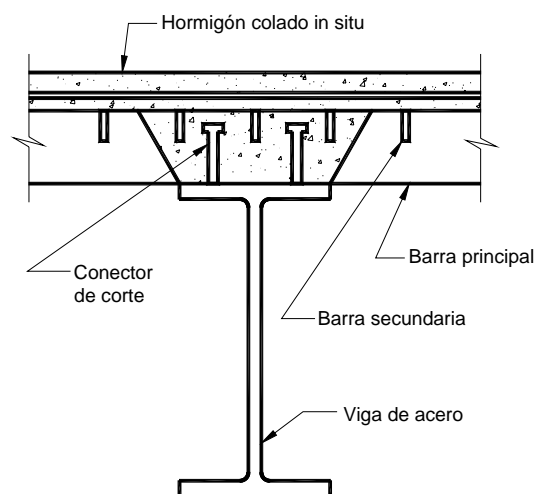
A menos que se especifique lo contrario, se deberán aplicar los requisitos del Artículo 9.8.2.1.

En este tipo de tableros se deben minimizar las discontinuidades y las uniones en frío.

#### C9.8.2.4.1

Este tipo de tablero de puente combina los atributos de los tableros de hormigón y los de los tableros de emparrillado metálico.

En la Figura C1 se ilustra una manera aceptable de lograr acción compuesta entre el tablero y los elementos de apoyo.



**Figura C9.8.2.4.1-1 – Conexión aceptable entre un tablero de emparrillado con vanos no llenos actuando de forma compuesta con losas de hormigón y las vigas**

#### 9.8.2.4.2 *Diseño*

El diseño de tableros de emparrillado con vanos no llenos que trabajan de forma compuesta con una losa de hormigón armado se deberá realizar de acuerdo con los requisitos de los Artículos 9.8.2.1 y 4.6.2.1.8. La altura de diseño del tablero se deberá reducir para considerar una tolerancia para la pérdida que se anticipa como resultado del pulido, texturado o desgaste del hormigón.

La parte de hormigón armado de los tableros de emparrillado con vanos no llenos que trabajan de forma compuesta con una losa de hormigón armado deberá satisfacer los requisitos generales de la Sección 5 relacionados con la integridad y durabilidad a largo plazo.

En la losa de hormigón se puede utilizar una capa de armadura en cada dirección principal.

Para las aplicaciones hormigonadas in situ se deberá asumir que el peso de la losa de hormigón es soportado por la parte emparrillada del tablero. Se puede asumir que las cargas temporarias y las cargas permanentes impuestas son soportadas por la sección compuesta.

La interfase entre la losa de hormigón y el sistema metálico deberá satisfacer los requisitos del Artículo 6.10.10. Los métodos de conexión de corte aceptables incluyen el uso de barras terciarias a las cuales se han soldado pernos redondos o barras de 13 mm de diámetro, u orificios perforados de al menos 19 mm en la parte superior de las barras principales del emparrillado embebidas en la losa de hormigón armado como mínimo 25 mm.

#### 9.8.2.4.3 *Estado Límite de Fatiga*

La conexión interna entre los elementos del emparrillado metálico de un tablero de emparrillado con vanos no llenos que trabaja de forma compuesta con una losa de hormigón armado se deberá investigar para fatiga.

A menos que haya evidencia que indique lo contrario, las soldaduras de punto que unen los encofrados horizontales a los emparrillados metálicos se deberán considerar detalles Categoría E'.

La losa compuesta de hormigón armado se deberá incluir en el cálculo del rango de tensiones.

#### C9.8.2.4.2

A los fines del diseño el tablero se puede subdividir en conjuntos de vigas compuestas de hormigón/acero que se intersecan.

#### C9.8.2.4.3

La categoría de fatiga a utilizar para investigar la fatiga se deberá determinar mediante ensayos en laboratorio en flexión positiva y negativa. La categoría de fatiga para las soldaduras y troqueles no se deberá considerar mejor que Categoría C, ya que ensayos realizados demuestran que esta categoría es adecuada para la mayoría de los detalles de los tableros emparrillados construidos con hormigón.

Las pequeñas soldaduras de filete que se utilizan para fabricar los tableros de emparrillado generalmente tienen menos de 38 mm de longitud, pero no se consideran "puntos de soldadura." En los tableros de emparrillado, los términos "puntos de soldadura" o "soldadura de puntos" se refieren sólo a las pequeñas soldaduras usadas para fijar láminas metálicas que se utilizan exclusivamente como encofrados para el hormigón que se vierte en o sobre el emparrillado.

Siempre que sea posible los encofrados se deberían unir utilizando medios que no sean puntos de soldadura.

### 9.8.3 Tableros Ortótropos de Acero

#### 9.8.3.1 Requisitos Generales

Los tableros de acero ortótropos deberán consistir en una placa de tablero rigidizada y soportada por nervios longitudinales y vigas de tablero transversales. La placa de tablero deberá actuar como ala común de los nervios, las vigas de tablero y los elementos longitudinales principales del puente.

En caso de rehabilitación, si el tablero ortótropo es soportado por vigas de tablero existentes, la conexión entre el tablero y las vigas de tablero se debería diseñar para acción compuesta plena, aún cuando en el diseño de las vigas de tablero se desprece la acción compuesta. Siempre que resulte posible se deberían proveer conexiones adecuadas para desarrollar acción compuesta entre el tablero y los componentes longitudinales principales.

#### 9.8.3.2 Distribución de las Cargas de Rueda

Se puede asumir que la presión de los neumáticos se distribuye a 45° en todas las direcciones a partir de la superficie del área de contacto hasta la mitad de la placa de tablero. La huella del neumático deberá ser como se especifica en el Artículo 3.6.1.2.5.

#### 9.8.3.3 Superficie de Rodamiento

La superficie de rodamiento se debería considerar parte integral del sistema del tablero ortótropo, y se deberá especificar que dicha superficie debe estar adherida a la parte superior de la placa de tablero.

Se puede considerar la contribución de la superficie de rodamiento a la rigidez de los elementos de un tablero ortótropo si se demuestra que las propiedades estructurales y de adherencia son satisfactorias en el rango de temperatura comprendido entre  $-30^{\circ}\text{C}$  y  $+50^{\circ}\text{C}$ . Si en el diseño se considera la contribución a la rigidez aportada por la superficie de rodamiento, las propiedades ingenieriles requeridas de la superficie de rodamiento se deberán especificar en la documentación técnica.

Las solicitaciones en la superficie de rodamiento y en la interfase con la placa de tablero se deberán investigar considerando las propiedades ingenieriles de la superficie de rodamiento para las temperaturas de servicio extremas anticipadas.

La acción compuesta a largo plazo entre la placa de tablero y la superficie de rodamiento se deberá documentar tanto mediante ensayos de carga estáticos como mediante ensayos de carga cíclicos.

#### C9.8.3.1

La intención de este artículo es asegurar la integridad estructural del tablero y su participación estructural junto con las vigas transversales y los elementos longitudinales principales, según corresponda. Se debería evitar cualquier configuración estructural en la cual se obligue al tablero ortótropo a actuar independientemente de los componentes principales.

#### C9.8.3.2

La distribución a 45° constituye la hipótesis tradicional, además de conservadora.

#### C9.8.3.3

Las superficies de rodamiento que actúan de forma compuesta con la placa de tablero pueden reducir las deformaciones y tensiones en los tableros ortótropos.

El efecto rigidizador de la superficie de rodamiento depende de su espesor, del módulo de elasticidad (el cual depende de la temperatura), de la forma de aplicación de las cargas (estática o dinámica), y de las características de adherencia.

Se ha observado que la combinación de solicitaciones debidas a los cambios de temperatura y a la sobrecarga han provocado desadherencia en algunas superficies de rodamiento, y esto debe ser considerado una falla de la superficie de rodamiento. Al seleccionar la superficie de rodamiento y determinar su contribución al sistema estructural a largo plazo el Diseñador debería considerar las experiencias pasadas.

La fisuración de la superficie de rodamiento ocurre cuando hay tensiones que superan la resistencia a la tracción del material utilizado. Se pueden reducir las tensiones flexionales en el material limitando la flexibilidad local del tablero, tal como se indica en el Artículo 2.5.2.6.2. La mejor forma de protección contra la fisuración superficial consiste en utilizar para la superficie de rodamiento materiales con propiedades semiplásticas o

A los fines del diseño de la superficie de rodamiento y su adherencia a la placa de tablero, se deberá asumir que la superficie de rodamiento actúa de forma compuesta con la placa de tablero, ya sea que para el diseño de la placa de tablero se considere esta hipótesis o no.

con módulos de elasticidad bajos y no demasiado susceptibles a las variaciones de temperatura.

La superficie de rodamiento tiene un papel muy importante en cuanto a lograr una superficie antideslizante, distribuir las cargas de las ruedas y proteger al tablero contra la corrosión y el abuso.

La elección o el diseño de una capa de rodamiento debería incluir una evaluación de los siguientes requisitos funcionales:

- Ductilidad y resistencia suficientes para acomodar la expansión, contracción y deformaciones impuestas sin sufrir fisuración ni desadherencia;
- Resistencia a la fatiga suficiente para soportar las tensiones flexionales debidas a la acción compuesta entre la superficie de rodamiento y la placa de tablero;
- Durabilidad suficiente para resistir la formación de baches, desplazamientos y desgaste;
- Impermeabilidad al agua y a los combustibles y fluidos que utilizan los motores de los vehículos;
- Resistencia al deterioro provocado por las sales anticongelantes; y
- Resistencia al envejecimiento y al deterioro provocado por la radiación solar.

#### 9.8.3.4 Análisis Refinado

Las solicitaciones en los tableros ortótropos se pueden determinar mediante métodos de análisis elásticos, tales como el método de las grillas equivalentes, el método de las fajas finitas o el método de los elementos finitos, tal como se especifica en la Sección 4.

