

**Reglamento CIRSOC 804-6**  
**Ministerio de Obras Públicas de la Nación**  
**Secretaría de Obras Públicas de la Nación**

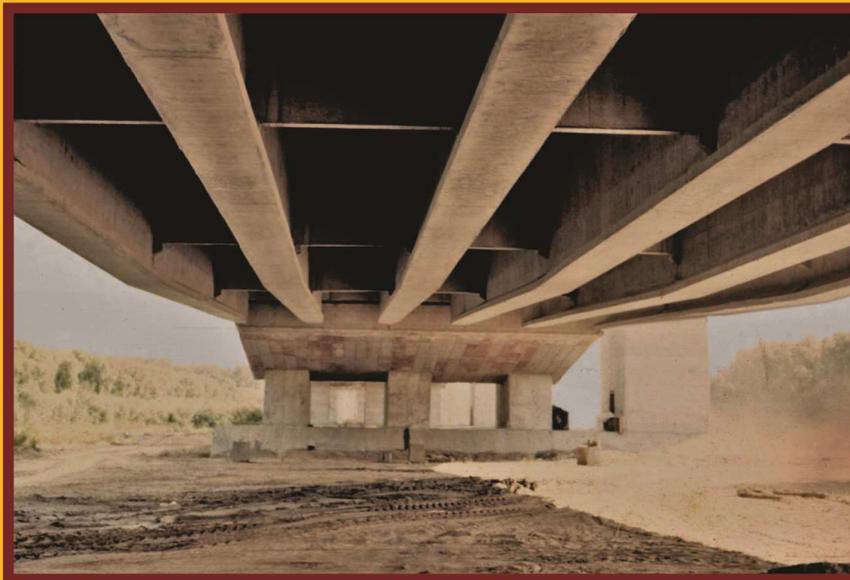
**INTI**

Instituto Nacional de  
Tecnología Industrial



**CIRSOC**

Centro de Investigación de los  
Reglamentos Nacionales de  
Seguridad para las Obras Civiles



***REGLAMENTO ARGENTINO***  
***PARA EL DISEÑO DE***  
***PUENTES CARRETEROS***

***Juntas y Apoyos***

**Julio 2020**

***REGLAMENTO ARGENTINO  
PARA EL DISEÑO DE  
PUENTES CARRETEROS***

***Juntas y Apoyos***

***EDICIÓN JULIO 2020***



**Av. Cabildo 65 Subsuelo – Ala Savio  
(C1426AAA) Buenos Aires – República Argentina  
TELEFAX. (54 11) 4779-3183**

**E-mail: [cirsoc@inti.gob.ar](mailto:cirsoc@inti.gob.ar)  
[cirsoc@fm.gob.ar](mailto:cirsoc@fm.gob.ar)**

**INTERNET:**

**[www.inti.gob.ar/areas/servicios-industriales/construcciones-e-infraestructura/cirsoc](http://www.inti.gob.ar/areas/servicios-industriales/construcciones-e-infraestructura/cirsoc)**

*Primer Director Técnico († 1980): Ing. Luis María Machado*

*Directora Técnica: Inga. Marta S. Parmigiani*

*Área Estructuras de Hormigón: Ing. Daniel A. Ortega*

*Área Administración, Finanzas y Promoción: Lic. Mónica B. Krotz*

*Área Diseño, Edición y Publicaciones: Sr. Néstor D. Corti*

© 2020

**Editado por INTI  
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL  
Av. Leandro N. Alem 1067 – 7° piso - Buenos Aires. Tel. 4515-5000**

**Queda hecho el depósito que fija la ley 11.723. Todos los derechos, reservados.  
Prohibida la reproducción parcial o total sin autorización escrita del editor. Impreso  
en la Argentina.  
Printed in Argentina.**

## **ORGANISMOS PROMOTORES**

Secretaría de Obras Públicas de la Nación  
Secretaría de Vivienda y Hábitat de la Nación  
Instituto Nacional de Tecnología Industrial  
Instituto Nacional de Prevención Sísmica  
Ministerio de Hacienda, Finanzas y Obras Públicas de la Provincia del Neuquén  
Consejo Interprovincial de Ministros de Obras Públicas  
Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires  
Dirección Nacional de Vialidad  
Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires  
Consejo Vial Federal  
Cámara Argentina de la Construcción  
Consejo Profesional de Ingeniería Civil  
Asociación de Fabricantes de Cemento Pórtland  
Instituto Argentino de Normalización  
Techint  
Acindar – Grupo Arcelor Mittal

## **MIEMBROS ADHERENTES**

Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón  
Asociación Argentina de Hormigón Estructural  
Asociación Argentina de Hormigón Elaborado  
Asociación Argentina del Bloque de Hormigón  
Asociación de Ingenieros Estructurales  
Cámara Industrial de Cerámica Roja  
Centro Argentino de Ingenieros  
Instituto Argentino de Siderurgia  
Transportadora Gas del Sur  
Quasdam Ingeniería  
Sociedad Argentina de Ingeniería Geotécnica  
Colegio de Ingenieros de la Provincia de Buenos Aires  
Cámara Argentina del Aluminio y Metales Afines  
Cámara Argentina de Empresas de Fundaciones de Ingeniería Civil  
Federación Argentina de la Ingeniería Civil  
Consejo Profesional de Agrimensores, Ingenieros y Profesiones Afines de Salta



## ***Reconocimiento Especial***

*El INTI-CIRSOC agradece muy especialmente a las Autoridades del American National Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) por habernos permitido adoptar de base para el desarrollo de este Reglamento, la edición 2012 del documento **AASHTO LRFD Bridge Design Specification**.*



**ASESORES QUE INTERVINIERON EN LA REDACCIÓN  
DEL**

**REGLAMENTO ARGENTINO  
PARA EL DISEÑO DE  
PUENTES CARRETEROS**

**CIRSOC 804-6**

***Juntas y Apoyos***

***Ing. Francisco Bissio  
Ing. Victorio Hernández Balat  
Ing. Daniel Ortega  
Ing. Gustavo Soprano***



***El Equipo Redactor contó con la colaboración de los siguientes profesionales:***

<b>Ing. Victor Fariña</b>	DIRECCIÓN NACIONAL DE VIALIDAD
<b>Ing. Susana Faustinelli Ing. Guillermo Ferrando Ing. José Giunta Ing. Hugo Echegaray</b>	CONSEJO VIAL FEDERAL
<b>Ing. Diego Cernuschi</b>	DIRECCIÓN DE VIALIDAD DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES
<b>Ing. Máximo Fioravanti</b>	ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA
<b>Ing. Gabriel Troglia</b>	COORDINADOR COMISIÓN PERMANENTE DE ESTRUCTURAS DE ACERO DE INTI-CIRSOC
<b>Ing. Juan José Goldemberg</b>	SOCIEDAD ARGENTINA DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA - SAIG
<b>Ing. Javier Fazio Ing. Tomás del Carril Ing. Rogelio Percivatti Franco Ing. Martín Polimeni</b>	ASOCIACIÓN DE INGENIEROS ESTRUCTURALES - AIE
<b>Ing. Roberto Cudmani Ing. Juan Carlos Reimundín</b>	COORDINADORES DEL REGLAMENTO CIRSOC 102-2005
<b>Ing. Alicia Aragno</b>	INVITADA ESPECIAL - EXCOORDINADORA ÁREA ACCIONES SOBRE LAS CONSTRUCCIONES DE INTI-CIRSOC

***Agradecimiento especial***

*El INTI-CIRSOC agradece muy especialmente al **Ing. Jorge Luis Briozzo** la donación de la foto que ilustra la tapa de este Reglamento, que pertenece al **Complejo Ferrovia Zárata Brazo Largo, Puente Gral. Urquiza**, Parte Final del Cuarto Viaducto Carretero y Ferroviario ingresando a la Provincia de Entre Ríos..*



# INDICE

## CAPÍTULO 14. JUNTAS Y APOYOS

14.1. CAMPO DE VALIDEZ	1
14.2. DEFINICIONES	1
14.3. SIMBOLOGÍA	4
14.4. MOVIMIENTOS Y CARGAS	12
14.4.1. Requisitos generales	12
14.4.2. Requisitos de diseño	13
14.4.2.1. Almohadillas elastoméricas y apoyos elastoméricos reforzados con acero	13
14.4.2.2. Apoyos multirotacionales para cargas elevadas (“High Load Multirotational” – HLMR)	13
14.4.2.2.1. Apoyos tipo Pot y apoyos con superficies deslizantes curvas	13
14.4.2.2.2. Apoyos de disco	13
14.5. JUNTAS PARA PUENTES	14
14.5.1. Requisitos	14
14.5.1.1. General	14
14.5.1.2. Diseño estructural	14
14.5.1.3. Geometría	15
14.5.1.4. Materiales	15
14.5.1.5. Mantenimiento	16
14.5.2. Selección	16
14.5.2.1. Número de juntas	16
14.5.2.2. Localización de las juntas	16
14.5.3. Requisitos de diseño	17
14.5.3.1. Movimientos durante la construcción	17
14.5.3.2. Movimientos de diseño	17
14.5.3.3. Protección	18
14.5.3.4. Placas de unión	18
14.5.3.5. Armado	18
14.5.3.6. Anclajes	19
14.5.3.7. Bulones	19
14.5.4. Fabricación	19
14.5.5. Instalación	19
14.5.5.1. Ajuste	19
14.5.5.2. Apoyos temporales	20
14.5.5.3. Empalmes en campo	20
14.5.6. Consideraciones específicas para cada tipo de junta	20
14.5.6.1. Juntas abiertas	20
14.5.6.2. Juntas cerradas	21

14.5.6.3. Juntas impermeables	21
14.5.6.4. Sellos de juntas	21
14.5.6.5. Sellos vaciados	22
14.5.6.6. Sellos de compresión y celulares	22
14.5.6.7. Sellos en láminas y franjas	23
14.5.6.8. Sellos elastoméricos reforzados	23
14.5.6.9. Sistemas de juntas de puente modular (“Modular Bridge Joint Systems” – MBSJ)	23
14.5.6.9.1. General	23
14.5.6.9.2. Requisitos de desempeño	24
14.5.6.9.3. Requisitos para ensayos y cálculos	24
14.5.6.9.4. Cargas y factores de carga	24
14.5.6.9.5. Distribución de las cargas de rueda	25
14.5.6.9.6. Requisitos de diseño en el estado límite de resistencia	26
14.5.6.9.7. Requisitos de diseño en el estado límite de fatiga	27
14.5.6.9.7a. General	27
14.5.6.9.7b. Rango de tensiones de diseño	28
14.6. REQUISITOS PARA LOS APOYOS	32
14.6.1. General	32
14.6.2. Características	33
14.6.3. Solicitaciones resultantes de la restricción de movimiento en el apoyo	34
14.6.3.1. Fuerzas y movimientos horizontales	34
14.6.3.2. Momento	36
14.6.4. Fabricación, instalación, ensayo, y transporte	37
14.6.5. Disposiciones para apoyos ante eventos sísmicos y otros eventos extremos	37
14.6.5.1. General	37
14.6.5.2. Aplicabilidad	37
14.6.5.3. Criterios de diseño	38
14.7. DISPOSICIONES ESPECIALES DE DISEÑO PARA APOYOS	38
14.7.1. Apoyos metálicos tipo Rocker y Roller (Balancines y Rodillos)	39
14.7.1.1. General	39
14.7.1.2. Materiales	39
14.7.1.3. Requisitos geométricos	39
14.7.1.4. Esfuerzos de contacto	40
14.7.2. Superficies deslizantes de “Polytetrafluorethylene – PTFE”	41
14.7.2.1. Superficie de PTFE	41
14.7.2.2. Superficie de unión	41
14.7.2.3. Espesor mínimo	41
14.7.2.3.1. PTFE	41
14.7.2.3.2. Superficie de unión de acero inoxidable	42
14.7.2.4. Presión de contacto	42
14.7.2.5. Coeficiente de fricción	42
14.7.2.6. Fijaciones	43
14.7.2.6.1. PTFE	43
14.7.2.6.2. Superficie de unión	44
14.7.3. Apoyos con superficies deslizantes curvas	44
14.7.3.1. General	44
14.7.3.2. Resistencia del apoyo	44

14.7.3.3. Resistencia a carga lateral	45
14.7.4. Apoyos tipo Pot	46
14.7.4.1. General	46
14.7.4.2. Materiales	46
14.7.4.3. Requisitos geométricos	46
14.7.4.4. Disco elastomérico	47
14.7.4.5. Anillos de sellado	47
14.7.4.5.1. General	47
14.7.4.5.2. Anillos con secciones transversales rectangulares	47
14.7.4.5.3. Anillos con sección transversal circular	48
14.7.4.6. Cilindro de confinamiento (“Pot”)	48
14.7.4.7. Pistón	49
14.7.5. Apoyos elastoméricos reforzados con acero — Método B	50
14.7.5.1. General	50
14.7.5.2. Propiedades de los materiales	51
14.7.5.3. Requisitos de diseño	52
14.7.5.3.1. Alcance	53
14.7.5.3.2. Deformaciones de corte	53
14.7.5.3.3. Combinación de compresión, rotación, y corte	53
14.7.5.3.4. Estabilidad de apoyos elastoméricos	57
14.7.5.3.5. Refuerzo	58
14.7.5.3.6. Deformación por compresión	59
14.7.5.3.7. Disposiciones ante eventos sísmicos y otros eventos extremos	60
14.7.5.4. Anclaje para apoyos sin placas externas adheridas	60
14.7.6. Almohadillas elastoméricas y apoyos elastoméricos reforzados con acero – Método A	60
14.7.6.1. General	60
14.7.6.2. Propiedades de los materiales	61
14.7.6.3. Requisitos de diseño	62
14.7.6.3.1. Alcance	62
14.7.6.3.2. Tensiones de compresión	63
14.7.6.3.3. Deformación por compresión	64
14.7.6.3.4. Corte	64
14.7.6.3.5. Rotación	65
14.7.6.3.5a. General	65
14.7.6.3.5b. Rotación en apoyos tipo “Cotton-Duck Pad – CDP”	66
14.7.6.3.6. Estabilidad	67
14.7.6.3.7. Refuerzo	67
14.7.6.3.8. Disposiciones ante eventos sísmicos y otros eventos extremos	67
14.7.7. Superficies deslizantes de bronce o aleación de cobre	67
14.7.7.1. Materiales	67
14.7.7.2. Coeficiente de fricción	68
14.7.7.3. Límite de carga	68
14.7.7.4. Holguras y superficies de unión	68
14.7.8. Apoyos de disco	68
14.7.8.1. General	68
14.7.8.2. Materiales	69
14.7.8.3. Disco elastomérico	69
14.7.8.4. Mecanismo de resistencia al corte	69
14.7.8.5. Placas de acero	70
14.7.9. Guías y restricciones	70
14.7.9.1. General	70
14.7.9.2. Cargas de diseño	70

14.7.9.3. Materiales	70
14.7.9.4. Requisitos geométricos	71
14.7.9.5. Bases de diseño	71
14.7.9.5.1. Localización de la carga	71
14.7.9.5.2. Esfuerzo de contacto	71
14.7.9.6. Fijación del material de baja fricción	71
14.7.10. Otros sistemas de apoyo	71
14.8. PLACAS DE CARGA Y ANCLAJES PARA APOYOS	72
14.8.1. Placas para distribución de carga	72
14.8.2. Placas de espesor variable	73
14.8.3. Anclaje y bulones de anclaje	73
14.8.3.1. General	73
14.8.3.2. Eventos sísmicos y otros eventos extremos — Requisitos de diseño y detallado	74
14.9. PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN	74
ANEXO A. DISPOSITIVOS DE APOYO – PARTE DE LA SECCIÓN 18 DEL AASHTO LRFD BRIDGE CONSTRUCTION SPECIFICATIONS (2010)	74

## CAPÍTULO 14. JUNTAS Y APOYOS

### 14.1. CAMPO DE VALIDEZ

Este Capítulo contiene los requisitos para el diseño y selección de apoyos estructurales y juntas del tablero.

Las unidades utilizadas en este Capítulo deben ser en kN, m, rad, °C, y Dureza Shore, a menos que se indique otra cosa.

### 14.2. DEFINICIONES

**Almohadilla reforzada con fibras de algodón (“Cotton-duck-reinforced pad – CDP”):** Almohadilla hecha con capas estrechamente espaciadas de elastómero y fibras de algodón, adheridas entre si durante la vulcanización.

**Almohadilla reforzada con fibras de vidrio (“Fiberglass-reinforced pad – FGP”):** Almohadilla hecha con capas discretas de elastómero y fibra de vidrio tejida adheridas entre si durante la vulcanización.

**Almohadilla simple de elastómero (“Plain elastomeric pad – PEP”):** Almohadilla hecha exclusivamente de elastómero, quien proporciona limitada traslación y rotación.

**Amortiguador (“Damper”):** Dispositivo que transfiere y reduce las fuerzas entre los elementos de la superestructura y/o los elementos de la subestructura, permitiendo los movimientos térmicos. El dispositivo proporciona amortiguamiento disipando energía bajo cargas sísmicas, de frenado, u otras cargas dinámicas.

**Apoyo (“Bearing”):** Dispositivo estructural que transmite las cargas mientras facilita la traslación y/o la rotación.

**Apoyo cilíndrico doble (“Double cylindrical bearing”):** Apoyo hecho con dos apoyos cilíndricos colocados uno sobre el otro con sus ejes en ángulos rectos para facilitar la rotación alrededor de cualquier eje horizontal.

**Apoyo de bronce (“Bronze bearing”):** Apoyo en el que los desplazamientos o las rotaciones ocurren por deslizamiento de una superficie de bronce contra una superficie de unión.

**Apoyo de disco (“Disc Bearing”):** Apoyo que acomoda la rotación mediante la deformación de un solo disco de elastómero moldeado con un compuesto de uretano. Puede ser móvil, guiado, sin guiar, o fijo. El movimiento se acomoda mediante el deslizamiento del acero inoxidable pulido sobre el politetrafluoroetileno (PTFE).

**Apoyo elastomérico reforzado con acero (“Steel-reinforced elastomeric bearing”):** Apoyo hecho de láminas de acero y elastómero alternadas, adheridos entre si durante la

vulcanización. Las cargas verticales son soportadas por compresión del elastómero. Los movimientos paralelos a las capas de refuerzo y las rotaciones se ajustan por la deformación del elastómero.

**Apoyo de rótula (“Knuckle bearing”):** Apoyo en el cual una superficie metálica cóncava se mece sobre una superficie metálica convexa para proporcionar capacidad de rotación alrededor de cualquier eje horizontal.

**Apoyo deslizante (“Sliding bearing”):** Apoyo que facilita el movimiento por medio de la traslación de una superficie con respecto a otra.

**Apoyo deslizante de PTFE (“PTFE Sliding bearing”):** Apoyo que soporta la carga vertical a través de los esfuerzos de contacto entre una lámina o tela tejida de PTFE y su superficie de unión, y que permite movimientos por medio del deslizamiento del PTFE sobre la superficie de unión.

**Apoyo fijo (“Fixed bearing”):** Apoyo que previene la traslación longitudinal diferencial de elementos estructurales colindantes. Puede o no estar previsto para traslación o rotación lateral diferencial.

**Apoyo tipo Pot (“Pot bearing”):** Apoyo que soporta la carga vertical mediante compresión de un disco de elastómero confinado en un cilindro de acero y que acomoda la rotación por medio de la deformación del disco.

**Apoyo metálico tipo Rocker o Roller (Balancín o Rodillo) (“Metal rocker or roller bearing”):** Apoyo que soporta la carga vertical mediante el contacto directo entre dos superficies metálicas y que acomoda el movimiento por medio del balanceo o del rodamiento de una superficie con respecto a la otra.

**Apoyo móvil (“Movable bearing”):** Apoyo que facilita la traslación horizontal diferencial de elementos estructurales colindantes en la dirección longitudinal y/o lateral. Puede o no estar previsto para rotación.

**Apoyo multirotacional (“Multirotational bearing”):** Apoyo que consiste de un elemento rotacional del tipo Pot, tipo disco, o tipo esférico cuando se utiliza como apoyo fijo y que puede, adicionalmente, tener superficies deslizantes para permitir la traslación cuando se utiliza como apoyo de expansión. La traslación se puede restringir a una dirección específica por medio de barras guía.

**Junta (“Joint”):** Discontinuidad estructural entre dos elementos. Elementos estructurales utilizados para enmarcar o formar la discontinuidad.

**Junta abierta (“Open joint”):** Junta diseñada para permitir el paso de agua y residuos a través de ésta.

**Junta cerrada (“Closed joint”):** Junta de tablero diseñada para prevenir el paso de residuos a través de la junta y para proteger el tránsito de peatones y bicicletas.

**Junta de alivio (“Relief joint”):** Junta de tablero, usualmente transversal, que se diseña para minimizar una acción compuesta no intencional o el efecto del movimiento horizontal diferencial entre el tablero y su sistema estructural de apoyo.

**Junta de apoyo (“Bearing joint”):** Junta de tablero proporcionada en los apoyos y en otros soportes del tablero para facilitar la traslación horizontal y la rotación de los elementos estructurales colindantes. Puede o no estar previsto para traslaciones verticales diferenciales de estos elementos.

**Junta de construcción (“Construction joint”):** Junta temporal utilizada para permitir la construcción secuencial.

**Junta de control de oscilaciones (“Cycle-control Joint”):** Junta transversal de la losa de aproximación diseñada para permitir oscilaciones longitudinales de puentes integrales y de las losas de aproximación adjuntas.

**Junta de tablero (“Deck joint”):** Discontinuidad estructural entre dos elementos, donde por lo menos uno de ellos es un elemento del tablero. Se diseña para permitir la traslación y/o rotación relativa de los elementos estructurales colindantes.

**Junta longitudinal (“Longitudinal joint”):** Junta paralela a la dirección de la luz de la estructura, prevista para separar el tablero o superestructura en dos sistemas estructurales independientes.

**Junta sellada (“Sealed joint”):** Junta provista con un sello de junta.

**Juntas impermeabilizadas (“Waterproofed joints”):** Juntas abiertas o cerradas a las que se les ha proporcionado alguna forma de acanalado bajo la junta para contener y conducir el drenaje del tablero lejos de la estructura.

**Longitudinal (“Longitudinal”):** Paralelo a la dirección principal de la luz de la estructura.

**Media cuadrática (“Root mean square”):** RMS

**Politetrafluoroetileno (“Polytetrafluorethylene – PTFE”):** También conocido como Teflón.

**Puente integral (“Integral bridge”):** Puente sin juntas de tablero.

**Punto neutro (“Neutral point”):** Punto alrededor del cual tienen lugar todos los cambios cíclicos volumétricos de una estructura.

**Retenedores (“Restrainers”):** Sistema de cables o barras de alta resistencia que transfiere las fuerzas entre los elementos estructurales de la superestructura y/o los elementos de la subestructura bajo cargas sísmicas u otras cargas dinámica, luego de que un distensionamiento inicial ha tenido lugar permitiendo, simultáneamente, los movimientos térmicos.

**Rotación alrededor del eje longitudinal (“Rotation about the longitudinal axis”):** Rotación alrededor de un eje paralelo a la dirección principal de la luz del puente.

**Rotación alrededor del eje transversal (“Rotation about the transverse axis”):** Rotación alrededor de un eje paralelo al eje transversal del puente.

**Sello de compresión (“Compression seal”):** Dispositivo de elastómero preformado que se precomprime en el espacio de una junta con un rango de movimiento total esperado de menos de **50 mm**.

**Sello de junta (“Joint seal”)**: Dispositivo de elastómero vaciado o preformado, diseñado para prevenir que la humedad y los residuos penetren en las juntas.

**Sello en franja (“Strip seal”)**: Junta sellada con un sello de elastómero extruido contenido por vigas de borde que se anclan a los elementos estructurales (tablero, estribo, etc.). Utilizada generalmente para movimientos esperados con valores totales entre **38** y **100 mm**, aunque también están disponibles sellos simples capaces de salvar longitudes de hasta **125 mm**.

**Sello vaciado (“Poured seal”)**: Sello hecho de un material que permanece flexible (asfalto, polímero, u otros), el cual se vacía en el espacio de la junta y se espera que se adhiera a los lados de la misma. Utilizado generalmente sólo cuando el rango de movimiento total esperado es menor que **38 mm**.

**Sistema de barra simple de soporte (“Single-support-bar system – SSB”)**: Es un MBSJ (definido más abajo) diseñado de manera tal que sólo una barra de soporte esté conectada a todas las vigas centrales. La conexión entre la viga central y la barra de soporte consiste, generalmente, de un acople a través del cual se desliza la barra de soporte.

**Sistema de múltiples barras soldadas de soporte (“Welded multiple-support-bar system – WMSB”)**: Es un MBSJ (definido más abajo) diseñado de tal manera que cada barra de soporte se suelda a una sola viga central. Aunque se han construido algunos sistemas WMSB más grandes y se han desempeñado bien, los sistemas WMSB son generalmente poco prácticos para más de nueve sellos o para rangos de movimientos de más de **680 mm**.

**Sistema de junta de puente modular (“Modular bridge joint system – MBJS”)**: Junta sellada con dos o más sellos de elastómero mantenida en su lugar por medio de vigas de borde que están ancladas a los elementos estructurales (tablero, estribo, etc.) y una o más vigas centrales transversales paralelas a las vigas de borde. Utilizado generalmente para rangos de movimientos mayores que **100 mm**.

**Transversal (“Transverse”)**: Dirección horizontal perpendicular al eje longitudinal del puente.

**Traslación (“Translation”)**: Movimiento horizontal del puente en la dirección longitudinal o transversal.

**Unidad de transmisión de impacto (“Shock transmission unit – STU”)**: Dispositivo que proporciona un vínculo rígido temporal entre los elementos de la superestructura y/o los elementos de la subestructura bajo cargas sísmicas, de frenado, u otras cargas dinámicas, permitiendo simultáneamente movimientos térmicos.

### 14.3. SIMBOLOGÍA

**A** área en planta del elemento o apoyo elastomérico, en m<sup>2</sup>. (14.6.3.1).

**A<sub>Wbot</sub>** área de la soldadura en la parte inferior, en m<sup>2</sup>. (14.5.6.9.7b).

**A<sub>Wmid</sub>** área transversal mínima de la soldadura, en m<sup>2</sup>. (14.5.6.9.7b).

$A_{Wtop}$	área de la soldadura en la parte superior, en m <sup>2</sup> . (14.5.6.9.7b).
$a_{cr}$	flecha generada por la fluencia lenta dividida por la flecha inicial generada por la carga permanente. (14.7.5.3.6).
$B_a$	coeficiente adimensional utilizado para determinar el pico de tensión hidrostática. (14.7.5.3.3).
$C_\alpha$	parámetro utilizado para determinar la tensión hidrostática. (14.7.5.3.3).
$c$	espacio libre mínimo vertical entre partes que rotan y que no rotan; espacio libre de diseño entre el pistón y el cilindro de confinamiento, en m. (C 14.7.3.1), (14.7.4.7).
$D$	diámetro de la proyección de la superficie cargada del apoyo en un plano horizontal; diámetro de la almohadilla; diámetro del apoyo, en m. (14.7.3.2), (14.7.5.1), (14.7.6.3.6), (14.7.5.3.3), (14.7.5.3.4).
$D_a$	coeficiente adimensional utilizado para determinar la deformación por corte debida a la carga axial. (14.7.5.3.3).
$D_d$	diámetro del disco, en m. (14.7.8.1), (14.7.8.5).
$D_P$	diámetro interno del cilindro de confinamiento, en m. (14.7.4.3), (14.7.4.6), (14.7.4.7).
$D_r$	coeficiente adimensional utilizado para determinar la deformación por corte debida a la rotación. (14.7.5.3.3).
$D_1$	diámetro de la superficie del balancín o rodillo (rocker or roller), en m. (14.7.1.4).
$D_2$	diámetro de la superficie de unión, positivo si las curvaturas tienen el mismo signo, infinito si la superficie de unión es plana, en m. (14.7.1.4).
$d$	diámetro del balancín o rodillo (rocker or roller); diámetro del agujero o de los agujeros en el apoyo, en m. (C 14.7.1.4), (C 14.7.5.1).
$d_{a1}$	coeficiente adimensional utilizado para determinar la deformación por corte debida a la carga axial. (C 14.7.5.3.3).
$d_{a2}$	coeficiente adimensional utilizado para determinar la deformación por corte debida a la carga axial. (C 14.7.5.3.3).
$d_{a3}$	coeficiente adimensional utilizado para determinar la deformación por corte debida a la carga axial. (C 14.7.5.3.3).
$d_{cb}$	profundidad de la viga central, en m. (14.5.6.9.7b).
$d_{sb}$	profundidad de la barra de soporte, en m. (14.5.6.9.7b).
$E_c$	módulo efectivo a compresión del apoyo elastomérico; rigidez uniaxial a compresión de la almohadilla CDP del apoyo. Se puede tomar como <b>200 MPa</b> en

lugar de datos experimentales específicos de la almohadilla, en MPa. (14.6.3.2), (14.7.6.3.3), (14.7.6.3.5b).