#### 9.8.3.5 Análisis Aproximado

##### 9.8.3.5.1 Ancho Efectivo

El ancho efectivo de la placa de tablero que actúa junto con un nervio se debería determinar como se especifica en el Artículo 4.6.2.6.4.

##### 9.8.3.5.2 Tableros con Nervios Abiertos

El nervio se puede analizar como si se tratara de una viga continua soportada por las vigas de tablero.

Para los nervios de menos de 4500 mm de longitud, la carga sobre un nervio debida a las cargas de rueda se

##### C9.8.3.5.2

El análisis aproximado tanto para tableros con nervios abiertos como para tableros con nervios cerrados se basa en el método de Pelikan-Esslinger presentado en Wolchuk (1963) y Troitsky (1987). Este método permite obtener

puede determinar como la reacción de la placa de tablero transversalmente continua soportada por nervios rígidos. Para los nervios de más de 4500 mm de longitud, el efecto de la flexibilidad del nervio sobre la distribución lateral de las cargas de rueda se puede determinar mediante análisis elástico.

Para los nervios de menos de 3000 mm de longitud o para los tableros con vigas de tablero de poca altura, al calcular las solicitaciones en los nervios se deberá considerar la flexibilidad de las vigas de tablero.

Las tensiones locales en las intersecciones nervio/viga de tablero necesarias para investigar la fatiga se deberán obtener mediante un análisis detallado.

#### 9.8.3.5.3 *Tableros con Nervios Cerrados*

Para el análisis global de un tablero con nervios cerrados se puede utilizar el método semiempírico de Pelikan-Esslinger. Las tensiones locales en las intersecciones nervio/viga de tablero sujetas a fatiga inducida por las cargas se deberá determinar mediante un análisis detallado. Las solicitaciones que actúan en un nervio cerrado cuya longitud de tramo es menor o igual que 6000 mm se pueden calcular a partir de las cargas de rueda ubicadas solamente sobre un nervio, despreciando los efectos de las cargas de rueda ubicadas en forma transversalmente adyacentes.

Para nervios de mayor longitud se deberán calcular las correcciones adecuadas para las solicitaciones sobre los nervios.

### 9.8.3.6 **Diseño**

#### 9.8.3.6.1 *Superposición de Efectos Locales y Globales*

Para el cálculo de las solicitaciones extremas sobre el tablero la combinación de los efectos locales y globales se debería determinar como se especifica en el Artículo 6.14.3.

valores conservadores de las solicitaciones globales que actúan en un tablero ortótropo apoyado sobre vigas de borde longitudinales. Wolchuk (1964) analiza la distribución de las cargas de ruedas transversalmente adyacentes sobre un tablero con nervios cerrados.

#### C9.8.3.6.1

El tablero ortótropo forma parte del sistema estructural global y, por lo tanto, participa en la distribución de las tensiones globales. Estas tensiones pueden ser aditivas respecto de aquellas generadas localmente en el tablero. Para el diseño del tablero se utilizan los ejes del camión de diseño o el tandem de diseño, mientras que el resto del puente se dimensiona para combinaciones del camión de diseño, el tandem de diseño y la carga de carril de diseño. La posición más desfavorable de una misma carga puede ser muy diferente si se consideran las solicitaciones locales o las solicitaciones globales. Por lo tanto, el Diseñador debería analizar el puente para ambos regímenes de carga en forma independiente, aplicar el incremento por carga dinámica apropiado, y utilizar los valores que resulten determinantes.

### 9.8.3.6.2 Estados Límites

A menos que en el presente documento se especifique lo contrario, los tableros ortótropos se deberán diseñar de manera de satisfacer los requisitos de la Sección 6 en todos los estados límites aplicables.

En el estado límite de servicio el tablero deberá satisfacer los requisitos especificados en el Artículo 2.5.2.6.

En el estado límite de resistencia para la combinación de solicitaciones locales y globales se deberán aplicar los requisitos del Artículo 6.14.3.

Los efectos de la inestabilidad frente a la compresión de los tableros ortótropos se deberán investigar en los estados límites de resistencia. Si la inestabilidad no resulta determinante, la resistencia de la placa de tablero ortótropa se podrá basar en lograr la tensión de fluencia en cualquier punto de la sección transversal.

Para el estado límite de fatiga se deberán aplicar los requisitos del Artículo 6.6.1.2, Tabla 6.6.1.2.3-1, correspondientes a fatiga inducida por las cargas.

En un tablero con nervios cerrados, la unión entre la placa de tablero y las paredes de los nervios se considera sujeta a las reglas correspondientes a fatiga inducida por distorsión del Artículo 6.6.1.3.3. La resistencia a la fatiga de este detalle se puede considerar satisfactoria si se satisfacen los requisitos para proporciones geométricas y detalles de soldado estipulados en el Artículo 9.8.3.7.

Siempre que el Propietario así lo autorice, se podrán considerar reglas menos estrictas para el diseño a fatiga en el caso de los carriles de tráfico interiores de los tableros multicarril en los cuales el tráfico de camiones es poco frecuente.

### 9.8.3.7 Detalles de Diseño

#### 9.8.3.7.1 Mínimo Espesor de la Placa

El espesor de la placa del tablero,  $t$ , deberá ser mayor o igual que 14,0 mm o 4 por ciento de la mayor separación entre las almas de los nervios.

#### 9.8.3.7.2 Nervios Cerrados

El espesor de los nervios cerrados deberá ser mayor o igual que 6,0 mm.

Las dimensiones de la sección transversal de un tablero metálico ortótropo deberán satisfacer la siguiente condición:

### C9.8.3.6.2

Ensayos realizados indican un elevado grado de redundancia y redistribución de la carga entre la primera fluencia y la falla del tablero. La gran reducción de las solicitaciones combinadas refleja este comportamiento.

Debido a que actúa como parte del sistema estructural global, el tablero está expuesto a tracción y/o compresión axial en el plano. Por lo tanto se debería investigar el pandeo.

La experiencia indica que en los tableros ortótropos los daños por fatiga ocurren fundamentalmente en los nervios debajo de los recorridos de las ruedas de los camiones en los carriles exteriores.

### C9.8.3.7.1

Aunque el análisis indique que una placa de tablero de menos de 14,0 mm de espesor podría resultar satisfactoria, la experiencia demuestra que es aconsejable utilizar un espesor mínimo de 14,0 mm tanto desde el punto constructivo como desde el punto de vista del comportamiento a largo plazo.

### C9.8.3.7.2

Ensayos de fatiga realizados indican que se debería minimizar la tensión flexional local fuera del plano en el alma del nervio en la unión con la placa de tablero. Una manera de hacerlo consiste en limitar la tensión en el alma

$$\frac{t_r a^3}{t_{d,ef}^3 h'} < 400 \quad (9.8.3.7.2-1)$$

donde:

$t_r$  = espesor del alma del nervio (mm)

$t_{d,ef}$  = espesor efectivo de la placa del tablero, considerando el efecto rigidizador del acabado superficial, tal como se especifica en el Artículo 9.8.3.3 (mm)

$a$  = mayor de las separaciones entre las almas de los nervios (mm)

$h'$  = longitud de la porción inclinada del alma del nervio (mm)

Los interiores de los nervios cerrados deberán estar sellados:

- Mediante soldaduras continuas en la interfase nervio-placa de tablero;
- En los empalmes soldados de los nervios, y
- En los diafragmas en los extremos de los nervios.

Se deberían permitir soldaduras con una penetración parcial del ochenta por ciento entre las almas de un nervio cerrado y la placa del tablero.

#### 9.8.3.7.3 Soldaduras No Autorizadas en los Tableros Ortótropos

No estará permitido soldar accesorios, soportes para las tuberías de los servicios públicos, lengüetas para izaje, ni conectores de corte a la placa del tablero ni a los nervios.

#### 9.8.3.7.4 Detalles del Tablero y los Nervios

Los empalmes del tablero y los nervios se deberán

del nervio provocada por la rotación de la unión nervio-placa de tablero, utilizando un alma relativamente esbelta en relación con la placa de tablero. La Ecuación C1 se basa en estudios paramétricos de las tensiones flexionales fuera del plano en las almas de los nervios.

La Ecuación 1 es una forma simplificada de la Ecuación C1, la cual fue desarrollada para la tensión flexional fuera del plano en el alma del nervio en términos de las dimensiones de la sección transversal del tablero metálico ortótropo.

$$f_r = k \frac{q a^2}{8} \frac{6}{t_r^2} \frac{\frac{t_r^3}{h'}}{\frac{t_{d,ef}^3}{a} + \frac{t_{d,ef}^3}{a} + \frac{t_r^3}{h'}} \quad (C9.8.3.7.2-1)$$

donde:

$k$  = factor que representa una distribución del momento flector a lo largo de un nervio

$q$  = intensidad de la carga (MPa)

No es posible inspeccionar ni reparar el interior de los nervios cerrados. Por lo tanto es fundamental sellarlos herméticamente para evitar el ingreso de humedad y aire. El uso de nervios sellados justifica el mínimo espesor de placa especificado.

Generalmente se utilizan soldaduras de penetración parcial para conectar nervios cerrados cuyo espesor es mayor que 6,35 mm a las placas de tablero. Estas soldaduras, para las cuales se deben seleccionar cuidadosamente procesos de soldadura automáticos y un buen ajuste, son menos susceptibles a las fallas por fatiga que las soldaduras de penetración total que requieren barras auxiliares.

#### C9.8.3.7.3

La experiencia indica que estas soldaduras pueden provocar fallas por fatiga.