- $E_s$**  módulo de elasticidad del acero, en MPa. (14.7.1.4).
- $F_y$**  tensión de fluencia mínima especificada del acero más débil en la superficie de contacto; tensión de fluencia del acero; tensión de fluencia del refuerzo de acero, en MPa. (14.7.1.4), (14.7.4.6), (14.7.4.7), (14.7.5.3.5).
- $G$**  módulo de corte del elastómero; módulo de corte del CDP, en MPa. (14.6.3.1), (C 14.6.3.2), (14.7.5.2), (14.7.5.3.3), (14.7.5.3.4), (C 14.7.5.3.6), (14.7.6.2), (14.7.6.3.2), (14.7.6.3.4).
- $H_{bu}$**  carga lateral transmitida a la superestructura y la subestructura a través de los apoyos debida a las combinaciones de carga de resistencia y de evento extremo aplicables de la Tabla 3.4.1-1, en kN. (14.6.3.1).
- $H_s$**  carga horizontal debida a las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1, en kN. (14.7.3.3).
- $H_u$**  carga lateral debida a las combinaciones de carga de resistencia y de evento extremo aplicables de la Tabla 3.4.1-1, en kN. (14.7.4.7).
- $h_{p1}$**  profundidad de la cavidad del cilindro de confinamiento, en m. (C 14.7.4.3).
- $h_{p2}$**  espacio libre vertical entre el tope del pistón y el tope de la pared del cilindro de confinamiento, en m. (C 14.7.4.3).
- $h_r$**  espesor del disco elastomérico, en m. (14.7.4.3).
- $h_{ri}$**  espesor de la *i*-ésima capa de elastómero; espesor de la *i*-ésima capa interna de elastómero; espesor de la capa de FGP que iguala la mayor distancia entre puntos medios de dos capas dobles de refuerzo de fibra de vidrio; espesor del PEP; espesor promedio de dos capas de elastómero adheridas al mismo refuerzo para FGP cuando las dos capas son de diferente espesor, en m. (14.7.5.1), (14.7.5.3.6), (14.7.5.3.3), (14.7.5.3.5), (14.7.6.3.3), (14.7.6.3.7), (14.7.6.3.2).
- $h_{rt}$**  espesor total del elastómero; el menor entre el espesor total del elastómero y el espesor del apoyo, en m. (14.6.3.1), (14.6.3.2), (14.7.5.3.2), (14.7.5.3.3), (14.7.5.3.4), (14.7.6.3.4).
- $h_s$**  espesor del acero de refuerzo, en m. (14.7.5.3.5).
- $h_w$**  altura de la soldadura; altura desde el borde superior del ala del pistón hasta la cara inferior del pistón, en m. (14.5.6.9.7b) (C 14.7.4.3) (14.7.4.7).
- $I$**  momento de inercia de la forma en planta del apoyo, en m<sup>4</sup>. (14.6.3.2).
- $K$**  rigidez rotacional del CDP, en kNm/rad; módulo de compresibilidad, en MPa. (C 14.6.3.2), (C 14.7.5.3.3).
- $L$**  longitud proyectada de la superficie deslizante perpendicular al eje de rotación; dimensión en planta del apoyo perpendicular al eje de rotación bajo consideración

(generalmente paralela a la longitudinal global del eje del puente); longitud de una almohadilla de apoyo CDP en el plano de la rotación, en m. (14.7.3.3), (14.7.5.1), (14.7.5.3.3), (14.7.5.3.4), (14.7.6.3.5b), (14.7.6.3.6).

- $M_H$**  rango del momento flexor horizontal en la viga central sobre la sección crítica localizada en el pie de la soldadura debido al rango de la fuerza horizontal, en kNm. (14.5.6.9.7b).
- $M_{OT}$**  rango del momento de vuelco de la fuerza de reacción horizontal, en kNm. (14.5.6.9.7b).
- $M_V$**  rango del momento flexor vertical en la viga central sobre la sección crítica localizada en el pie de la soldadura debido al rango de la fuerza vertical; componente del rango de momento flexor vertical en la barra de soporte debido al rango de la fuerza de reacción vertical en la conexión localizada sobre la sección crítica en el pie de la soldadura, en kNm. (14.5.6.9.7b).
- $M_u$**  momento transmitido a la superestructura y a la subestructura a través de los apoyos debido a las combinaciones de carga de resistencia y de evento extremo aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en kNm. (14.6.3.2).
- $m$**  factor de modificación. (14.8.3.1), (5.7.5).
- $n$**  número de capas internas de elastómero. (14.7.5.3.3), (14.7.5.4), (14.7.6.1).
- $P_D$**  carga de compresión en el estado límite de servicio (factor de carga = **1,0**) debido a las cargas permanentes, en kN. (14.7.3.3).
- $P_S$**  carga total de compresión de las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en kN. (14.7.1.4), (14.7.3.2).
- $P_u$**  fuerza de compresión de las combinaciones de carga de resistencia y de evento extremo aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en kN. (14.6.3.1).
- $p$**  capacidad admisible del apoyo en el estado límite de servicio, en kN/m. (C 14.7.1.4).
- $R$**  radio de la superficie deslizante curva, en m. (14.6.3.2), (14.7.3.3).
- $R_H$**  rango de la fuerza de reacción horizontal en la conexión, en kN. (14.5.6.9.7b).
- $R_o$**  distancia radial desde el centro del cilindro de confinamiento hasta el objeto en cuestión (por ejemplo, pared del cilindro de confinamiento, bulón de anclaje, etc.), en m. (C 14.7.4.3).
- $R_V$**  rango de la fuerza de reacción vertical en la conexión, en kN. (14.5.6.9.7b).
- $S$**  factor de forma de la almohadilla CDP calculado en base a la ecuación 14.7.5.1-1 y con base en el espesor total de la almohadilla; factor de forma de una capa individual de elastómero; factor de forma de PEP. (14.6.3.2), (C 14.7.5.3.6), (14.7.6.3.2).

- $S_i$**  factor de forma de la  $i$ -ésima capa de un apoyo de elastómero; factor de forma de la  $i$ -ésima capa interna de un apoyo de elastómero; factor de forma para FGP con base en un espesor de capa  $h_{ri}$  que es igual a la mayor distancia entre puntos medios de dos capas dobles de refuerzo de fibra de vidrio. (14.7.5.1), (14.7.5.3.3), (14.7.5.3.4), (14.7.5.4), (14.7.6.1), (14.7.6.3.2).
- $S_{RB}$**  rango de esfuerzo combinado de flexión en la viga central; rango de esfuerzo de flexión en la barra de soporte debido al momento máximo incluyendo el momento de la reacción vertical y de vuelco en la conexión, en MPa. (14.5.6.9.7b).
- $S_{RZ}$**  rango de esfuerzo vertical en el tope de la soldadura entre la viga central y la barra de soporte a partir de la reacción concurrente de la viga de apoyo; rango de esfuerzo vertical en el fondo de la soldadura entre la viga central y la barra de soporte a partir de los rangos de la fuerza de reacción vertical y horizontal en la conexión, en MPa. (14.5.6.9.7b).
- $S_{Wbot}$**  módulo de sección de la parte inferior de la soldadura para flexión en la dirección del eje de la barra de soporte, en  $m^3$ . (14.5.6.9.7b).
- $S_{Wmid}$**  módulo de sección en la sección transversal más estrecha de la soldadura para flexión en la dirección perpendicular al eje de la viga central, en  $m^3$ . (14.5.6.9.7b).
- $S_{Wtop}$**  módulo de sección de la parte superior de la soldadura para flexión en la dirección perpendicular al eje de la viga central, en  $m^3$ . (14.5.6.9.7b).
- $S_{xcb}$**  módulo de sección vertical para la parte inferior de la viga central, en  $m^3$ . (14.5.6.9.7b).
- $S_{xsb}$**  módulo de sección vertical de la barra de soporte hasta la parte superior de la misma, en  $m^3$ . (14.5.6.9.7b).
- $S_{Ycb}$**  módulo de sección horizontal de la viga central, en  $m^3$ . (14.5.6.9.7b).
- $t_b$**  espesor de la base del cilindro de confinamiento, en m. (14.7.4.6), (14.7.4.7).
- $t_p$**  espesor total de la almohadilla CDP, en m. (14.6.3.2), (14.7.6.3.5b).
- $t_w$**  espesor de la pared del cilindro de confinamiento, en m. (14.7.4.6), (14.7.4.7).
- $W$**  abertura de la superficie de calzada en una junta transversal de tablero, medida en la dirección del movimiento extremo determinada utilizando la combinación de carga de resistencia apropiada especificada en la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801; ancho del apoyo; longitud del cilindro; longitud de la superficie cilíndrica; dimensión en planta del apoyo paralelo al eje de rotación bajo consideración (generalmente paralelo al eje transversal global del puente), en m. (14.5.3.2), (14.7.1.4), (14.7.3.2), (14.7.3.3), (14.7.5.1), (C 14.7.5.3.3), (14.7.5.3.4), (14.7.6.3.6).
- $\alpha$**  parámetro utilizado para determinar la tensión hidrostática, en 1/rad. (14.7.5.3.3).
- $\gamma_a$**  deformación de corte generada por la carga axial. (14.7.5.3.3).
- $\gamma_{a,cy}$**  deformación de corte generada por carga axial cíclica. (14.7.5.3.3).

$\gamma_{a,st}$	deformación de corte generada por carga axial estática. (14.7.5.3.3).
$\gamma_r$	deformación de corte generada por rotación. (14.7.5.3.3).
$\gamma_{r,cy}$	deformación de corte generada por rotación por cargas cíclicas. (14.7.5.3.3).
$\gamma_{r,st}$	deformación de corte generada por rotación por cargas estáticas. (14.7.5.3.3).
$\gamma_s$	deformación de corte generada por desplazamiento de corte. (14.7.5.3.3).
$\gamma_{s,cy}$	deformación de corte generada por desplazamiento de corte por cargas cíclicas. (14.7.5.3.3).
$\gamma_{s,st}$	deformación de corte generada por desplazamiento de corte por cargas estáticas. (14.7.5.3.3).
$\beta$	ángulo entre la vertical y la resultante de la carga aplicada, en rad. (14.7.3.3).
$\Delta F_{TH}$	umbral de fatiga de amplitud constante tomado de la Tabla 6.6.1.2.5-3 para la categoría de detalle de interés, en MPa; umbral de fatiga de amplitud constante para la Categoría <b>A</b> especificado en el artículo 6.6 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación). (14.5.6.9.7a), (14.7.5.3.5).
$\Delta f$	efecto de fuerza, rango de esfuerzo de sobrecarga de diseño debido a la aplicación simultánea de cargas de eje verticales y horizontales especificadas en el artículo 14.5.6.9.4 y distribuidas como se especifica en el artículo 14.5.6.9.5, y calculadas como se especifica en el artículo 14.5.6.9.7b, en MPa. (14.5.6.9.7a), (14.5.6.9.7b).
$\Delta o$	desplazamiento horizontal máximo de la superestructura del puente en el estado límite de servicio, en m. (14.7.5.3.2).
$\Delta s$	deformación total máxima de corte del elastómero por las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801; deformación total máxima de corte del apoyo por las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801; deformación total máxima de corte estática o cíclica del elastómero por las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en m. (14.7.5.3.2), (14.7.6.3.4), (14.7.5.3.3).
$\Delta T$	intervalo de movimientos térmicos de diseño calculado de acuerdo con el artículo 3.12.2 del Reglamento CIRSOC 801, en m. (14.7.5.3.2).
$\Delta u$	deformación de corte por las combinaciones de carga de resistencia y de evento extremo aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en m. (14.6.3.1).
$\delta_d$	flecha inicial de compresión por carga permanente, en m. (14.7.5.3.6).
$\delta_L$	flecha instantánea de compresión por sobrecarga, en m. (14.7.5.3.6).
$\delta_{lt}$	flecha a largo plazo de compresión por carga permanente, en m. (14.7.5.3.6).

- $\delta_u$  flecha vertical por las combinaciones de carga de resistencia aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en m. (C 14.7.4.3).
- $\varepsilon$  deformación de compresión en una capa de elastómero. (C 14.7.5.3.6).
- $\varepsilon_a$  deformación axial promedio considerando la totalidad de carga estática y cíclica, tomada positiva para compresión en la cual la componente cíclica se multiplica por **1,75** en las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en MPa. (14.7.5.3.3), (14.7.5.4).
- $\varepsilon_c$  deformación uniaxial máxima debida a compresión bajo carga total por las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801. (14.7.6.3.5b).
- $\varepsilon_{di}$  deformación inicial de compresión por carga permanente en la i-ésima capa de elastómero. (14.7.5.3.6).
- $\varepsilon_{Li}$  deformación instantánea de compresión por sobrecarga en la i-ésima capa de elastómero. (14.7.5.3.6).
- $\varepsilon_s$  deformación promedio de compresión debida a la carga total por las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801. (14.7.6.3.3).
- $\varepsilon_t$  deformación uniaxial máxima debida a la combinación de compresión y rotación por las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801. (14.7.6.3.5b).
- $\theta_L$  máxima rotación de la almohadilla CDP en el estado límite de servicio (factor de carga = **1,0**) debido a la sobrecarga, en rad. (14.7.6.3.5b).
- $\theta_s$  máxima rotación en el estado límite de servicio debida a la carga total para apoyos que probablemente no experimentarán contacto severo entre componentes metálicos; máximo ángulo de rotación de diseño en el estado límite de servicio especificado en el artículo 14.4.2.1; máxima rotación de la almohadilla CDP obtenida por las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801; máximo ángulo de rotación de diseño en el estado límite de servicio alrededor de cualquier eje de la almohadilla especificado en el artículo 14.4.2.1; máximo ángulo de rotación de diseño, estático o cíclico del elastómero, en el estado límite de servicio especificado en el artículo 14.4.2.1 ángulo de rotación de diseño del elastómero considerando, en el estado límite de servicio, la carga máxima estática o cíclica, especificado en el artículo 14.4.2.1; ángulo de rotación de diseño del elastómero considerando, en el estado límite de servicio, la totalidad de carga máxima estática y cíclica, especificado en el artículo 14.4.2.1 en la cual la componente cíclica se multiplica por **1,75**, en rad. (C 14.4.2), (14.4.2.1), (14.6.3.2), (14.7.6.3.5b), (14.7.5.3.3), (14.7.5.4).
- $\theta_u$  máxima rotación en el estado límite de resistencia para apoyos que pueden experimentar contacto severo entre los componentes metálicos; máxima rotación en el estado límite de resistencia para apoyos que experimentan probablemente menos contacto severo entre los componentes metálicos; rotación de diseño por las combinaciones de carga de resistencia aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del

Reglamento CIRSOC 801 o del artículo 14.4.2.2.1; máximo ángulo de rotación de diseño en el estado límite de resistencia especificado en el artículo 14.4.2.2.1; máximo ángulo de rotación de diseño en el estado límite de resistencia especificado en el artículo 14.4.2.2.2, en rad. (C 14.4.2), (14.4.2.2.1), (14.4.2.2.2), (C 14.7.3.1), (14.7.3.3), (14.7.4.3), (14.7.4.7), (14.7.8.1).

- $\lambda$  índice de compresibilidad. (C 14.7.5.3.3).
- $\mu$  coeficiente de fricción; coeficiente de fricción de la superficie deslizante de PTFE. (14.6.3.1), (C 14.7.8.4).
- $\sigma$  esfuerzo instantáneo de compresión por sobrecarga o esfuerzo de compresión por carga permanente en una capa individual de elastómero, en MPa. (C 14.7.5.3.6).
- $\sigma_{hid}$  pico de tensión hidrostática, en MPa. (14.7.5.3.3).
- $\sigma_L$  esfuerzo de compresión promedio en el estado límite de servicio (factor de carga = **1,0**) debido a la sobrecarga, en MPa. (14.7.5.3.5), (14.7.6.3.2).
- $\sigma_s$  esfuerzo de compresión promedio debido a la carga total obtenida por las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801; esfuerzo de compresión promedio debido a la carga total asociada con la máxima rotación obtenida por las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801; esfuerzo de compresión promedio debido a carga total estática o cíclica obtenida por las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801; esfuerzo total de compresión promedio estática y cíclica, en la cual la componente cíclica se multiplica por **1,75** obtenida por las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en MPa. (14.7.4.6), (14.7.5.3.4), (14.7.5.3.5), (14.7.6.3.2), (14.7.6.3.3), (14.7.6.3.4), (14.6.3.2), (14.7.6.3.5b), (14.7.5.3.3).
- $\sigma_{ss}$  máximo esfuerzo promedio de contacto en el estado límite de servicio, permitido en PTFE según la Tabla 14.7.2.4-1 o para bronce según la Tabla 14.7.7.3-1, en MPa. (14.7.3.2), (14.7.3.3).
- $\phi$  factor de resistencia. (14.6.1), (14.7.3.2), (C 14.7.4.7).
- $\phi_{tracción}$  factor de resistencia para tracción en anclajes controlados por el acero. (14.5.6.9.6).
- $\phi_{corte}$  factor de resistencia para corte en anclajes controlados por el acero. (14.5.6.9.6).
- $\phi_A tracción$  factor de resistencia para tracción en anclajes controlados por el hormigón, Condición **A**, con refuerzo suplementario en el área de falla. (14.5.6.9.6).
- $\phi_A corte$  factor de resistencia para corte en anclajes controlados por el hormigón, Condición **A**, con refuerzo suplementario en el área de falla. (14.5.6.9.6).
- $\phi_B tracción$  factor de resistencia para tracción en anclajes controlados por el hormigón, Condición **B**, sin refuerzo suplementario en el área de falla. (14.5.6.9.6).
- $\phi_B corte$  factor de resistencia para corte en anclajes controlados por el hormigón,

Condición **B**, sin refuerzo suplementario en el área de falla. (14.5.6.9.6).

$\psi$  semiángulo subtendido de la superficie curva, en rad. (14.7.3.3).

## 14.4. MOVIMIENTOS Y CARGAS

### 14.4.1. Requisitos generales

La selección y configuración de las juntas y los apoyos debe tener en cuenta las deformaciones debidas a temperatura y otras causas en función del tiempo y debe ser consistente con el apropiado funcionamiento del puente.

Las juntas y los apoyos del tablero se deben diseñar para resistir las cargas y para acomodar los movimientos en los estados límite de servicio y de resistencia y para satisfacer los requisitos del estado límite de fatiga y fractura. Las cargas inducidas en las juntas, apoyos, y elementos estructurales dependen de la rigidez de los elementos individuales y de las tolerancias alcanzadas durante la fabricación y el montaje. Estas influencias se deben tener en cuenta al calcular las cargas de diseño para los elementos. No se debe permitir daño debido al movimiento de las juntas ni de los apoyos en el estado límite de servicio, y no debe ocurrir daño irreparable en el estado límite de resistencia. En el estado límite correspondiente a evento extremo, el Propietario puede permitir apoyos que se diseñen para actuar como fusibles o para someterse a daño irreparable siempre y cuando se prevenga la pérdida del tramo.

Se deben considerar los movimientos de traslación y de rotación del puente en el diseño de MBSJ y de apoyos. En el diseño se debe considerar la secuencia de construcción y todas las combinaciones críticas de carga y movimiento. Las rotaciones se deben considerar alrededor de dos ejes horizontales y del eje vertical. Se deben incluir los movimientos generados por las cargas, las deformaciones, y los desplazamientos debidos a la fluencia lenta, contracción y efectos térmicos, y a imprecisiones en la instalación. En todos los casos, se deben considerar los efectos instantáneos y los de largo plazo. Se debe incluir la influencia de la carga dinámica para los MBSJ, pero no es necesario incluirla para los apoyos. Se debe tabular la combinación más adversa para los apoyos en un formato tal como el que se muestra en la Figura C 14.4.1-1.

Para determinar las sollicitaciones en las juntas, apoyos, y elementos estructurales adyacentes, se debe considerar la influencia de sus rigideces y tolerancias esperadas alcanzadas durante la fabricación y montaje.

En el diseño de los MBSJ y de los apoyos se deben considerar los efectos tridimensionales de movimientos de traslación y de rotación del puente.

Se deben considerar tanto los efectos instantáneos como los de largo plazo en el diseño de juntas y apoyos.

Se debe reconocer en el análisis los efectos de curvatura, oblicuidad, rotaciones, y restricción en los apoyos.

En el diseño de los apoyos se deben considerar las fuerzas resultantes del pretensado transversal o longitudinal del tablero de hormigón o vigas de acero.

#### 14.4.2. Requisitos de diseño

Los movimientos térmicos mínimos se deben calcular de las temperaturas extremas especificadas en el artículo 3.12.2 del Reglamento CIRSOC 801 y de las temperaturas estimadas de colocación. Las cargas de diseño se deben basar en las combinaciones de carga y los factores de carga especificados en el Capítulo 3 del Reglamento CIRSOC 801.

##### 14.4.2.1. Almohadillas elastoméricas y apoyos elastoméricos reforzados con acero

La rotación máxima en el estado límite de servicio debida a la carga total,  $\theta_s$ , para apoyos que probablemente no experimentarán contacto severo entre componentes metálicos se debe tomar como la suma de:

- Las rotaciones por las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, y
- Una tolerancia por incertidumbres, que se debe tomar como **0,005 rad**, a menos que un plan aprobado de control de calidad justifique un valor menor.

Las componentes estática y cíclica de  $\theta_s$  se deben considerar por separado cuando el diseño se efectúe de acuerdo con el artículo 14.7.5.3.3.

##### 14.4.2.2. Apoyos multirrotacionales para cargas elevadas (“High Load Multirrotational” – HLMR)

###### 14.4.2.2.1. Apoyos tipo Pot y apoyos con superficies deslizantes curvas

La rotación máxima en el estado límite de resistencia,  $\theta_u$ , para apoyos tales como los tipo Pot y los de superficies deslizantes curvas que pueden potencialmente experimentar contacto severo entre componentes metálicos se debe tomar como la suma de:

- Las rotaciones por las combinaciones de carga de resistencia aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801;
- La rotación máxima causada por las tolerancias de fabricación e instalación, que se debe tomar como **0,005 rad**, a menos que un plan aprobado de control de calidad justifique un valor menor; y
- Una tolerancia por las incertidumbres, que se debe tomar como **0,005 rad**, a menos que un plan aprobado de control de calidad justifique un valor menor.

###### 14.4.2.2.2. Apoyos de disco

La rotación máxima en el estado límite de resistencia,  $\theta_u$ , para apoyos de disco, los cuales son menos propensos a experimentar contacto severo entre los componentes metálicos debido a su elemento de carga no confinado, se debe tomar como la suma de:

- La rotación por las combinaciones de carga de resistencia aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, y

- Una tolerancia por incertidumbre, que se debe tomar como **0,005 rad**, a menos que un plan aprobado de control de calidad justifique un valor menor.

## 14.5. JUNTAS PARA PUENTES

### 14.5.1. Requisitos

#### 14.5.1.1. General

Las juntas de tablero deben consistir en componentes dispuestos para adaptar la traslación y la rotación de la estructura en la junta.

Los tipos de juntas y los espacios libres de la superficie deben acomodar el movimiento de motocicletas, bicicletas, y peatones, cuando se requiera, y no deben afectar significativamente las características de rodamiento de la calzada ni causar daño a los vehículos.

Las juntas se deben detallar para prevenir daño a la estructura por agua, químicos anticongelantes, y desechos de la calzada.

Se deben proporcionar juntas de tablero longitudinales solamente cuando sean necesarias para modificar los efectos de movimiento lateral y/o vertical diferencial entre la superestructura y la subestructura.

Las juntas y los anclajes de juntas para tableros reticulares y para superestructuras de tableros ortótopos, requieren detalles especiales.

#### 14.5.1.2. Diseño estructural

Las juntas y sus apoyos se deben diseñar para resistir las solicitaciones para el estado o estados límite de diseño apropiados para el intervalo de movimientos, como se especifica en el Capítulo 3 del Reglamento CIRSOC 801. Los factores y modificadores de resistencia se deben tomar como se especifica en los Capítulos 1 del Reglamento CIRSOC 801, 5 del Reglamento CIRSOC 802, y 6 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación), según corresponda.

En las regiones de nieve, el armado en la junta, las conexiones de armado, y los anclajes estarán diseñados para resistir las solicitaciones que se pueden imponer sobre las juntas por enganches de las paletas quitanieves.

Las vigas de borde y el anclaje de los sellos en franja y los MBSJ con una oblicuidad superior a **20°** en zonas de nieve que no incorporan métodos de protección, como los que se analizan en el artículo 14.5.3.3, estarán diseñados para el estado límite de resistencia con una carga mínima de quitanieves actuando como una carga horizontal lineal de **21 kN/m** en la superficie superior de la viga de borde en dirección perpendicular a la misma, en cualquier lugar y dirección a lo largo de dicha viga de borde de una longitud total de **3 m**. Esta carga incluye incremento por carga dinámica.

Los siguientes factores se deben considerar al determinar las solicitaciones y los movimientos:

- Las propiedades de los materiales en la estructura, incluyendo el coeficiente de expansión térmica, el módulo de elasticidad, y la relación de Poisson;

- Los efectos de temperatura, fluencia lenta y contracción;
- El tamaño de los elementos estructurales;
- Las tolerancias constructivas;
- Método y secuencia de construcción;
- Oblicuidad y curvatura;
- Resistencia de las juntas ante movimientos;
- Aumento del pavimento de aproximación;
- Movimientos de la subestructura debido a la construcción del terraplén;
- Movimientos de la fundación asociados con la consolidación y la estabilización de los subsuelos;
- Restricciones estructurales; y
- Respuesta estructural estática y dinámica, y su interacción.

La longitud de la superestructura que afecta el movimiento en una de sus juntas debe ser la longitud desde la junta bajo consideración al punto neutro de la estructura.

Para una superestructura curva que no está restringida lateralmente por apoyos guiados, la dirección del movimiento longitudinal en una junta de apoyo se puede suponer paralela a la cuerda del eje del tablero tomada desde la junta hasta el punto neutro de la estructura.

Se debe considerar el potencial de movimiento longitudinal no alineado y de rotación de la superestructura en una junta, para el diseño de juntas verticales en cordones y barreras realizadas, y para determinar la posición y orientación apropiadas de las placas de unión o de cierre.