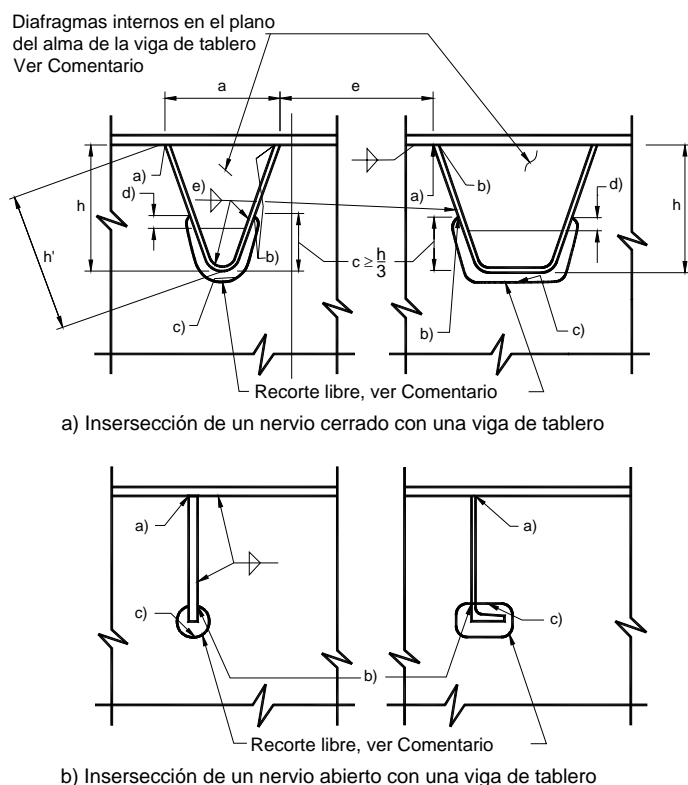
#### C9.8.3.7.4

Los nervios cerrados pueden ser trapezoidales, en



soldar o bien sujetar mecánicamente usando bulones de alta resistencia y siguiendo los detalles indicados en la Tabla 6.6.1.2.3-2 y la Figura 1. Los nervios se deberán hacer pasar continuamente a través de recortes en las almas de las vigas de tablero, tal como se ilustra en la Figura 1. La documentación técnica deberá exigir los siguientes detalles de fabricación cuando estén identificados en la Figura 1:

- No deberá haber discontinuidades (recortes) en el alma de las vigas de tablero
- Las soldaduras deberán ser envolventes
- Pulir hasta lograr una superficie suave
- 25 mm mínimo si el diafragma interno no se extiende hasta el fondo del nervio (ver comentario)
- Es posible que sea necesario utilizar soldaduras combinadas de filete y ranura en aquellos casos en los cuales el tamaño de las soldaduras de filete necesarias para satisfacer los requisitos de resistencia especificados en la Tabla 6.6.1.2.3-2, Caso (10), pudiera ser excesivo.



**Figura 9.8.3.7.4-1 – Detalles requeridos para los tableros ortótropos**

forma de U o en forma de V, siendo estos últimos los más eficientes.

Los recortes en el alma de las vigas de tablero en las intersecciones con los nervios pueden o no tener un recorte adicional en el fondo de los nervios. En general es preferible incluir este detalle, ya que minimiza la restricción del nervio contra la rotación en su plano y las tensiones asociadas en las soldaduras y en el alma de las vigas de tablero.

Si la profundidad del recorte del fondo,  $c$ , es pequeña, la rotación del nervio estará restringida y se introducirán tensiones fuera del plano considerables en el alma de la viga de tablero si esta viga es de poca altura. También se introducen tensiones secundarias locales en las paredes del nervio debido a las fuerzas de interacción entre las almas de las vigas de tablero y las paredes del nervio y a los efectos secundarios debidos a la pequeña profundidad del recorte,  $c$  (Wolchuk y Ostapenko 1992). Estas tensiones secundarias debidas a la interacción nervio-viga de tablero se pueden eliminar colocando diafragmas dentro del nervio en el plano del alma de la viga de tablero. El diseñador puede optar entre terminar el diafragma debajo de la parte superior del recorte libre, en cuyo caso el diafragma se debería extender como mínimo 25 mm por debajo de la parte superior del recorte libre y debería estar soldado a la pared del nervio mediante una unión soldada resistente a la fatiga, o bien extender el diafragma hasta la parte inferior del nervio y soldar todo el perímetro. Extender el diafragma hasta el fondo de la placa de tablero puede aliviar significativamente las tensiones locales en la placa de tablero [ver comentario referente a la Tabla 6.6.1.2.3-2, Caso (12)].

Si el alma de la viga de tablero es profunda y flexible, o en aquellos casos en los cuales la profundidad adicional del recorte reduciría la resistencia al corte de la viga de tablero de forma inaceptable, está permitido soldar alrededor de todo el perímetro del nervio (ECSC Report on Fatigue 1995; Wolchuk 1999).

Ensayos de fatiga realizados sugieren que las discontinuidades (recortes) abiertas en las almas de las vigas de tablero en las uniones de las paredes del nervio con la placa de tablero pueden provocar fisuración en las paredes del nervio. Por lo tanto, la mejor solución parecería ser utilizar recortes bien ajustados y una soldadura continua entre el alma de la viga de tablero y el tablero y las paredes del nervio.

Wolchuk (1991) describe fallas de tableros ortótropos provocadas por un detallado incorrecto.

Los nervios abiertos pueden consistir en barras planas, perfiles angulares, perfiles T, o barras en forma de bulbo. Los tableros con nervios abiertos son menos eficientes, pero tienen mejor resistencia a la fatiga.

## 9.8.4 Tableros Ortótropos de Aluminio

### 9.8.4.1 Requisitos Generales

Los tableros ortótropos de aluminio deberán consistir en una placa de tablero rigidizada y soportada por nervios extruídos. Los nervios pueden ser paralelos o perpendiculares a la dirección del tráfico.

Se deberán aplicar los requisitos de los Artículos 9.8.3.2 a 9.8.3.3, excepto que para los fines del análisis y diseño del tablero o los nervios la superficie de rodamiento no se podrá considerar como parte integral del tablero ortótropo.

Si un tablero ortótropo de aluminio es soportado por componentes de otro material se deberán considerar las diferentes expansiones térmicas de ambos materiales y la potencial aceleración de la corrosión debida a la presencia de metales diferentes.

Se deberá investigar la interacción estructural de un tablero ortótropo de aluminio con la estructura existente.

### 9.8.4.2 Análisis Aproximado

En ausencia de información más precisa, el ancho efectivo de placa de tablero que actúa con un nervio no deberá ser mayor que la separación de los nervios ni mayor que un tercio del tramo.

Al determinar los momentos longitudinales en los tableros continuos se deberá tomar en cuenta la flexibilidad de los apoyos.

Al determinar los momentos transversales se deberán incluir los efectos de la rigidez torsional de los nervios si los nervios son rígidos a la torsión, mientras que estos efectos podrán ser despreciados si los nervios son torsionalmente flexibles.

Para el análisis de tableros con nervios cerrados se podrán aplicar los requisitos del Artículo 9.8.3.5.3.

### 9.8.4.3 Estados Límites

Los tableros ortótropos se deberán diseñar de manera que satisfagan los requisitos de la Sección 7 en todos los estados límites aplicables.

En el estado límite de servicio el tablero deberá satisfacer los requisitos del Artículo 2.5.2.6.

Los nervios longitudinales, incluyendo un ancho efectivo de placa de tablero, se deberán investigar para determinar su estabilidad como vigas-columna individuales supuestas simplemente apoyadas en las vigas transversales.

En el estado límite de fatiga el tablero deberá satisfacer los requisitos del Artículo 7.6.

Independientemente del hecho que el rango de

### C9.8.4.1

En 1997 sólo se conocía una aplicación de nervios perpendiculares a la dirección del tráfico. Esto significa que la experiencia relacionada con el comportamiento de fatiga bajo condiciones de servicio es más bien escasa o nula. Por este motivo para este tipo de aplicación se debería exigir una investigación completa de la fatiga inducida por las cargas y las deformaciones.

### C9.8.4.2

Los momentos transversales se deberían calcular en dos etapas: aquellos debidos a las cargas directas en la placa de tablero, suponiendo nervios indeformables, y aquellos debidos a la transferencia de corte transversal provocada por los desplazamientos de los nervios. Luego se deben combinar las tensiones debidas a estos momentos.

### C9.8.4.3

Se ha demostrado que bajo ciertas condiciones

tensiones sea de tracción, de compresión o que se invierta, se deberá investigar el máximo rango de tensiones:

- En la dirección transversal en la unión nervio-placa;
- En la dirección longitudinal;
- En todos los detalles abulonados, extremos soldados y detalles de los bordes; y
- En la dirección transversal en la unión nervio-placa si el nervio adyacente está cargado.

### 9.8.5 Tableros de Metal Corrugado

#### 9.8.5.1 Requisitos Generales

Los tableros de metal corrugado sólo se deberían utilizar en caminos secundarios y rurales.

Los tableros de metal corrugado deberán consistir en formas de metal corrugado llenadas con asfalto bituminoso u otro material de acabado superficial aprobado. Las formas metálicas se deberán sujetar de manera positiva a los elementos sobre los cuales apoyan.

#### 9.8.5.2 Distribución de las Cargas de Rueda

Se puede asumir que la carga de los neumáticos se distribuye a 45° desde el área de contacto hasta el eje neutro de las formas de metal corrugado.

#### 9.8.5.3 Acción Compuesta

Para determinar la contribución del relleno a la acción compuesta con la placa de tablero se deberán aplicar los requisitos del Artículo 9.8.3.3

Sólo se podrá considerar acción compuesta entre las formas de metal corrugado y los componentes de apoyo si las conexiones en la interfase se diseñan para acción compuesta plena, y si se demuestra que el tablero puede resistir los esfuerzos de compresión asociados con la acción compuesta.

## 9.9 TABLEROS Y SISTEMAS DE TABLEROS DE MADERA

### 9.9.1 Campo de Aplicación

El presente artículo se deberá aplicar para el diseño de tableros de madera soportados mediante vigas, vigas longitudinales o vigas de tablero, o utilizados como un sistema de tablero.

geométricas esta condición determina el diseño.

Para el diseño se utiliza el máximo rango de tensiones, ya que existen tensiones de tracción residuales significativas adyacentes a la mayoría de las soldaduras, y es posible que aún en presencia de tensiones de compresión el rango de tensiones netas sea de tracción.

En Menzemer et al (1987) el lector encontrará una discusión adicional sobre este tema.

#### C9.8.5.1

La intención de sujetar las formas de metal corrugado a los elementos sobre los cuales apoyan es asegurar la estabilidad de ambos componentes bajo cargas temporarias.

#### C9.8.5.2

La distribución a 45° es un enfoque tradicionalmente utilizado para la mayoría de los materiales estructurales no metálicos.

#### C9.8.5.3

Debido a la sensibilidad de la placa frente a las variaciones térmicas, la corrosión y la inestabilidad estructural, sólo se debería utilizar acción compuesta si existe evidencia física suficiente para demostrar que se podrá confiar en su funcionalidad durante toda la vida de diseño especificada.

#### C9.9.1

Este artículo se aplica a los tableros de madera y a los sistemas de tableros de madera que actualmente se están diseñando y construyendo en Estados Unidos y que han demostrado un comportamiento aceptable. Los componentes de apoyo pueden ser metálicos, de hormigón

o de madera.

### 9.9.2 Requisitos Generales

Se deberán aplicar los requisitos de la Sección 8.

Los materiales utilizados en los tableros de madera y su tratamiento conservante deberán satisfacer los requisitos de las Secciones 2, 5, 6 y 8.

El espesor nominal de los tableros formados por tablones de madera no deberá ser menor que 100 mm en el caso de las calzadas ni menor que 50 mm en el caso de las aceras. El espesor nominal de los tableros de madera, excepto aquellos formados por tablones, no deberá ser menor que 150 mm.

### 9.9.3 Requisitos de Diseño

#### 9.9.3.1 Distribución de las Cargas

Las solicitaciones se podrán determinar utilizando uno de los métodos siguientes:

- El método aproximado especificado en el Artículo 4.6.2.1;
- La teoría de las placas ortótropas; o
- El modelo de las grillas equivalentes.

Si la separación de los elementos de apoyo es menor que 910 mm o menor que 6,0 veces la altura nominal del tablero, el sistema de tablero, incluyendo los elementos de apoyo, se deberá modelar como una placa ortótropa o como una grilla equivalente.

En los tableros de madera laminada y tesada que satisfacen los requisitos de alternancia de las uniones a tope especificados en el Artículo 9.9.5.3 la rigidez se puede determinar sin realizar la deducción por las uniones a tope.

#### 9.9.3.2 Diseño al Corte

En el diseño de tableros de madera laminada se pueden despreciar los efectos del corte.

En los tableros longitudinales el corte máximo se deberá determinar de acuerdo con los requisitos del Artículo 8.7.

En los tableros transversales el corte máximo se deberá calcular a una distancia del apoyo igual a la altura del

### C9.9.2

En los tableros de madera laminada las grandes variaciones del espesor o el alabeo de las laminaciones puede perjudicar tanto la resistencia como el comportamiento a largo plazo. Aunque los materiales aserrados en bruto o totalmente aserrados pueden ser más económicos que los cepillados, las variaciones de las dimensiones pueden ser considerables. Si es poco probable que se obtengan tolerancias adecuadas en las dimensiones se debería recomendar que los componentes sean cepillados.

#### C9.9.3.1

En los tableros de madera en los cuales los componentes que sirven de apoyo están poco separados no es válida la hipótesis de apoyos infinitamente rígidos en la cual se basan los métodos de análisis aproximados. Por lo tanto, para obtener las solicitaciones con un grado de precisión razonable, en estos casos se recomienda utilizar métodos de análisis bidimensionales.

#### C9.9.3.2

Es raro que aparezcan problemas relacionados con el corte en un tablero de madera laminada, ya que se cree que son significativos los beneficios inherentes a este sistema, el cual comparte la carga entre múltiples elementos. La probabilidad de una ocurrencia simultánea de zonas potencialmente débiles frente al corte en laminaciones adyacentes es baja. Por lo tanto, es poco probable que

tablero.

Tanto para los tableros longitudinales como para los tableros transversales la huella del neumático se deberá ubicar adyacente al tramo en el cual se está buscando la máxima sollicitación y del lado correspondiente al tramo.

### 9.9.3.3 Deformación

En el estado límite de servicio los tableros de madera deberán satisfacer los requisitos especificados en el Artículo 2.5.2.6.

### 9.9.3.4 Expansión Térmica

El coeficiente de expansión térmica de la madera paralelo a sus fibras se deberá tomar igual a  $3,6 \times 10^{-6}$  por °C.

Los efectos térmicos se pueden despreciar en los tableros formados por tabloncillos de madera y en los tableros de madera laminada y clavada.

Para los tableros de paneles de madera laminada y tesada o de paneles de madera laminada y encolada que se hacen continuos en una distancia mayor que 120,000 mm se deberán investigar los movimientos relativos debidos a la expansión térmica con relación a las subestructuras y estribos.

### 9.9.3.5 Superficies de Rodamiento

Los tableros de madera deberán tener una superficie de rodamiento que satisfaga los requisitos del Artículo 9.9.8.

### 9.9.3.6 Tableros Oblicuos

Si la oblicuidad del tablero es menor que 25°, las laminaciones transversales se pueden colocar según el ángulo de oblicuidad. Caso contrario las laminaciones transversales se deberán colocar en forma normal a los elementos de apoyo, y los extremos libres de las laminaciones en los extremos del tablero deberán estar soportados por una viga diagonal u otro elemento adecuado.

## 9.9.4 Tableros de Madera Laminada y Encolada

### 9.9.4.1 Requisitos Generales

Los tableros de paneles de madera laminada y encolada deberán consistir en una serie de paneles, prefabricados

fallan por corte múltiples elementos, lo cual sería necesario para propagar las rajaduras por corte en cualquier laminación.

Aún con los escasos datos de ensayos disponibles, no se han introducido cambios en el diseño de los tableros de madera laminada y clavada.

### C9.9.3.4

En general la expansión térmica no ha provocado problemas en los sistemas de tableros de madera. Excepto en el caso de los tableros formados por paneles de madera laminada y tesada o por paneles de madera laminada y encolada, la mayoría de los tableros de madera contienen por naturaleza discontinuidades en las uniones a tope que pueden absorber los movimientos de origen térmico.

### C9.9.3.5

La experiencia indica que las superficies no protegidas de los tableros de madera son vulnerables al desgaste y la abrasión y/o pueden volverse resbaladizas cuando están húmedas.

### C9.9.3.6

En el caso de los tableros transversales, colocar las laminaciones según la oblicuidad es el método más simple y práctico cuando los ángulos de oblicuidad son pequeños; recortando los extremos de las laminaciones según el ángulo de oblicuidad es posible obtener un borde recto continuo.

En el caso de los tableros longitudinales, salvo aquellos de madera laminada y tesada, en general cualquier ángulo de oblicuidad se puede acomodar desfasando cada laminación adyacente sobre la oblicuidad.

### C9.9.4.1

En los tableros de madera laminada y encolada que se han construido hasta la fecha se han utilizado paneles de

con adhesivos resistentes al agua, unidos a tope firmemente a lo largo de sus bordes.

Los paneles de tablero transversales deberán ser continuos en todo el ancho del puente.

Si la longitud de tramo en la dirección principal es mayor que 2400 mm los paneles se deberán interconectar mediante vigas rigidizadoras tal como se especifica en el Artículo 9.9.4.3.

#### 9.9.4.2 Retenidas del Tablero

Si los paneles se fijan a apoyos de madera las retenidas deberán consistir en abrazaderas metálicas abulonadas a través del tablero y unidas a los lados del elemento de apoyo. Para fijar los paneles al apoyo de madera se pueden utilizar tornillos para madera o clavos de vástago deformado.

Si los paneles se fijan a vigas metálicas deberán ser retenidos mediante sujetadores metálicos que se extiendan sobre el ala de la viga y que estén abulonados a través del tablero.

#### 9.9.4.3 Tableros Interconectados

##### 9.9.4.3.1 Paneles Paralelos al Tráfico

La interconexión de los paneles se deberá realizar mediante vigas rigidizadoras transversales unidas al lado inferior del tablero. La distancia entre las vigas rigidizadoras deberá ser menor o igual que 2400 mm y la rigidez,  $EI$ , de cada viga rigidizadora deberá ser mayor o igual que  $2,30 \times 10^{11}$  N-mm<sup>2</sup>. Las vigas se deberán unir a cada panel de tablero cerca de los bordes de los paneles y a intervalos menores o iguales que 375 mm.

##### 9.9.4.3.2 Paneles Perpendiculares al Tráfico

La interconexión de los paneles se puede realizar mediante sujetadores mecánicos, lengüetas, clavijas o vigas rigidizadoras. Si se utilizan vigas rigidizadoras éstas deben ser continuas en la totalidad de la longitud del tramo y se deben asegurar a través del tablero a una distancia menor o igual que 150 mm de los bordes de cada panel y entre los bordes según sea necesario.

Si los paneles se interconectan mediante vigas rigidizadoras, las vigas se deberán colocar longitudinalmente a lo largo del eje central de cada tramo de tablero. Para el diseño de las vigas rigidizadoras se deberán aplicar los requisitos del Artículo 9.9.4.3.1.

El momento flector por unidad de ancho debido a la

tablero transversales de entre 900 y 1800 mm de ancho y paneles de tablero longitudinales de entre 1050 y 1350 mm de ancho. Los requisitos de diseño sólo se consideran aplicables a los paneles comprendidos dentro de los rangos de dimensiones aquí especificados.

Estos requisitos de diseño se basan en desarrollos realizados a fines de los años 70 en el USDA Forest Products Laboratory.

Esta forma de tablero solamente se puede utilizar para caminos en los cuales el volumen de vehículos comerciales es de bajo a medio.

#### C9.9.4.2

Los métodos de retenida aquí especificados se basan en prácticas actuales que han demostrado ser satisfactorias. El uso de otros métodos requiere la aprobación del Propietario.