#### **14.5.1.3. Geometría**

Las superficies móviles de la junta se deben diseñar para trabajar en conjunto con los apoyos, evitando la traba de las juntas y que las solicitaciones impuestas afecten adversamente los apoyos.

#### **14.5.1.4. Materiales**

Los materiales se deben seleccionar de manera que se asegure que son compatibles elástica, térmica, y químicamente. Si existen diferencias sustanciales, se debe formular la interfaz de los materiales para proporcionar sistemas completamente funcionales.

Los materiales, diferentes de los elastómeros, deben tener una vida de servicio no inferior a **75 años**. Los elastómeros para sellos de juntas y acanalados deben proporcionar una vida de servicio no inferior a **25 años**.

Las juntas expuestas al tránsito deben tener un tratamiento superficial resistente al deslizamiento, y todas las partes deben ser resistentes al desgaste y al impacto vehicular.

Excepto para bulones de alta resistencia, las fijaciones para juntas expuestas a químicos anticongelantes se deben realizar con acero inoxidable.

#### **14.5.1.5. Mantenimiento**

Las juntas de tablero se deben diseñar para operar con un mínimo de mantenimiento para la vida de diseño del puente.

El detallado debe permitir el acceso a las juntas por debajo del tablero y proporcionar área suficiente para el mantenimiento.

Los componentes mecánicos y de elastómero de la junta deben ser reemplazables.

Las juntas se deben diseñar para facilitar la extensión vertical para acomodarse a las sobrecapas de la calzada.

#### **14.5.2. Selección**

##### **14.5.2.1. Número de juntas**

Se debe minimizar el número de juntas móviles del tablero en una estructura. Se deben preferir los sistemas de tableros y superestructuras continuos y, donde sea apropiado, puentes integrales.

Se debe analizar la necesidad de una junta de control de oscilaciones completamente funcional para los accesos de puentes integrales.

Se pueden proporcionar juntas móviles en los estribos de estructuras de un solo tramo expuestos a asentamientos diferenciales apreciables. Se deben considerar las juntas intermedias de tablero para puentes de múltiples tramos donde el asentamiento diferencial resulta en sobreesfuerzos significativos.

##### **14.5.2.2. Localización de las juntas**

Se deben evitar las juntas de tablero sobre calzadas, ferrocarriles, veredas, u otras áreas públicas, y en el punto bajo de curvas verticales cóncavas.

Las juntas de tablero se deben posicionar con respecto al espaldar y las aletas de los estribos para prevenir que la descarga de drenaje del tablero que se acumula en las juntas se deposite en la zona de apoyos del puente.

Las juntas abiertas del tablero se deben localizar solamente donde el drenaje pueda desviarse para evitar los apoyos y que descargue directamente bajo la junta.

Se deben proporcionar juntas de tablero cerradas o impermeables si las juntas están localizadas directamente sobre elementos y apoyos estructurales que pueden ser afectados adversamente con la acumulación de residuos. Si se usan químicos anticongelantes sobre el tablero del puente, se deben proporcionar juntas selladas o impermeables.

Para puentes rectos, los elementos longitudinales de las juntas del tablero, tales como placas dentadas, placas de cordón y barreras, y barras de soporte para el sistema de junta de puente modular, se deben colocar paralelas al eje longitudinal del tablero. Para estructuras curvas y oblicuas, se debe dejar una tolerancia para los movimientos de los extremos del tablero consecuente con la proporcionada para los apoyos.

Donde sea posible, los sistemas de juntas de puentes modulares no se deben colocar en el medio de puentes curvos para evitar demandas imprevistas de movimiento. Preferiblemente, los sistemas de juntas de puentes modulares no se deben colocar cerca de señales de tránsito o de áreas de peaje de manera que se eviten las fuerzas extremas de frenado.

### **14.5.3. Requisitos de diseño**

#### **14.5.3.1. Movimientos durante la construcción**

Cuando sea posible, se debe utilizar una secuencia de construcción que posponga la construcción de las pilas y los estribos localizados en los terraplenes o adyacentes a ellos, hasta que estos últimos se hayan colocado y consolidado. De lo contrario, las juntas de tablero se deben dimensionar para acomodar los movimientos probables de los estribos y pilas, que resultan de la consolidación del terraplén después de su construcción.

Los vertidos de cierre en las estructuras de hormigón se pueden utilizar para minimizar el efecto del acortamiento inducido por el pretensado sobre el ancho de los sellos y el tamaño de los apoyos.

#### **14.5.3.2. Movimientos de diseño**

Un espacio en la superficie de la calzada,  $W$ , en m, en una junta transversal de tablero, medido en la dirección de viaje en el movimiento máximo determinado utilizando la combinación de carga de resistencia apropiada especificada en la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, debe satisfacer:

- Para un solo espacio:

$$W \leq 0,10 \text{ m} \quad (14.5.3.2-1)$$

- Para espacios múltiples modulares:

$$W \leq 0,075 \text{ m} \quad (14.5.3.2-2)$$

Para superestructuras de acero, la abertura mínima de una junta transversal de tablero y del espacio correspondiente en la superficie de la calzada no debe ser menor a **0,025 m** para movimientos determinados utilizando la combinación de carga de resistencia apropiada especificada en la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801. Para superestructuras de hormigón, se debe considerar la abertura de las juntas debido a la fluencia lenta y la contracción que puede requerir aberturas iniciales mínimas de menos de **0,025 m** en el estado límite de resistencia.

A menos que estén disponibles criterios más apropiados, el máximo espacio de la superficie de juntas longitudinales de calzada no debe exceder **0,025 m** en el estado límite de resistencia.

En el movimiento máximo determinado utilizando la combinación de carga de resistencia apropiada especificada en la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, la abertura entre dientes adyacentes de una placa dentada no debe exceder:

- **0,050 m** para aberturas longitudinales mayores a **0,20 m**, o
- **0,075 m** para aberturas longitudinales de **0,20 m** o menos.

La superposición de los dientes en el movimiento máximo no debe ser menor a **0,040 m** en el estado límite de resistencia.

Si se prevén bicicletas en la calzada, se debe considerar el uso de placas especiales de cubierta del piso en áreas de banquina.

#### **14.5.3.3. Protección**

Las juntas de tablero se deben diseñar para acomodarse a los efectos del tránsito vehicular, del equipo de mantenimiento del pavimento, y otros daños ambientales de largo plazo.

Las juntas en tableros de hormigón se deben armar con perfiles, soldaduras, o fundición de acero. Tal armado debe estar empotrado por debajo de la superficie de la calzada y protegido del quitanieves.

A los pavimentos con juntas en los accesos se les debe proporcionar juntas de alivio de presiones y/o anclajes. Los accesos a puentes integrales deben contar con juntas de pavimento de control de oscilaciones.

#### **14.5.3.4. Placas de unión**

Las placas de unión de las juntas y las placas dentadas se deben diseñar como miembros en voladizo capaces de soportar las cargas de rueda en el estado límite de resistencia.

Se debe analizar al asentamiento diferencial entre los dos lados de la placa de unión de la junta. Si el asentamiento diferencial no se puede reducir a niveles aceptables ni acomodarse en el diseño y en el detallado de las placas de unión y sus apoyos, se debe utilizar una junta más adecuada.

No se deben utilizar placas rígidas de unión en sitios con apoyos elastoméricos o péndolas a menos que se diseñen como miembros en voladizo, y que las especificaciones técnicas requieran que se instalen para prevenir la traba de las juntas debido al movimiento horizontal y vertical en los apoyos.

#### **14.5.3.5. Armado**

El armado de los bordes de junta, embebido en el sustrato de hormigón, debe ser perforado con agujeros verticales de ventilación de **20 mm** de diámetro mínimo con una separación máxima de **0,45 m** entre centros.

A las superficies de metal con un ancho mayor que **0,30 m**, que estén expuestas a tránsito vehicular se les debe proporcionar un tratamiento antideslizante.

#### 14.5.3.6. Anclajes

Se deben disponer anclajes o conectores de corte en el armado para asegurar el comportamiento compuesto entre el sustrato de hormigón y los accesorios de la junta y para prevenir la corrosión de la superficie inferior sellando los límites entre el armado y el sustrato de hormigón. Los anclajes en las vigas de borde de los sellos en franja y los MBS se deben diseñar para la carga de quitanieve, como se requiere en el artículo 14.5.1.2.

Los anclajes para el armado de juntas de calzada se deben conectar directamente a los apoyos estructurales o extenderse para engancharse efectivamente en el sustrato de hormigón armado.

Los bordes libres del armado de la calzada, a más de **0,075 m** de otros anclajes o fijaciones, se les deben proporcionar pernos lisos soldados de **12,7 mm** de diámetro separados no menos de **0,10 m**, a no más de **0,30 m** de otros anclajes o fijaciones. El armado de los bordes de veredas y barreras se debe anclar de manera similar.

#### 14.5.3.7. Bulones

Los bulones de anclaje para las placas de unión, sellos de juntas, y anclajes de juntas deben ser con bulones de alta resistencia completamente apretados. Se deben evitar las intercalaciones de sustratos no metálicos en las conexiones con bulones de alta resistencia. Los anclajes vaciados in situ se deben utilizar en hormigones nuevos. Los anclajes de expansión, los bulones de anclaje de cabeza embutida, y los anclajes inyectados con mortero no se deben utilizar en construcción nueva.

#### 14.5.4. Fabricación

Los perfiles o las placas deben ser de espesor suficiente para rigidizar el ensamble y minimizar la distorsión debida a la soldadura.

Para asegurar el adecuado ajuste y funcionamiento, las especificaciones técnicas deben requerir que:

- los componentes de la junta se ensamblen completamente en fábrica para inspección y aprobación,
- las juntas y sellos se envíen al sitio de la obra completamente ensamblados, y
- las juntas ensambladas en longitudes de hasta **18 m** se provean sin empalmes intermedios.

#### 14.5.5. Instalación

##### 14.5.5.1. Ajuste

La temperatura de ajuste del puente o cualquiera de sus componentes se debe tomar como la temperatura ambiente del aire promediada en un periodo de **24 horas** inmediatamente antes del evento de ajuste.

Para estructuras largas, se debe incluir una tolerancia en el ancho especificado de juntas para tener en cuenta las imprecisiones inherentes al establecer las temperaturas de instalación y para los movimientos de la superestructura que puedan tener lugar durante el tiempo entre el ajuste del ancho de la junta y la finalización de su instalación. En el diseño de juntas para estructuras largas se deben preferir aquellos dispositivos, detalles, y procedimientos que permitan el ajuste y finalización de las juntas en el periodo de tiempo más corto posible.

Las conexiones de los apoyos de las juntas a los miembros principales deben permitir el ajuste horizontal, vertical y rotacional.

Se deben utilizar juntas de construcción y blockouts, cuando sea posible, para permitir la colocación del relleno y de los elementos principales de la estructura antes de la colocación y ajuste de la junta.

#### **14.5.5.2. Apoyos temporales**

Las juntas de tablero se deben proveer con dispositivos temporales para apoyar los componentes de la junta en la posición apropiada hasta que se hagan las conexiones permanentes o hasta que fragüe el revestimiento de hormigón. Dichos apoyos deben proporcionar el ajuste del ancho de la junta para variaciones en la temperatura de instalación.

#### **14.5.5.3. Empalmes en campo**

Los diseños de juntas deben incluir detalles del empalme transversal en campo para construcción por etapas y para juntas más largas de **18 m**. Cuando sea posible, los empalmes se deben localizar por fuera de la trayectoria de las ruedas y de las áreas de desagüe.

Los detalles de los empalmes se deben seleccionar para maximizar la vida de fatiga.

Los empalmes en campo provistos para la construcción por etapas se deben localizar, con respecto a otras juntas de construcción, manteniendo un espacio suficiente para hacer las conexiones del empalme.

Cuando se requiera un empalme en campo, las especificaciones técnicas deben requerir que los sellos permanentes no se coloquen hasta después de terminada la instalación de la junta. Cuando sea posible, se debe utilizar solamente aquellos sellos que se puedan instalar en una pieza continua. Cuando los empalmes en campo sean inevitables, los empalmes se deben vulcanizar.

#### **14.5.6. Consideraciones específicas para cada tipo de junta**

##### **14.5.6.1. Juntas abiertas**

Las juntas abiertas de tablero deben permitir el libre flujo de agua a través de la junta. No se deben utilizar juntas abiertas de tablero donde se apliquen químicos anticongelantes. Las pilas y los estribos en juntas abiertas deben satisfacer los requisitos del artículo 2.5.2 del Reglamento CIRSOC 801 con el fin de prevenir la acumulación de agua y de residuos.

#### 14.5.6.2. Juntas cerradas

Las juntas selladas de tablero deben sellar la superficie del tablero, incluyendo los cordones, veredas, separadores y, donde sea necesario, parapetos y muros barrera. Las juntas selladas de tablero deben prevenir la acumulación de agua y residuos, los cuales pueden restringir su operación. Las juntas cerradas o impermeables expuestas al drenaje de la calzada, por debajo de las superficies de la estructura, deberán estar formadas y protegidas tal como se requiere para juntas abiertas.

Los sellos de juntas deben ser estancos y extruir los residuos cuando se cierran.

El drenaje acumulado en los rebajes de la junta y las depresiones de los sellos no se debe descargar sobre las zonas de apoyo del puente u otras porciones horizontales de la estructura.

Cuando el movimiento de la junta se acomoda por medio de un cambio en la geometría de los sellos o las membranas elastoméricas, ni los sellos ni las membranas se deben poner en contacto directo con las ruedas de los vehículos.

#### 14.5.6.3. Juntas impermeables

Los sistemas impermeables para juntas, incluyendo los acanalados, colectores, y bajantes, se deben diseñar para recoger, conducir, y descargar el drenaje del tablero lejos de la estructura.

En el diseño del acanalado de drenaje, se debe considerar lo siguiente:

- Pendientes del acanalado no menores de **83 mm/m**;
- Acanalados abiertos en los extremos o acanalados con orificios de descarga grandes;
- Acanalados prefabricados;
- Acanalados compuestos por elastómeros reforzados, acero inoxidable, u otros metales con recubrimientos durables;
- Fijadores en acero inoxidable;
- Acanalados que pueden ser reemplazados desde abajo de la junta;
- Acanalados que se pueden nivelar desde la superficie de la calzada y;
- Juntas metálicas soldadas y empalmes de material elastomérico vulcanizado.

#### 14.5.6.4. Sellos de juntas

Los sellos deben acomodar todos los movimientos previstos. Al seleccionar el tipo de sello, se deben considerar los sellos que:

- Sean preformados o prefabricados,

- Se puedan reemplazar sin mayor modificación de la junta,
- No soporten cargas de rueda de los vehículos,
- Se puedan colocar en una pieza continua,
- Estén rebajados por debajo de la superficie del armado de la junta,
- Estén anclados mecánicamente, y
- Respondan a los cambios en el ancho de la junta sin resistencia sustancial.

El material elastomérico para sellos deberá ser:

- Durable, de neopreno virgen o caucho natural y reforzado con láminas de acero o tela;
- Vulcanizado;
- Verificado por pruebas cíclicas de largo plazo; y
- Conectado por adhesivos curados químicamente.

#### 14.5.6.5. Sellos vaciados

A menos que haya datos que justifiquen anchos de junta menores, el ancho de junta para los sellos vaciados debe ser por lo menos **6,0 veces** el movimiento de junta previsto, determinado utilizando la combinación de carga de resistencia apropiada especificada en la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801.

Se debe documentar la adherencia del sello contra materiales metálicos y de mampostería con métodos de ensayos nacionales.

#### 14.5.6.6. Sellos de compresión y celulares

Si los sellos con cinchas pesadas se exponen al intervalo total del movimiento, las juntas no deben tener una oblicuidad mayor a **20 grados**.

Los sellos de compresión para juntas de apoyo no deben tener menos de **60 mm** ni más de **150 mm** de ancho cuando no estén comprimidos, y se deben especificar incrementos de ancho que sean múltiplos de **10 mm**.

Los sellos de calzadas principales se deben proveer sin empalmes o cortes, a menos que se apruebe específicamente por parte del Proyectista Estructural.

En las áreas de desagüe y bordillos, los sellos de la calzada se deben doblar en curvas graduales para conservar el drenaje de la calzada. Los extremos de los sellos de calzada se deben proteger por medio de tapas o cubiertas ventiladas bien sujetas. Los sellos secundarios en áreas de bordillos y barreras se pueden cortar y doblar como sea necesario para ayudar a doblar e insertar dentro de la junta.

Los sellos de celdas cerradas no se deben utilizar en las juntas en las cuales se someterán a compresiones sostenidas, a menos que se haya documentado, por medio de ensayos de largo plazo en aplicaciones similares, que el sello y el adhesivo son adecuados.

#### **14.5.6.7. Sellos en láminas y franjas**

Para seleccionar y aplicar sellos en láminas o en franjas, se debe considerar:

- Diseños de junta para sellos con anclajes no expuestos a las cargas vehiculares,
- Diseños de junta que permitan el cierre completo sin efectos nocivos para los sellos,
- Diseños de junta donde los sellos elastoméricos se extiendan directamente a los bordes del tablero en lugar de doblarse en los cordones o barreras,
- Los tableros con suficiente comba o peralte para asegurar el drenaje lateral del agua y los residuos acumulados,
- Los sellos están formados para expeler los residuos, y
- Los sellos sin cambios bruscos en la alineación horizontal o vertical.

Los sellos en láminas y en franjas se deben empalmar solamente cuando sea específicamente aprobado por el Proyectista Estructural.

#### **14.5.6.8. Sellos elastoméricos reforzados**

La aplicación de sellos elastoméricos reforzados se debe limitar a estructuras sobre carreteras secundarias con tránsito liviano de camiones, y que tienen juntas con una leve o ninguna oblicuidad.

Se debe considerar:

- Sellos que son provistos en una pieza continua para la longitud de la junta,
- Sellos con empalmes que son vulcanizados, y
- Anclajes que pueden resistir las fuerzas necesarias para estirar o comprimir el sello.

#### **14.5.6.9. Sistemas de juntas de puente modular (“Modular Bridge Joint Systems” – MBS)**

##### **14.5.6.9.1. General**

Estos artículos del Reglamento tratan los requisitos de desempeño, del diseño en el estado límite de resistencia, y el diseño en el estado límite de fatiga de los sistemas de juntas de puente modular (MBS).

Los mismos fueron desarrollados principalmente para aplicarse a, los dos tipos comunes de MBJS, sistemas de barras simples y múltiples de soporte, incluyendo sistemas de vigueta pivotante.

#### 14.5.6.9.2. Requisitos de desempeño

El intervalo mínimo requerido de capacidad de movimiento del MBJS, para los seis posibles grados de libertad dados en la Tabla 14.5.6.9.2-1, se debe añadir a los máximos movimientos y rotaciones calculados para todo el intervalo de sellos en el MBJS determinados utilizando la combinación de carga de resistencia apropiada especificada en la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801.

**Tabla 14.5.6.9.2-1. Intervalo mínimo de capacidad de movimiento adicional del MBJS**

Tipo de movimiento	Intervalo mínimo de movimiento de diseño*
Desplazamiento longitudinal	Movimiento estimado +25 mm
Movimiento transversal	25 mm
Movimiento vertical	25 mm
Rotación alrededor del eje longitudinal	1°
Rotación alrededor del eje transversal	1°
Rotación alrededor del eje vertical	0,5°
* Los intervalos de movimiento total presentados en la tabla son dos veces el movimiento positivo o negativo.	

#### 14.5.6.9.3. Requisitos para ensayos y cálculos

El MBJS debe satisfacer todas las especificaciones detalladas en el Apéndice A del AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications, hasta tanto se desarrolle un documento específico al respecto.

Cada configuración de MBJS se debe diseñar para los estados límite de resistencia, de fatiga y fractura como se especifica en los artículos 14.5.6.9.6 y 14.5.6.9.7.

#### 14.5.6.9.4. Cargas y factores de carga

Las vigas de borde, los anclajes, las vigas centrales, las barras de soporte, la conexión entre vigas centrales y las barras de soporte, las cajas de soporte y las conexiones, si las hay, con elementos de la estructura, tales como vigas, cuerdas de reticulado, vigas transversales, etc., y otros elementos estructurales, se deben diseñar para los estados límite de resistencia y de fatiga y fractura para la aplicación simultánea de cargas de eje verticales y horizontales. En zonas de nieve las vigas de borde y anclajes de MBJS también se deben diseñar para el estado límite de resistencia para la carga del quitanieve definida en el artículo 14.5.1.2. La carga de carril de diseño no necesita ser considerada para el MBJS.

Las dos cargas de rueda de cada eje se deben centrar separadas transversalmente **1,80 m**. Cada carga de rueda se debe distribuir a las vigas de borde y vigas centrales como se especifica en el artículo 14.5.6.9.5. La fracción de la carga de rueda aplicada a cada

elemento debe ser igual a las cargas lineales aplicadas en el centro de la superficie superior del elemento con un ancho de **0,50 m**.

Para el estado límite de resistencia, las cargas verticales de rueda deben ser la del tándem de diseño especificada en el artículo 3.6.1.2.3 del Reglamento CIRSOC 801; no es necesario considerar las cargas de rueda del camión de diseño del artículo 3.6.1.2.2 del Reglamento CIRSOC 801 para el estado límite de resistencia del MBSJ. Los dos ejes del tándem se deben considerar en el diseño si la abertura de junta excede **1,20 m**. La carga vertical de rueda se debe aumentar por el incremento por carga dinámica especificada, para juntas de tablero, en la Tabla 3.6.2.1-1 del Reglamento CIRSOC 801.

La carga horizontal para el estado límite de resistencia debe ser el **20 por ciento** de la carga vertical de rueda (**LL + IM**), aplicada a lo largo de la misma línea en la superficie superior de la viga central o viga de borde. Para MBSJ instalados en pendientes verticales de más del **cinco por ciento**, la componente horizontal adicional debida a la pendiente se debe añadir a la carga horizontal de rueda.

Para analizar el estado límite de resistencia, los ejes se deben orientar y posicionar transversalmente para maximizar las solicitaciones bajo consideración.

Los rangos de carga de rueda vertical para el estado límite de fatiga deben ser los de la carga de eje más grande del camión de diseño de tres ejes especificado en el artículo 3.6.1.2.2 del Reglamento CIRSOC 801. Para el diseño en el estado límite de fatiga del MBSJ, esta carga de eje se debe considerar como la carga total sobre el tándem, es decir, la carga total debe dividirse en dos cargas de eje separadas **1,20 m** entre sí. Estas dos cargas de eje se deben considerar en el diseño si la abertura de la junta excede **1,20 m**. El rango de carga vertical se debe aumentar por el incremento por carga dinámica especificada, para juntas de tablero, en la Tabla 3.6.2.1-1 del Reglamento CIRSOC 801. Los factores de carga considerados deben ser los especificados en la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801 para el caso de Fatiga I.

Los intervalos de carga horizontal para el estado límite de fatiga deben ser por lo menos el **20 por ciento** del intervalo de carga vertical de rueda (**LL + IM**) para fatiga. Para MBSJ instalados en pendiente vertical mayor del **cinco por ciento**, la componente horizontal adicional debida a la pendiente se debe añadir al intervalo de carga horizontal de rueda.

Para analizar el estado límite de fatiga, los ejes se deben orientar en forma perpendicular únicamente a la dirección de viaje, pero se deben posicionar transversalmente para maximizar la sollicitación bajo consideración. En puentes con una oblicuidad mayor a **14 grados**, las dos cargas de rueda del eje no pueden posicionarse simultáneamente sobre una viga central, y los intervalos máximos de esfuerzos en un detalle crítico sobre la viga central pueden ser la diferencia entre los esfuerzos debidos a la aplicación de cada carga de rueda por separado.

#### **14.5.6.9.5. Distribución de las cargas de rueda**

Cada viga de borde se debe diseñar para el **50 por ciento** de las cargas verticales y horizontales de rueda, especificadas en el artículo 14.5.6.9.4.

La Tabla 14.5.6.9.5-1 especifica el factor de distribución a la viga central, es decir, el porcentaje de las cargas de diseño de rueda verticales y horizontales especificadas en el artículo 14.5.6.9.4 que se debe aplicar a una viga central individual para el diseño de la misma y de las barras de soporte asociadas. Los factores de distribución se deben

interpolarse para el ancho del ala superior de la viga central que no esté dado en la tabla, pero en ningún caso se debe tomar el factor de distribución menor que el **50 por ciento**. El resto de la carga debe dividirse igualmente y aplicarse a las dos vigas centrales o vigas de borde adyacentes.

**Tabla 14.5.6.9.5-1. Factores de distribución a la viga central**

Ancho del ala superior de la viga central	Factor de distribución
0,060 m (o menos)	50%
0,075 m	60%
0,10 m	70%
0,12 m	80%

#### 14.5.6.9.6. Requisitos de diseño en el estado límite de resistencia

Si el MBS se analiza para el estado límite de resistencia, la abertura entre vigas centrales se debe suponer en la posición completamente abierta, generalmente de **0,075 m**.

El MBS se debe diseñar para resistir las solicitaciones para el estado límite de resistencia especificado en el artículo 6.5.4 aplicando las disposiciones de los artículos 6.12 y 6.13, del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación), según corresponda. Todas las secciones deben ser compactas, cumpliendo los requisitos de los artículos A6.1, A6.2, A6.3.2, y A6.3.3 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación). El MBS se debe diseñar para resistir las combinaciones de carga para el estado límite de Resistencia I que se especifica en la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801 para la aplicación simultánea de cargas de eje verticales y horizontales especificadas en el artículo 14.5.6.9.4. No es necesario incluir las cargas permanentes. Las cargas se deben distribuir como se especifica en el artículo 14.5.6.9.5.

Los anclajes se deben analizar en el estado límite de resistencia debido a las cargas verticales de rueda, sin las cargas horizontales de rueda, utilizando los requisitos del artículo 6.10.10.4.3 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación). Los anclajes se deben verificar por separado para las cargas horizontales de rueda en el estado límite de resistencia. En zonas de nieve, se deben realizar para los anclajes otros análisis en forma separada para la carga del quitanieves definida en el artículo 14.5.1.2. Se debe analizar el arrancamiento o rotura en el estado límite de resistencia bajo cada una de estas cargas por medio de la versión más reciente del CIRSOC 201 (Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón), utilizando los siguientes factores de resistencia:

- Para anclajes controlados por el acero, los factores de resistencia son:

$$\begin{aligned}\phi_{tracción} &= \mathbf{0,80} \\ \phi_{corte} &= \mathbf{0,75}\end{aligned}$$

- Para anclajes controlados por el hormigón, los factores de carga para la Condición A, con refuerzo suplementario en el área de falla, son:

$$\begin{aligned}\phi_A \text{ tracción} &= \mathbf{0,80} \\ \phi_A \text{ corte} &= \mathbf{0,85}\end{aligned}$$

- Para anclajes controlados por el hormigón, los factores de carga para la Condición **B**, sin refuerzo suplementario, son:

$$\begin{aligned}\phi_B \text{ tracción} &= 0,75 \\ \phi_B \text{ corte} &= 0,75\end{aligned}$$

#### 14.5.6.9.7. Requisitos de diseño en el estado límite de fatiga

##### 14.5.6.9.7a. General

Los elementos estructurales de los MBSJ, incluyendo las vigas centrales, barras de soporte, conexiones, empalmes abulonados y soldados, y las fijaciones, deben cumplir con los requisitos de tenacidad a la fractura del artículo 6.6.2 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación). Los bulones sometidos a fatiga de tracción deben satisfacer las disposiciones del artículo 6.13.2.10.3 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación).

Los elementos estructurales de los MBSJ, incluyendo las vigas centrales, barras de soporte, conexiones, empalmes abulonados y soldados, y las fijaciones, se deben diseñar para el estado límite de fatiga como se especifica en el artículo 6.6.1.2 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación) y como se modifica y suplementa aquí.