##### C9.9.4.3.1

A pesar de que la viga rigidizadora transversal asegura la transferencia de corte entre paneles, seguramente se producirá alguna flecha relativa. Bajo cargas pesadas frecuentes esta flecha relativa provocará la fisuración refleja de las superficies de rodamiento bituminosas.

##### C9.9.4.3.2

La intención de interconectar el sistema de tablero mediante clavijas es evitar el desplazamiento relativo de los paneles laminados y encolados. Ritter (1990) presenta un procedimiento para diseñar las clavijas. Si el procedimiento de prefabricación y construcción es adecuado, este sistema con clavijas ha demostrado ser efectivo para impedir el desplazamiento relativo entre paneles. Sin embargo, en la práctica los problemas relacionados con la alineación de los orificios y la necesidad de introducir modificaciones en obra pueden reducir su eficiencia.

Utilizar una viga rigidizadora longitudinal en cada espacio entre vigas principales ha demostrado ser un

sobrecarga se deberá determinar de acuerdo con los requisitos del Artículo 4.6.2.1.3.

#### 9.9.4.4 Tableros No Interconectados

Los tableros que no están interconectados en sus bordes sólo se podrán utilizar en caminos secundarios y rurales. Para el análisis de estos tableros se deberá asumir que la transferencia de solicitaciones en los bordes de los paneles es nula.

### 9.9.5 Tableros de Madera Laminada y Tesada

#### 9.9.5.1 Requisitos Generales

Los tableros de madera laminada y tesada deberán consistir en una serie de laminaciones de madera colocadas canto contra canto y postesadas en forma conjunta en forma transversal a la dirección de las laminaciones.

No se deberán utilizar tableros de madera laminada y tesada si el ángulo de oblicuidad del puente es mayor que 45°.

La documentación técnica deberá exigir que todos los materiales sean sometidos a baños de expansión a fin de eliminar el exceso de aceite.

método tanto práctico como efectivo para reducir los desplazamientos relativos entre paneles transversales.

#### C9.9.4.4

Es probable que la falta de conexión de los paneles provoque la fisuración refleja de la superficie de rodamiento en las uniones a tope, aún bajo niveles de carga relativamente bajos. Estos tableros solamente son adecuados para caminos en los cuales el volumen de vehículos comerciales es escaso, ya que si el volumen de vehículos comerciales es mayor el mantenimiento que requerirá la superficie de rodamiento será excesivo.

#### C9.9.5.1

La mayoría de los tableros de este tipo incluyen laminaciones que tienen un espesor de 50 a 75 mm.

La mayor distribución de cargas y mejores aptitudes para compartir las cargas que presentan estos tableros, unido a su mayor durabilidad bajo los efectos del tránsito repetitivo de vehículos pesados, hacen que estos tableros sean la mejor opción entre los tableros de madera para las aplicaciones carreteras con altos volúmenes de tráfico (Csagoly y Taylor 1979; Sexsmith *et al.* 1979).

El comportamiento estructural depende de la fricción (debida al pretensado transversal) entre las superficies de las laminaciones para transferir las solicitaciones. A diferencia de las conexiones clavadas o abulonadas, el comportamiento basado en la fricción de los tableros de madera laminada y tesada no se deteriora con el tiempo bajo la acción de cargas repetitivas pesadas.

La experiencia parece indicar que el uso de conservantes aplicados en agua puede afectar negativamente el comportamiento de los tableros de madera laminada y tesada. La madera tratada con conservantes aplicados en agua responde rápidamente a los cambios de contenido de humedad a los cuales están sujetos frecuentemente los puentes en la mayor parte de América del Norte. Las variaciones de las dimensiones que se producen en la madera pueden alterar significativamente los esfuerzos de pretensado. La madera tratada con conservantes aplicados en aceite no responde tan rápidamente a los cambios de contenido de humedad.

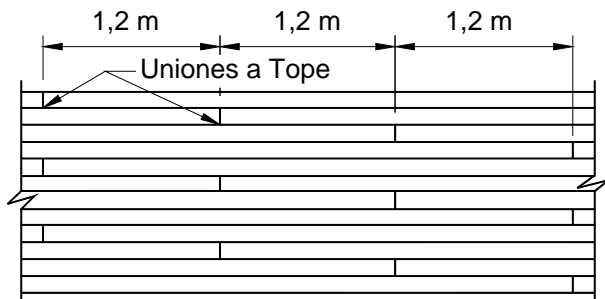
El tratamiento conservante de la madera que se ha de utilizar en un tablero de madera laminada y encolada se debería mantener al nivel mínimo especificado en el Artículo 8.4.3. Si hay una cantidad excesiva de aceites en la madera es posible que luego de tesar el tablero el aceite sea expelido de la madera, lo cual puede contribuir a aumentar las pérdidas de pretensado que ocurren en un

### 9.9.5.2 Uso de Clavos

Se deberá especificar que cada laminación se debe unir a la anterior mediante clavos comunes o en espiral a intervalos menores o iguales que 1200 mm. Los clavos se deberán colocar alternadamente cerca de los bordes superior e inferior de las laminaciones. Se deberá ubicar un clavo cerca tanto de la parte superior como de la parte inferior en las uniones a tope. La longitud de los clavos debe ser suficiente para atravesar dos laminaciones.

### 9.9.5.3 Uniones a Tope Alternadas

Si se utilizan uniones a tope no deberá haber más de una unión a tope cada cuatro laminaciones adyacentes dentro de una distancia de 1200 mm, tal como se ilustra en la Figura 1.



**Figura 9.9.5.3-1 – Mínima separación entre líneas de uniones a tope**

### 9.9.5.4 Orificios en las Laminaciones

El diámetro de los orificios practicados en las laminaciones para la unidad de pretensado no deberá ser mayor que 20 por ciento de la profundidad de la laminación. La separación de los orificios a lo largo de las laminaciones deberá ser mayor o igual que 15,0 veces el diámetro del orificio y mayor o igual que 2,5 veces la profundidad de las laminaciones.

Sólo estará permitido utilizar orificios perforados.

### 9.9.5.5 Retenidas del Tablero

Los tableros deberán ser retenidos en todos los apoyos, y la separación de las retenidas a lo largo de cada apoyo no deberá ser mayor que 900mm. Cada retenida deberá consistir en un mínimo de dos bulones de 20 mm de diámetro en el caso de los tableros cuya profundidad es

período de tiempo breve luego de la construcción.

### C9.9.5.2

El uso de clavos en los tableros de madera laminada y tesada es apenas una comodidad temporaria, y se debe atener a los requisitos mínimos tanto como sea posible. El uso excesivo de clavos puede inhibir la acumulación de deformaciones elásticas durante el tesado transversal, lo cual posteriormente podría contribuir a disminuir su eficiencia.

### C9.9.5.3

Los requisitos indicados para las uniones a tope son valores extremos cuya intención es permitir laminaciones de longitud menor que la longitud del tablero. El comportamiento del tablero se puede mejorar reduciendo uniformemente o eliminando la ocurrencia de las uniones a tope y/o distribuyendo las uniones a tope.

Este requisito indica implícitamente que no se pueden utilizar laminaciones de menos de 4800 mm de longitud. Si se utilizan laminaciones de más de 4800 mm la separación de las uniones a tope es igual a un cuarto de la longitud.

### C9.9.5.4

La intención de estas limitaciones empíricas es minimizar los efectos negativos del tamaño de los orificios y su separación sobre el comportamiento del tablero.

Los orificios troquelados pueden afectar gravemente el comportamiento del laminado, ya que pueden romper las fibras de la madera en la proximidad de los orificios.

### C9.9.5.5

Los tableros de madera laminada y tesada requieren una retenida más efectiva que la que proporcionan los clavos o pasadores. Estos tableros tienden a desarrollar curvatura en forma perpendicular al laminado cuando se los tesa transversalmente. Las retenidas mediante bulones



menor o igual que 300 mm, o bien en dos bulones de 27 mm de diámetro en el caso de los tableros de más de 300 mm de profundidad.

### 9.9.5.6 Tesado

#### 9.9.5.6.1 Sistema de Pretensado

Los tableros nuevos de madera tesada se deberán diseñar utilizando pretensado interno. Se puede utilizar pretensado externo para rehabilitar puentes de madera laminada clavada existentes, en cuyo caso se deberán utilizar distribuidores de la fuerza de pretensado que sean continuos y de acero.

En los tableros de madera laminada y tesada con ángulos de oblicuidad menores que  $25^\circ$  las barras de tesado pueden disponerse paralelas a la oblicuidad. En el caso de ángulos de oblicuidad comprendidos entre  $25^\circ$  y  $45^\circ$  las barras se deberían disponer perpendiculares a las laminaciones, y en las zonas de los extremos las barras de pretensado transversales se deberían disponer en planta en forma de abanico como se ilustra en la Figura 1, o bien disponer en un patrón escalonado como se ilustra en la Figura 2.

En el diseño se deberán considerar las variaciones de las dimensiones que se producen en el tablero como consecuencia del pretensado.

Los accesorios para el anclaje de las barras de pretensado se deberían disponer de uno de los tres modos indicados en la Figura 3.

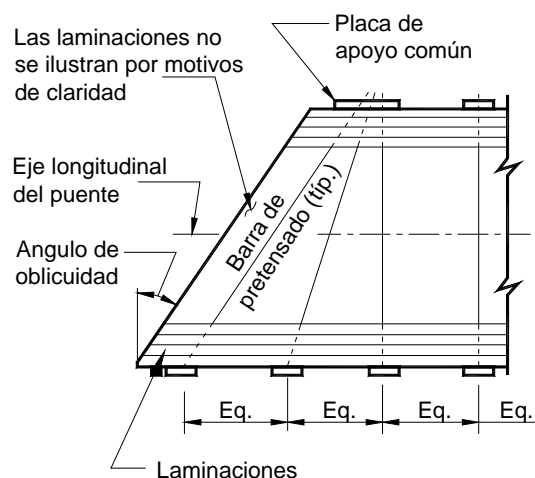
o tornillos para madera aseguran el correcto contacto entre el tablero y los elementos de apoyo.