Cada detalle debe satisfacer:

$$\Delta f \leq (\Delta F)_{TH} \quad (14.5.6.9.7a-1)$$

donde:

- $\Delta f$  efecto de fuerza, rango de esfuerzos de sobrecarga de diseño debido a la aplicación simultánea de cargas de eje verticales y horizontales especificadas en el artículo 14.5.6.9.4. y distribuidas como se especifica en el artículo 14.5.6.9.5, y calculadas como se especifica en el artículo 14.5.6.9.7b, en MPa.
- $\Delta F_{TH}$  umbral de fatiga de amplitud constante tomado de la Tabla 6.6.1.2.5-3 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación) para la categoría de detalles de interés, en MPa.

Las categorías de detalles de fatiga para la conexión entre vigas centrales y barras de soporte, empalmes en fábrica, empalmes en campo, u otros detalles críticos se deben establecer por ensayos de fatiga como lo requiere el artículo 14.5.6.9.3. Todos los demás detalles deben haberse incluido en la muestra de ensayo. Los detalles que no se fisuren durante el ensayo de fatiga se deben considerar no críticos. Las categorías de detalles de fatiga para detalles no críticos se deben determinar utilizando la Tabla 6.6.1.2.3-1 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación).

Los anclajes y las vigas de borde se deben analizar para el estado límite de fatiga considerando los efectos de fuerza de las cargas de rueda verticales y horizontales. Los conectores de corte y otros anclajes se deben diseñar en el estado límite de fatiga para resistir las cargas verticales de rueda de acuerdo con las disposiciones del artículo 6.10.10.2 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación) para el caso de Fatiga **I** definido en el artículo 3.4.1 del Reglamento CIRSOC 801. No es necesario analizar los efectos de

fuerza generados por las cargas horizontales de rueda en anclajes estándar de pernos soldados.

Las vigas de borde deben tener por lo menos **9,5 mm** de espesor. No es necesario analizar las vigas de borde con anclajes estándar de pernos soldados separados en su mayoría a **0,30 m** para la flexión en el plano en el estado límite de fatiga.

#### 14.5.6.9.7b. Rango de tensiones de diseño

Los rangos de tensiones de diseño,  $\Delta f$ , en todos los detalles críticos de fatiga se deben obtener de análisis estructurales del sistema de junta modular debido a la aplicación simultánea de las cargas de eje verticales y horizontales especificadas en el artículo 14.5.6.9.4 y distribuidas como se especifica en el artículo 14.5.6.9.5. El MBSJ se debe analizar con una abertura no menor que la configuración intermedia y ni menor que la mitad de la abertura máxima. El análisis estructural para cada detalle debe incluir la peor posición de la carga de eje para maximizar el rango de tensiones de diseño en el detalle en particular.

Los rangos de tensiones nominales,  $\Delta f$ , se deben calcular como sigue para los tipos específicos de MBSJ:

- Sistemas con una sola barra de soporte
  - Viga central – El rango de esfuerzos de flexión de diseño,  $\Delta f$ , en la viga central en la sección crítica adyacente a un estribo soldado o abulonado debe ser la suma de los rangos de tensiones en la viga central que resultan de la flexión horizontal y vertical en la sección crítica. No es necesario considerar los efectos de los esfuerzos en cualquier fijación que soporte carga, tal como el estribo u horqueta, cuando se calcula el rango de tensiones en la viga central. Para los sistemas abulonados de una sola barra de soporte, los rangos de tensiones se deben calcular en la sección neta.
  - Estribo – El rango de tensiones de diseño,  $\Delta f$ , en el estribo u horqueta debe considerar las solicitaciones generadas por el rango de fuerzas de la reacción vertical entre la viga central y la barra de soporte. El rango de tensiones se debe calcular suponiendo un rango de carga en el estribo que es mayor o igual que el **30 por ciento** del rango de fuerzas de la reacción vertical total. No es necesario considerar los efectos de las tensiones en la viga central para el cálculo del rango de tensiones de diseño en el estribo u horqueta. Se pueden despreciar los efectos de las cargas horizontales para el diseño del estribo en el estado límite de fatiga.
- Sistemas Soldados de Barras Múltiples de Soporte
  - Fisuración del pie de la soldadura de la viga central, es decir, Fisuración Tipo **A**: El rango de tensiones de diseño,  $\Delta f$ , para fisuración Tipo **A** debe incluir los efectos concurrentes de los rangos de tensiones de flexión vertical y horizontal en la viga central,  $S_{RB}$ , y los rangos de tensiones verticales en el tope de la soldadura,  $S_{RZ}$ , como se muestra en la Figura 14.5.6.9.7b-1. El rango de tensiones de diseño para la fisuración Tipo **A** se debe determinar como:

$$\Delta f = \sqrt{S_{RB}^2 + S_{RZ}^2} \quad (14.5.6.9.7b-1)$$

en la cual:

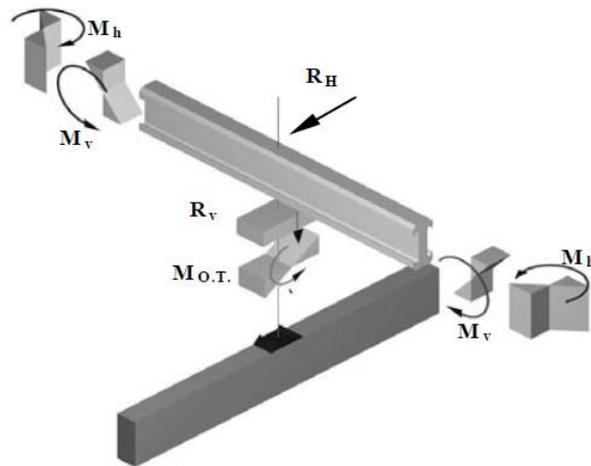
$$S_{RB} = \left( \frac{M_V}{S_{Xcb}} + \frac{M_H}{S_{Ycb}} \right) 10^{-3} \quad (14.5.6.9.7b-2)$$

$$S_{RZ} = \left( \frac{M_{OT}}{S_{Wtop}} + \frac{R_V}{A_{Wtop}} \right) 10^{-3} \quad (14.5.6.9.7b-3)$$

$$M_{OT} = R_H d_{cb} \quad (14.5.6.9.7b-4)$$

donde:

- $S_{RB}$**  rango de tensiones generadas por flexión combinada en la viga central, en MPa.
- $M_V$**  rango de momento flexor vertical en la viga central sobre la sección crítica localizada en el pie de la soldadura debido al rango de fuerza vertical, en kNm.
- $M_H$**  rango de momento flexor horizontal en la viga central sobre la sección crítica localizada en el pie de la soldadura debido al rango de fuerza horizontal, en kNm.
- $M_{OT}$**  rango de momento de vuelco de la fuerza de reacción horizontal, en kNm.
- $S_{Xcb}$**  módulo de sección vertical a la parte inferior de la viga central, en  $m^3$ .
- $S_{Ycb}$**  módulo de sección horizontal de la viga central, en  $m^3$ .
- $S_{RZ}$**  rango de tensiones verticales en el tope de la soldadura, entre la viga central y la barra de soporte, a partir de la reacción concurrente de la viga de soporte, en MPa.
- $R_V$**  rango de la fuerza de reacción vertical en la conexión, en kN.
- $R_H$**  rango de la fuerza de reacción horizontal en la conexión, en kN.
- $d_{cb}$**  altura de la viga central, en m.
- $S_{Wtop}$**  módulo de sección de la soldadura en el tope, para flexión en la dirección perpendicular al eje de la viga central, en  $m^3$ .
- $A_{Wtop}$**  área de la soldadura en el tope, en  $m^2$ .



**Figura 14.5.6.9.7b-1. Solicitaciones asociadas con fisuración Tipo A**

- Fisuración del pie de la soldadura de la barra de soporte, es decir, Fisuración Tipo **B**: El rango de tensiones de diseño,  $\Delta f$ , para fisuración Tipo **B** debe incluir los efectos concurrentes de los rangos de tensiones generados por la flexión vertical en la barra de soporte,  $S_{RB}$ , y los rangos de tensiones verticales en la parte inferior de la soldadura,  $S_{RZ}$ , como se muestra en la Figura 14.5.6.9.7b-2. El rango de tensiones de diseño,  $\Delta f$ , para fisuración Tipo **B** se debe determinar como:

$$\Delta f = \sqrt{S_{RB}^2 + S_{RZ}^2} \quad (14.5.6.9.7b-5)$$

en la cual:

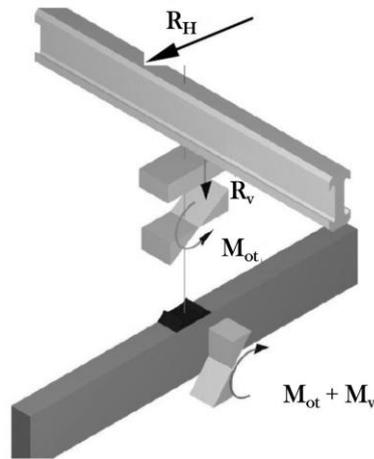
$$S_{RB} = \left( \frac{M_V}{S_{Xsb}} + \frac{1}{2} \frac{R_H \left( d_{cb} + h_w + \frac{1}{2} d_{sb} \right)}{S_{Xsb}} \right) 10^{-3} \quad (14.5.6.9.7b-6)$$

$$S_{RZ} = \left( \frac{R_H (d_{cb} + h_w)}{S_{Wbot}} + \frac{R_V}{A_{Wbot}} \right) 10^{-3} \quad (14.5.6.9.7b-7)$$

donde:

- $S_{RB}$  rango de tensiones generadas por flexión en la barra de soporte debido al momento máximo, incluyendo el momento de la reacción vertical y de vuelco en la conexión, en MPa.
- $M_V$  componente vertical del rango de momento de flexión en la barra de soporte debido al rango de fuerza de reacción vertical en la conexión localizada en la sección crítica en el pie de la soldadura, en kNm.
- $S_{Xsb}$  módulo de sección vertical de la barra de soporte a la parte superior de la barra de soporte, en  $m^3$ .

- $h_w$  altura de la soldadura, en m.
- $d_{sb}$  altura de la barra de soporte, en m.
- $S_{RZ}$  rango de tensiones verticales en la parte inferior de la soldadura entre la viga central y la barra de soporte para los rangos de fuerzas de reacciones verticales y horizontales en la conexión, en MPa.
- $S_{Wbot}$  módulo de sección de la soldadura en la parte inferior para flexión en la dirección del eje de la barra de soporte, en m<sup>3</sup>.
- $A_{Wbot}$  área de la soldadura en la parte inferior, en m<sup>2</sup>.



**Figura 14.5.6.9.7b-2. Solicitaciones asociadas con fisuración Tipo B**

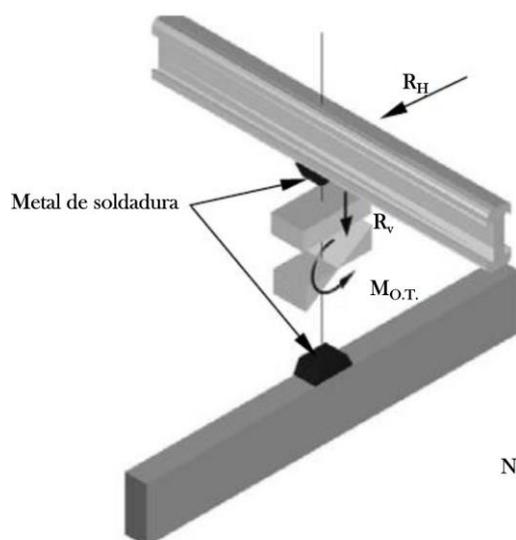
- Fisuración a través de la garganta de la soldadura, es decir, Fisuración Tipo **C**: El rango de tensiones de diseño,  $\Delta f$ , para fisuración Tipo **C** es el rango de tensiones verticales,  $S_{RZ}$ , en la sección transversal más estrecha de la soldadura entre la viga central y la barra de soporte para los rangos de fuerzas de reacciones verticales y horizontales en la conexión, como se muestra en la Figura 14.5.6.9.7b-3. El rango de tensiones de diseño,  $\Delta f$ , para fisuración Tipo **C** se debe determinar como:

$$\Delta f = \left( \frac{R_v}{A_{Wmid}} + \frac{R_H \left( d_{cb} + \frac{1}{2} h_w \right)}{S_{Wmid}} \right) 10^{-3} \quad (14.5.6.9.7b-8)$$

donde:

- $S_{Wmid}$  módulo de sección de la soldadura en la sección transversal más estrecha para flexión en la dirección perpendicular al eje de la viga central, en m<sup>3</sup>.

$A_{Wmid}$  área mínima de la sección transversal de la soldadura, en  $m^2$ .



Nota: Los bloques de tensiones se muestran exageradamente

**Figura 14.5.6.9.7b-3. Solicitaciones asociadas con fisuración Tipo C**

## 14.6. REQUISITOS PARA LOS APOYOS

### 14.6.1. General

Los apoyos pueden ser fijos o móviles, como lo requiera el diseño del puente. Los apoyos móviles pueden incluir guías para controlar la dirección de traslación. Los apoyos fijos y los guiados se deben diseñar para resistir todas las cargas apropiadas y las traslaciones restringidas no deseadas.

A menos que se indique lo contrario, el factor de resistencia para apoyos,  $\phi$ , se debe tomar igual a **1,0**.

Los apoyos sometidos a levantamiento neto, en cualquier estado límite, se deben asegurar por medio de sujeciones o anclajes.

La magnitud y la dirección de los movimientos y las cargas, que se usan en el diseño del apoyo, se deben definir claramente en las especificaciones técnicas.

No se deben utilizar combinaciones de diferentes tipos de apoyos fijos o móviles en la misma junta de expansión, pórtico, o pila, a menos que se tengan en cuenta en el diseño los efectos de las flechas diferidas y las características de rotación sobre los apoyos y la estructura.