#### C9.9.5.6.1

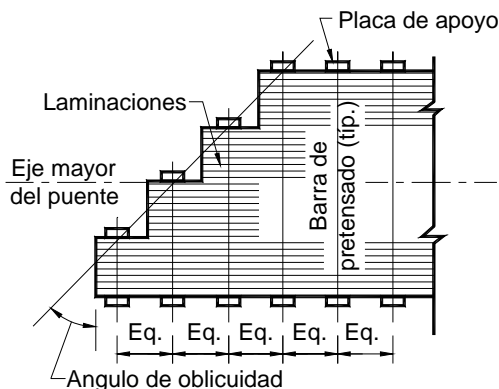
En la Figura 3 se ilustran sistemas de pretensado externos e internos. El sistema interno protege mejor el elemento de pretensado y disminuye la restricción a la aplicación de superficies de rodamiento.

En general no es necesario asegurar los tableros de madera a los apoyos hasta completar todo el pretensado transversal. Debido a las excentricidades no intencionales que se pueden introducir en el pretensado, potencialmente pueden haber deformaciones excesivas si el tablero se tesa en una longitud muy larga. Se recomienda proveer restricciones durante el pretensado si el ancho del tablero, medido en forma perpendicular a las laminaciones, es mayor que 50,0 veces la profundidad del tablero si se trata de un tablero longitudinal o 40,0 veces la profundidad del tablero si se trata de un tablero transversal. Estas restricciones no deberían inhibir el movimiento lateral del tablero sobre su ancho durante el proceso de pretensado.

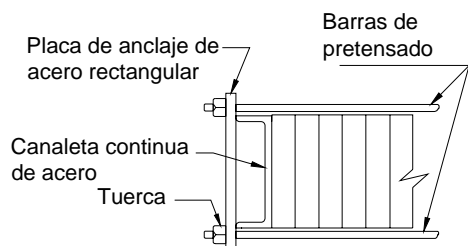
En el caso de la disposición en abanico de los elementos de pretensado ilustrada en la Figura 1, se deberían considerar la potencial concentración de tensiones de apoyo y el deslizamiento de la placa de apoyo común.



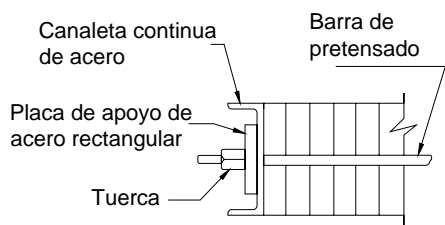
**Figura 9.9.5.6.1-1 – Barras de pretensado dispuestas en forma de abanico en las zonas de los extremos de un tablero oblicuo (Exclusivamente a título ilustrativo)**



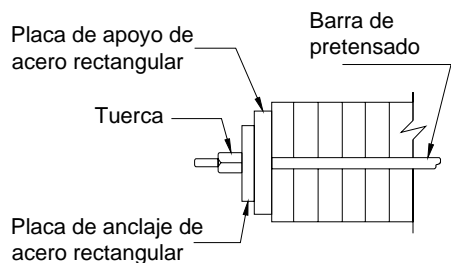
**Figura 9.9.5.6.1-2 – Disposición escalonada de las barras de pretensado en las zonas de los extremos de un tablero oblicuo (Exclusivamente a título ilustrativo)**



**A. CONFIGURACIÓN DE UN ANCLAJE CON DISTRIBUIDOR EXTERNO EN FORMA DE CANALETA CONTINUA**



**B. CONFIGURACIÓN DE UN ANCLAJE CON DISTRIBUIDOR EN FORMA DE CANALETA**



**C. CONFIGURACIÓN DE UN ANCLAJE CON PLACA DE ANCLAJE**

**Figura 9.9.5.6.1-3 – Tipos de configuraciones para el pretensado**

Sólo se deben utilizar placas de apoyo de acero aisladas en los tableros de madera dura o, si se proveen como mínimo dos laminaciones de madera dura, en los bordes exteriores del tablero.

#### 9.9.5.6.2 Materiales de Pretensado

Los materiales utilizados para realizar el pretensado deberán satisfacer los requisitos del Artículo 5.4.

#### 9.9.5.6.3 Requisitos de Diseño

La relación acero-madera,  $R_{sw}$ , deberá satisfacer la siguiente condición:

$$R_{sw} = \frac{A_s}{sh} \leq 0,0016 \quad (9.9.5.6.3-1)$$

donde:

$s$  = separación de los elementos de pretensado (mm)

$h$  = profundidad del tablero (mm)

$A_s$  = área de las barras o cables de acero (mm<sup>2</sup>)

La fuerza de pretensado por cada elemento de pretensado, en N, se deberá determinar como:

$$P_{pt} = 0,70 hs \quad (9.9.5.6.3-2)$$

El área de apoyo efectiva,  $A_B$ , sobre la madera directamente debajo del distribuidor de la fuerza de pretensado del anclaje debida al pretensado se deberá determinar considerando la rigidez relativa del tablero de madera y el distribuidor de acero. El distribuidor de la fuerza de pretensado deberá satisfacer la siguiente condición:

Se requieren distribuidores de la fuerza de pretensado continuos y de acero o bien laminaciones de madera dura, ya que estos elementos mejoran el comportamiento en obra. Las placas de apoyo de acero aisladas que se han utilizado en tableros de madera blanda han provocado el aplastamiento de la madera, aumentado considerablemente las pérdidas de pretensado y haciendo que los tableros sean pobres desde el punto de vista estético.

#### C9.9.5.6.2

En todos los tableros de madera pretensada contruidos hasta la fecha se han utilizado barras de alta resistencia como elementos de pretensado. Teóricamente, cualquier sistema de pretensado que pueda ser adecuadamente protegido contra la corrosión sería aceptable.

#### C9.9.5.6.3

La intención de la limitación impuesta a la relación entre las áreas de acero y madera es reducir las pérdidas de pretensado debidas a la relajación que provocan la fluencia lenta de la madera y el acero así como los cambios dimensionales provocados por las variaciones del contenido de humedad de la madera. Las pérdidas de pretensado son muy sensibles a esta relación, y en la mayoría de las estructuras existentes esta relación es menor que 0,0016. Con una relación pequeña (por ejemplo comprendida entre 0,0012 y 0,0014), un contenido de humedad inicial menor que 19 por ciento y un adecuado tratamiento conservante se lograrán niveles de pretensado a largo plazo más elevados.

La tensión de compresión de diseño promedio representa la presión uniforme que se logra lejos del distribuidor de la fuerza de pretensado. La limitación impuesta a la tensión de compresión correspondiente al máximo pretensado minimiza la deformación permanente de la madera. Aumentar la tensión de compresión inicial más allá de estos niveles no aumenta significativamente la tensión de compresión final una vez que han ocurrido todas las pérdidas.

La Ecuación 2 se basa en considerar una tensión de compresión uniforme de 0,7 MPa entre las laminaciones debida al pretensado. Para el análisis estructural se puede asumir una tensión de compresión neta de 0,28 MPa luego de todas las pérdidas.

La relajación del sistema de pretensado es un fenómeno dependiente del tiempo, y numerosos trabajos de investigación y experiencias recabadas de una gran cantidad de estructuras in situ indican que es necesario tesar el sistema nuevamente luego del tesado inicial a fin de contrarrestar los efectos de la relajación a largo plazo. La secuencia de tesado óptima sería la siguiente:

$$P_{BU} = \phi F A_B \geq P_{pt} \quad (9.9.5.6.3-3)$$

donde:

$P_{BU}$  = resistencia a la compresión mayorada de la madera debajo del distribuidor de la fuerza de pretensado (N)

$\phi$  = factor de resistencia para compresión perpendicular al grano de la madera como se especifica en el Artículo 8.5.2.2

$F$  = como se especifica en la Tabla 1

- Tesar hasta el nivel de diseño total en el momento de la construcción;
- Tesar nuevamente hasta el nivel de diseño total no menos de una semana después del tesado inicial; y
- Tesar nuevamente hasta el nivel de diseño total no menos de cuatro semanas después del segundo tesado.

Luego del primer retesado, aumentando el intervalo hasta el segundo retesado se mejora la retención del tesado a largo plazo. Los retesados posteriores disminuirán aún más los efectos de las pérdidas por fluencia lenta a largo plazo y mejorarán la retención del tesado.

**Tabla 9.9.5.6.3-1 – Valores de  $F$  para los tableros de madera pretensada**

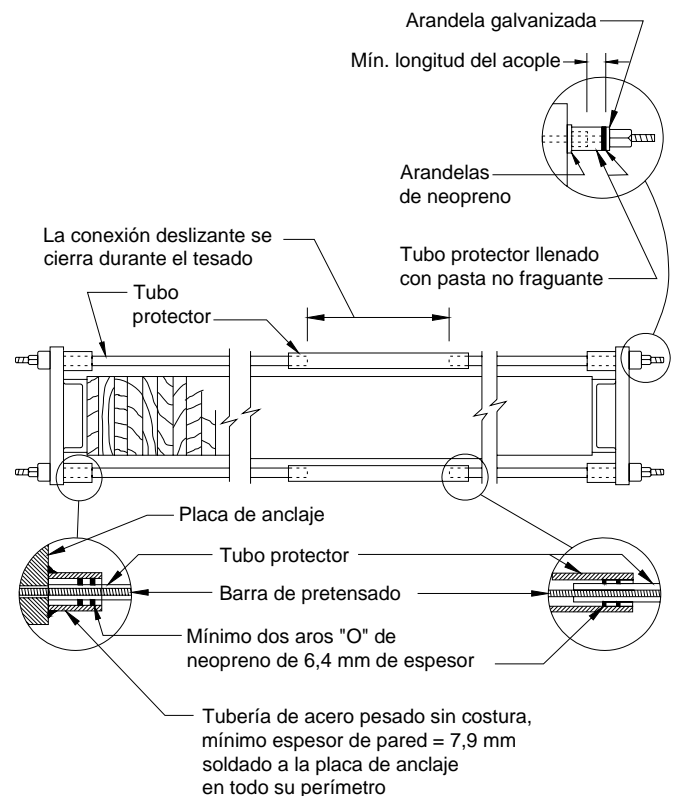
ESPECIE	$F$ (MPa)
Abeto Douglas-Alerce ( <i>Douglas Fir Larch</i> )	2,93
Abeto Hemlock ( <i>Hemlock Fir</i> )	1,90
SPF (Spruce-Pine-Fir)	1,90
Maderas Blandas Orientales ( <i>Eastern Softwoods</i> )	1,55
Pino del Sur Mixto ( <i>Mixed Southern Pine</i> )	2,59
Pino del Sur ( <i>Southern Pine</i> )	2,59
SPF del Sur ( <i>Spruce-Pine-Fir-South</i> )	1,55
Roble Rojo del Norte ( <i>Northern Red Oak</i> )	4,14
Maple Rojo ( <i>Red Maple</i> )	2,76
Roble Rojo ( <i>Red Oak</i> )	3,79
Álamo Amarillo ( <i>Yellow Poplar</i> )	1,90

#### 9.9.5.6.4 Protección contra la Corrosión

Los elementos del sistema de pretensado se deberán proteger mediante encapsulado y/o recubrimientos superficiales. Las vainas protectoras deberán ser capaces de soportar una variación como mínimo igual al 10 por ciento de su longitud durante el tesado sin sufrir daños.

#### C9.9.5.6.4

En la Figura C1 se ilustran los elementos de un sistema de protección adecuado.



**Figura C9.9.5.6.4-1 – Elementos del sistema de protección contra la corrosión**

#### 9.9.5.6.5 Barandas

Las barandas no se deberán fijar directamente a ninguno de los elementos de pretensado ni a los distribuidores de la fuerza de pretensado. El tablero no deberá ser penetrado a una distancia menor que 150 mm a partir de un elemento de pretensado.

### 9.9.6 Tableros de Madera Laminada y Clavada

#### 9.9.6.1 Requisitos Generales

Los tableros de madera laminada y clavada deberán consistir en una serie de laminaciones de madera que se colocan canto contra canto entre apoyos y se clavan entre sí en su cara ancha utilizando clavos deformados de longitud suficiente para penetrar completamente cuatro laminaciones. Los clavos se deberán colocar en orificios guía perforados a través de pares de laminaciones en cada extremo y a intervalos no mayores que 300 mm en un patrón alternante cerca de la parte superior e inferior de las laminaciones, tal como se ilustra en la Figura 1.

Las laminaciones no se deberán empalmar a tope en sus longitudes no apoyadas.

#### C9.9.5.6.5

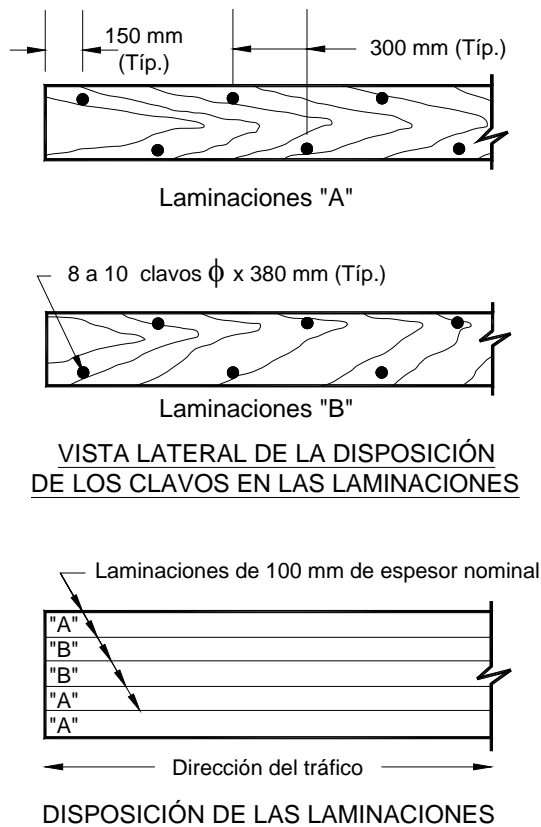
Fijar los elementos de los cordones y barandas directamente a un elemento del sistema de pretensado aumenta el riesgo de falla en caso de impacto de un vehículo.

#### C9.9.6.1

El uso de tableros de madera laminada y clavada se debería limitar a caminos secundarios en los cuales el volumen de camiones es bajo, por ejemplo valores de ADTT significativamente menores que 100 camiones por día.

Hasta la fecha la mayor parte de los tableros de este tipo se han construido usando laminaciones de 75 a 100 mm de espesor. Las laminaciones se pueden armar in situ o bien prefabricar en forma de paneles.

Los detalles de diseño especificados para la disposición de las laminaciones y los clavos se basan en las prácticas actuales. Es importante que los orificios guía para los



clavos ajusten fuertemente para asegurar una correcta transferencia de cargas entre las laminaciones y minimizar los movimientos mecánicos.

**Figura 9.9.6.1-1 – Disposición de los clavos en un tablero laminado**

### 9.9.6.2 Retenidas del Tablero

Las retenidas del tablero deberán ser como se especifica en el Artículo 9.9.4.2.

### 9.9.6.3 Tableros Formados por Paneles

Se puede asumir que los anchos de distribución para los paneles de madera laminada y clavada interconectados entre sí son iguales que para los tableros continuos, tal como se especifica en el Artículo 4.

Los paneles se pueden interconectar mediante sujetadores mecánicos, lengüetas, clavijas o vigas rigidizadoras para transferir corte entre los paneles. Si se utilizan vigas rigidizadoras se deberán aplicar los requisitos del Artículo 9.9.4.3.

### C9.9.6.3

El uso de tableros no interconectados se debería limitar a caminos secundarios y rurales.

Es importante proveer una interconexión efectiva entre los paneles para poder asegurar la correcta transferencia de carga. Se recomienda utilizar vigas rigidizadoras, comparables a las especificadas para los paneles de madera laminada y encolada. El uso de una viga rigidizadora adecuada permite que la serviciabilidad del tablero de madera laminada y clavada se aproxime a la de las construcciones con paneles de madera laminada y encolada.

Es posible que con el tiempo el tablero comience a deslaminarse en la proximidad de las uniones entre los bordes de los paneles. Para evaluar tableros existentes formados por paneles no interconectados y tableros interconectados en los cuales la interconexión ha perdido efectividad se deben utilizar los requisitos sobre

distribución de cargas indicados para el caso de paneles no interconectados.

### 9.9.7 Tableros Formados por Tablones

#### 9.9.7.1 Requisitos Generales

Los tableros formados por tablones deberán consistir en una serie de tablones de madera dispuestos de forma plana sobre apoyos. Las uniones a tope se deberán realizar sobre los apoyos y deberán estar alternadas como mínimo 900 mm entre tablones adyacentes.

#### 9.9.7.2 Retenidas del Tablero

Si se colocan sobre vigas de madera, cada tablón se deberá a clavar a cada apoyo utilizando dos clavos con una longitud mínima igual a dos veces el espesor de los tablones.

Si se colocan sobre vigas de acero, los tablones se deberán abulonar a las vigas o clavar a fajas de clavado de madera. Estas fajas deberán tener como mínimo 100 mm de espesor y su ancho deberá ser mayor que el ancho del ala de la viga. Las fajas de clavado se deberían asegurar mediante bulones A 307 de al menos 16 mm de diámetro colocados en todas las almas, separados no más de 1200 mm y a una distancia no mayor que 450 mm de los extremos de las fajas.

### 9.9.8 Superficies de Rodamiento sobre Tableros de Madera

#### 9.9.8.1 Requisitos Generales

Las superficies de rodamiento deberán ser de naturaleza continua. Excepto en el caso de los tablones de madera, no se deberán utilizar clavos para sujetar la superficie de rodamiento al tablero.

#### C9.9.7.1

Estos tipos de tableros se han utilizado en caminos con bajos volúmenes de tráfico y en los cuales el tránsito de vehículos pesados es escaso o nulo. Sin embargo, estos tableros no proveen ningún tipo de protección contra la humedad a los elementos de apoyo, no aceptan ni retienen fácilmente una superficie de rodamiento bituminosa y generalmente requieren mantenimiento continuo si son utilizados por vehículos pesados.

El uso de estos tableros se debería limitar a caminos en los cuales no hay tránsito de vehículos pesados o cuando la superficie de rodamiento es monitoreada y mantenida de forma continua.

#### C9.9.8.1

Para los tableros de madera se recomienda utilizar superficies de rodamiento bituminosas.

La superficie del tablero de madera debe estar limpia y libre de aceites para mejorar la adherencia e impedir la exudación del tratamiento conservante a través de la superficie de rodamiento. La exudación excesiva del tratamiento puede reducir severamente la adherencia. Los planos y especificaciones técnicas deben establecer claramente que el material del tablero se debe tratar utilizando el proceso de células vacías, seguido por un baño de expansión o aplicación de vapor.

**9.9.8.2 Asfalto Mezclado en Planta**

Antes de aplicar una superficie de rodamiento asfáltica sobre un tablero de madera se deberá aplicar una capa ligante aprobada. La capa ligante se puede omitir si se utiliza un tejido geotextil, con sujeción a las recomendaciones del fabricante.

Siempre que sea posible se deberá proveer una conexión positiva entre el tablero de madera y la superficie de rodamiento. Esta conexión se puede proveer de forma mecánica o por medio de un tejido geotextil.

El asfalto debe tener una profundidad mínima compactada de 50 mm. Si el tablero de madera no tiene pendiente transversal, la superficie de rodamiento deberá proveer como mínimo una pendiente transversal del uno por ciento.

**9.9.8.3 Sellado con Gravilla o "Chip Seal"**

Si se utiliza una superficie de rodamiento sellada con gravilla sobre un tablero de madera se deberán proveer como mínimo dos capas.

**C9.9.8.2**

La aplicación de una capa ligante mejora sustancialmente la adherencia de las superficies de rodamiento asfálticas.

Debido a que las superficies de las laminaciones individuales y los tableros de madera laminada y encolada son muy lisas, es aconsejable proporcionar esta conexión positiva a fin de asegurar un comportamiento adecuado. El uso de tejidos geotextiles impregnados con material asfáltico ha resultado exitoso utilizando sólo una capa ligante y ninguna armadura entre el tablero y el asfalto.

**C9.9.8.3**

En los tableros laminados pueden haber laminaciones desfasadas que crean irregularidades sobre la superficie, por lo cual será necesario proveer una superficie de rodamiento cuya profundidad sea adecuada para proteger el tablero de madera. Las superficies de rodamiento selladas con gravilla se han utilizado exitosamente en tableros de madera laminada y tesada gracias a que su comportamiento se aproxima al de una losa maciza.



## REFERENCIAS

- Ahlskog, J. 2000. "Vibration and Deflection Criteria for Lightweight Decks Designed Using the LRFD Code." Actualmente en proceso de publicación.
- AISC. 1963. *Design Manual for Orthotropic Steel Plate Deck Bridges*. American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.
- Baker, T. H. 1991. "Volume I, Plate Stiffness Constants for Concrete Filled Steel Grid Decks, Static and Fatigue Strength Determination of Design Properties for Grid Bridge Decks." *Research Report ST-9*, Department of Civil Engineering, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA.
- Bieschke, L. A., y R. E. Klingner. 1982. "The Effect of Transverse Strand Extensions on the Behavior of Precast Prestressed Panel Bridges." *FHWA/TX-82/18-303-1F*. Federal Highway Administration, Washington, DC, University of Texas, Austin, TX.
- Buth, E., H. L. Furr, y H. L. Jones. 1992. "Evaluation of a Prestressed Panel, Cast-in-Place Bridge." *TTI-2-5-70-145-3*. Texas Transportation Institute, College Station, TX.
- Csagoly, P. F. 1979. *Design of Thin Concrete Deck Slabs by the Ontario Highway Bridge Design Code*. Ministry of Transportation of Ontario, Downsview, Ontario, Canada.
- Csagoly, P. F., y J. M. Lybas. 1989. "Advanced Design Method for Concrete Bridge Deck Slabs." *Concrete International*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, Vol. 11, No. 5, Mayo 1989, pp. 53-64.
- Csagoly, P. F., y W. N. Nickas. 1987. "Florida Bulb-Tee and Double-Tee Beams." *Concrete International*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, Vol. 9, No. 11, Nov. 1987, pp. 18-23.
- Csagoly, P. F., y R. J. Taylor. 1979. *A Development Program for Wood Highway Bridges*. Ministry of Transportation of Ontario, Downsview, Ontario, Canada.
- Daniels, J., y R. Slutter. 1985. "Behavior of Modular Unfilled Composite Steel Grid Bridge Deck Panels." *Report No. 200.84.795.1*, Lehigh University, Bethlehem, PA, Enero 1985.
- Darlow, M., y N. Bettigole. 1989. "Instrumentation and Testing of Bridge Rehabilitated with Exodermic Deck." *Journal of Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, New York, NY, Vol. 115, No. 10, Oct. 1989, pp. 2461-2480.
- deV Batchelor, B., K. V. Dalen, T. Morrison, y R. J. Taylor. 1981. *Structural Characteristics of Red-Pine and Hem-Fir in Prestressed Laminated Wood Bridge Decks*. Queens University, Ontario, Canada.
- deV Batchelor, B., B. E. Hewitt, y P. F. Csagoly. 1978. "Investigation of the Fatigue Strength of Deck Slabs of Composite Steel/Concrete Bridges." En *Transportation Research Record* 664. TRB, National Research Council, Washington, DC.
- DiCesare, A., y J. Pensiero. 1992. *Bridge Analysis Report: High Street Bridge over Metro-North Railroad, Dobbs Ferry*. BIN 2265160, M.G. McLaren, P.C., West Nyack, NY, Julio 1992.
- ECSC. 1995. "Measurements and Interpretations of Dynamic Loads and Bridges." *Phase 4: Fatigue Strength of Steel Bridges*. Informe Común, editado por A. Bruls. Bruselas, Bélgica, Sept. 1995. Anexo F.
- Fang, K. I., 1985. "Behavior of Ontario-Type Bridge Deck on Steel Girders." Tesis Doctoral. University of Texas, Austin, TX, Dic. 1985.

Fang, K. I., J. Worley, N. H. Burns, y R. E. Klingner. 1990. "Behavior of Isotropic Reinforced Concrete Bridge Decks on Steel Girders." *Journal of Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, New York, NY, Vol. 116, No. 3, Marzo 1990, pp. 659-678.

Gangarao, H. V. S., P. R. Raju, y R. Kannekanti. 1993. "Final Report: Static and Fatigue Behavior of Filled and Unfilled Composite Steel Grid Bridge Decks." *Volume III, Report CFC92-150*, West Virginia University, Constructed Facilities Center, Morgantown, WV, Dic. 1993.

Gangarao, H. V. S., P. R. Raju, y N. R. Koppula. 1992. "Behavior of Concrete-Filled Steel Grid Decks." En *Transportation Research Record 1371*. TRB, National Research Council, Washington, DC.

Hays, C. O., J. M. Lybas, y S. O. Guevara. 1989. *Test of Punching Shear Strength of Lightly Reinforced Orthotropic Bridge Decks*. University of Florida, Gainesville, FL.

Hewitt, B. E., y B. deV Batchelor. 1975. "Punching Shear Strength of Restraint Slabs." *Journal of the Structural Division*, American Society of Civil Engineers, New York, NY, Vol. 101, No. ST9, pp. 1837-1853.

Higgins, C. "LRFD Orthotropic Plate Model for Determining Live Load Moments in Concrete Filled Grid Bridge Decks." *Journal of Bridge Engineering*, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, Enero/Febrero 2003, pp. 20-28.

\_\_\_\_\_. "LRFD Compatible Orthotropic Plate Model for Estimating Deflections in Concrete Filled Grid Bridge Decks." Actualmente en proceso de publicación.

Higgins, C., y H. Mitchell. 1997. "Tests of a Revised Exodermic Bridge Deck Design." *Report No. 97-16*, Clarkson University, Potsdam, NY.

\_\_\_\_\_. 1998. "Fatigue Tests of a Revised Exodermic Bridge Deck Design." *Report No. 98-12*, Clarkson University, Potsdam, NY.

\_\_\_\_\_. 2001. "Behavior of Composite Bridge Decks with Alternative Shear Connectors." *Journal of Bridge Engineering*, American Society of Civil Engineers, New York, NY, Vol. 6, No. 1, Enero/Febrero 2001, pp. 17-22.

Highway Engineering Division. 1991. *Ontario Highway Bridge Design Code*. Highway Engineering Division, Ministry of Transportation and Communications, Toronto, Canada.

Holowka, M., R. A. Dorton, y P. F. Csagoly. 1980. *Punching Shear Strength of Restrained Circular Slabs*. Ministry of Transportation and Communication, Downsview, Ontario, Canada.

Kim, K. H., J. M. Domingues, R. E. Klingner, y N. H. Burns. 1988. *Behavior of Ontario-Type Bridge Decks on Steel Girders*. University of Texas, Austin, TX.

Klippstein, Karl H. 1993. "Volume III, Fatigue Tests and Strain Measurements on Grid Decks." University of Pittsburgh and Western Pennsylvania Advanced Technology Center, IKG Industries.

Mangelsdorf, C. P. 1991. "Volume II, Plate Stiffness Summary and Strain Measurements on Grid Decks, Static and Fatigue Strength Determination of Design Properties for Grid Bridge Decks." *Research Report ST-10*, Department of Civil Engineering, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, Dic. 1991.

\_\_\_\_\_. 1996. "Volume IV, Summary and Final Report, Static and Fatigue Strength Determination of Design Properties for Grid Bridge Decks." Department of Civil and Environmental Engineering, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, Enero 1996.

McLean, D. y M. Marsh. 1988. National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice 266, "Dynamic Impact Factors for Bridges." TRB, National Research Council, Washington, DC.

Menzemer, C., A. Hinkle, y G. Nordmark. 1987. "Aluminum Orthotropic Bridge Deck Verifications." Presentado en *Materials and Member Behavior, American Society of Civil Engineers, Structures Congress*, Orlando, FL, Agosto 17-20, 1987, pp. 298-305,

Ritter, M. A. 1990. "Timber Bridges, Design, Construction, Inspection and Maintenance." *EM7700-B*. U.S. Forest Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.

Sexsmith, R. G., P. D. Boyle, B. Rovner, y R. A. Abbott. 1979. *Load Sharing in Vertically Laminated, Post-Tensioned Bridge Decks*. Forintek Canada Corporation, Vancouver, British Columbia, Canada, Abril 1979.

Troitsky, M. S. 1987. *Orthotropic Bridges; Theory and Design*. 2º ed. Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, OH.

Wolchuk, R. 1964. "Steel Deck Bridges with Long Rib Spans." American Society of Civil Engineers, New York, NY, Feb. 1964.

\_\_\_\_\_. 1990. "Lessons from Weld Cracks in Orthotropic Decks on Three European Bridges." *Journal of Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, New York, NY, Vol. 117, No. 1, Enero 1990, pp. 75-84.

\_\_\_\_\_. 1999. "Steel Orthotropic Decks – Developments in the 1990's." In *Transportation Research Record 1688*. TRB, National Research Council, Washington, DC.

Wolchuk, R., y A. Ostapenko. 1992. "Secondary Stresses in Closed Orthotropic Deck Ribs at Floor Beams." *Journal of Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, New York, NY, Vol. 118, No. 2, Feb. 1992, pp. 582-595.