No se deben usar apoyos multirotacionales, que cumplan con las disposiciones de este Capítulo, cuando las cargas verticales sean menores que el **20 por ciento** de la capacidad vertical del apoyo.

Se debe evaluar la resistencia de los componentes y conexiones y la estabilidad del apoyo.

Si se utilizan dos apoyos en el apoyo de las vigas tipo cajón, las reacciones verticales se deben calcular considerando el torque resistido por el par de apoyos.

#### 14.6.2. Características

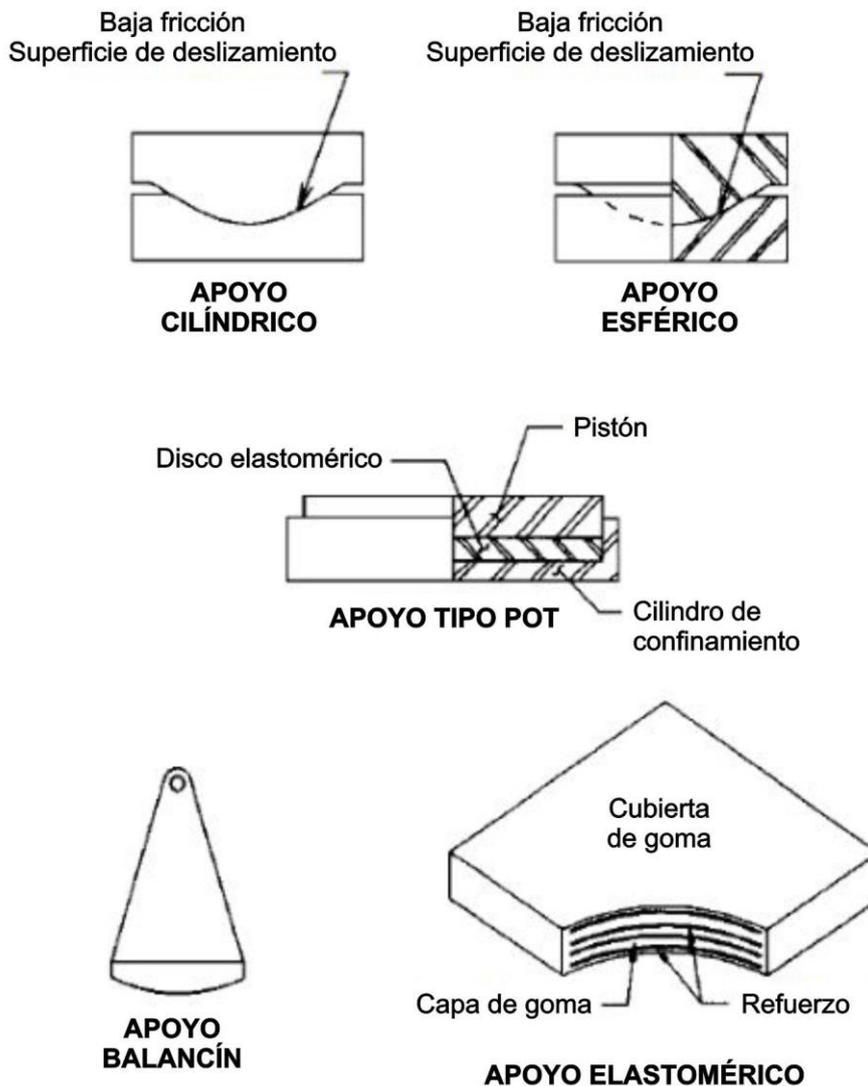
El apoyo escogido para una aplicación particular debe tener las capacidades de carga y de movimiento adecuadas. La Tabla 14.6.2-1 y la Figura 14.6.2-1, se pueden utilizar como guía al comparar los diferentes sistemas de apoyo.

La siguiente terminología aplica para la Tabla 14.6.2-1:

- S** = Adecuado
- U** = Inadecuado
- L** = Adecuado para aplicaciones limitadas
- R** = Puede ser adecuado, pero requiere consideraciones especiales o elementos adicionales tales como superficies deslizantes o guías
- Long.** = Eje longitudinal
- Trans.** = Eje transversal
- Vert.** = Eje vertical

**Tabla 14.6.2-1. Idoneidad del apoyo**

Tipo de apoyo	Movimiento		Rotación alrededor del eje indicado del puente			Resistencia a cargas		
	Long.	Trans.	Long.	Trans.	Vert.	Long.	Trans.	Vert.
Almohadilla simple de elastómero	S	S	S	S	L	L	L	L
Almohadilla reforzada con fibra de vidrio	S	S	S	S	L	L	L	L
Almohadilla reforzada con fibra de algodón	U	U	U	U	U	L	L	S
Apoyo elastomérico reforzado con acero	S	S	S	S	L	L	L	S
Apoyo deslizante plano	S	S	U	U	S	R	R	S
Apoyo deslizante esférico	R	R	S	S	S	R	R	S
Apoyo deslizante cilíndrico	R	R	U	S	U	R	R	S
Apoyo de disco	R	R	S	S	L	S	S	S
Apoyo cilíndrico doble	R	R	S	S	U	R	R	S
Apoyo tipo Pot	R	R	S	S	L	S	S	S
Apoyo balancín	S	U	U	S	U	R	R	S
Apoyo de rótula articulada	U	U	U	S	U	S	R	S
Apoyo de un solo rodillo	S	U	U	S	U	U	R	S
Apoyo de múltiples rodillos	S	U	U	U	U	U	U	S



**Figura 14.6.2-1. Tipos comunes de apoyos**

### 14.6.3. Solicitaciones resultantes de la restricción de movimiento en el apoyo

#### 14.6.3.1. Fuerzas y movimientos horizontales

Las fuerzas y los momentos horizontales inducidos en el puente debido a la restricción al movimiento en los apoyos se deben determinar utilizando los movimientos y características del apoyo especificadas en el artículo 14.7. Para apoyos con elementos elastoméricos, estas características deben incluir, pero no limitarse a, la consideración de un incremento en el módulo de corte,  $G$ , a temperaturas por debajo de **23°C**.

Los apoyos de expansión y sus soportes se deben diseñar de tal manera que la estructura, sin colapsar, se pueda someter a movimientos para dar cabida al desplazamiento sísmico y de otro evento extremo determinado utilizando las disposiciones del Capítulo 3 del Reglamento CIRSOC 801. Se debe proporcionar una adecuada longitud de soporte, para todos los apoyos, de acuerdo con el artículo 4.7.4.4 del Reglamento INPRES-CIRSOC 103

- Parte VI - 2020 - Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes - Puentes de Hormigón Armado.

El Proyectista Estructural debe determinar el número de apoyos requerido para resistir las cargas especificadas en el Capítulo 3 del Reglamento CIRSOC 801, considerando la posibilidad de participación desigual debido a tolerancias, falta de alineamiento no deseado, la capacidad individual de los apoyos, y la oblicuidad.

Se debe considerar el uso de elementos ajustables de campo para proporcionar un acoplamiento casi simultáneo del número previsto de apoyos.

En los estados límite de resistencia y de evento extremo, las fuerzas horizontales transmitidas por los apoyos a la superestructura y a la subestructura,  $H_{bu}$ , se deben tomar como aquellas inducidas por la fricción por deslizamiento, fricción por rodado, o deformación de corte del elemento flexible en el apoyo.

La fuerza de fricción por deslizamiento se debe tomar como:

$$H_{bu} = \mu P_u \quad (14.6.3.1-1)$$

donde:

$H_{bu}$  carga lateral transmitida a la superestructura y a la subestructura por los apoyos, obtenida a partir de las combinaciones de carga de resistencia y de evento extremo aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en kN.

$\mu$  coeficiente de fricción.

$P_u$  fuerza de compresión, obtenida a partir de las combinaciones de carga de resistencia y evento extremo aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en kN.

La fuerza debida a la deformación de un elemento elastomérico se debe tomar como:

$$H_{bu} = G A \frac{\Delta_u}{h_{rt}} 1000 \quad (14.6.3.1-2)$$

donde:

$G$  módulo de corte del elastómero, en MPa.

$A$  área en planta del elemento elastomérico o del apoyo, en m<sup>2</sup>.

$\Delta_u$  deformación de corte, obtenida de las combinaciones de carga de resistencia y evento extremo aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en m.

$h_{rt}$  espesor total del elastómero, en m.

Las fuerzas de rodamiento en los estados límite de resistencia y evento extremo se deben determinar por medio de ensayos.

#### 14.6.3.2. Momento

En los estados límite de resistencia y de evento extremo, tanto la subestructura como la superestructura se deben diseñar para el mayor momento,  $M_u$ , transferido por el apoyo.

Para apoyos deslizantes curvos sin una superficie deslizante plana complementaria,  $M_u$ , se debe tomar como:

$$M_u = \mu P_u R \quad (14.6.3.2-1)$$

Para apoyos deslizantes curvos con una superficie deslizante plana complementaria,  $M_u$ , se debe tomar como:

$$M_u = 2 \mu P_u R \quad (14.6.3.2-2)$$

donde:

$M_u$  momento transmitido por los apoyos, a la superestructura y la subestructura, obtenido de las combinaciones de carga de resistencia y evento extremo aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en kNm.

$R$  radio de la superficie deslizante curva, en m.

Para almohadillas y apoyos elastoméricos no confinados,  $M_u$ , se debe tomar como:

$$M_u = 1600 (0,5 E_c I) \frac{\theta_s}{h_{rt}} \quad (14.6.3.2-3)$$

donde:

$I$  momento de inercia de la forma en planta del apoyo, en  $m^4$ .

$E_c$  módulo efectivo a compresión del apoyo elastomérico, en MPa.

$\theta_s$  máximo ángulo de rotación de diseño en el estado límite de servicio especificado en el artículo 14.4.2.1, en rad.

$h_{rt}$  espesor total de elastómero, en m.

Para CDP,  $M_u$  se debe tomar como:

$$M_u = 1250 (4,5 - 2,2 S + 0,087 \sigma_s) \frac{E_c I}{t_p} \theta_s \quad (14.6.3.2-4)$$

donde:

- $E_c$  rigidez uniaxial a compresión de la almohadilla CDP del apoyo. Se puede tomar como **200 MPa** en lugar de datos experimentales específicos de la almohadilla, en MPa.
- $t_p$  espesor total de la almohadilla CDP, en m.
- $S$  factor de forma de la almohadilla CDP calculado en base a la ecuación 14.7.5.1-1 y con base en el espesor total de la almohadilla.
- $\sigma_s$  esfuerzo de compresión promedio debido a la carga total asociada con la máxima rotación obtenida por las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en MPa.
- $\theta_s$  máxima rotación de la almohadilla CDP obtenida por las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en rad.

#### **14.6.4. Fabricación, instalación, ensayo, y transporte**

Se deben aplicar las disposiciones para la fabricación, instalación, ensayo, y transporte de apoyos, especificadas en el Capítulo 18, "Dispositivos de Apoyo", de la AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications, hasta tanto se desarrolle un documento específico al respecto.

La temperatura de montaje del puente o de cualquiera de sus componentes se debe tomar como la temperatura del aire promediada sobre el periodo de **24 horas** inmediatamente anterior al evento de montaje.

#### **14.6.5. Disposiciones para apoyos ante eventos sísmicos y otros eventos extremos**

##### **14.6.5.1. General**

Este artículo se debe aplicar al análisis, diseño y detallado de los apoyos para responder a los efectos de terremotos y, cuando sea apropiado, a otros eventos extremos para los cuales la componente horizontal de carga es muy grande.

Estas disposiciones se deben aplicar junto con todos los demás requisitos aplicables del Reglamento. La selección del tipo de apoyo debe considerar los criterios descritos en el artículo 14.6.5.3, en las etapas tempranas del diseño.

##### **14.6.5.2. Aplicabilidad**

Estas disposiciones se deben aplicar a apoyos deslizantes articulados, de roller (rodillo), rocker (balancines), y de bronce o de aleación de cobre, apoyos elastoméricos, apoyos esféricos, y apoyos tipo Pot y de disco en puentes comunes de losa sobre vigas pero no en apoyos tipo aisladores o apoyos tipo fusible estructural diseñados principalmente para los efectos de cargas horizontales dinámicas de eventos extremos.

Aunque la estrategia tomada aquí supone que la acción inelástica está confinada en áreas de articulación apropiadamente detalladas en la subestructura, se puede también considerar conceptos alternativos que utilice el movimiento en los apoyos para disipar las fuerzas horizontales y/o verticales del evento extremo. Cuando se usen estrategias

alternativas, se debe considerar en el diseño y en los detalles, todas las ramificaciones de los movimientos incrementados y la predictibilidad de las fuerzas y transferencia de fuerzas asociadas.

#### **14.6.5.3. Criterios de diseño**

La selección y el diseño de apoyos para carga sísmica u otra carga horizontal de evento extremo, se deben relacionar con las características de resistencia y rigidez de la superestructura y de la subestructura.

El diseño de los apoyos debe ser consistente con la respuesta de todo el sistema del puente ante el evento sísmico u otro evento extremo bajo investigación.

Cuando se usen apoyos rígidos, se debe suponer que las fuerzas horizontales sísmicas o de otro evento extremo de la superestructura se transmiten a través de los diafragmas o pórticos transversales y sus conexiones a los apoyos y luego a la subestructura sin reducción debido a la acción inelástica local a lo largo de la trayectoria de la carga. Sin embargo, las fuerzas se pueden reducir en situaciones en las que los diafragmas de los extremos en la superestructura se han diseñado y detallado específicamente para la acción inelástica, de acuerdo con disposiciones ampliamente aceptadas para diafragmas de extremo dúctiles.

Como mínimo, los apoyos, las restricciones, y los anclajes se deben diseñar para resistir las fuerzas especificadas en el artículo 3.10.9 del Reglamento INPRES-CIRSOC 103 - Parte VI - 2020 - Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes - Puentes de Hormigón Armado.

Los apoyos elastoméricos menos rígidos, pero que no se diseñan explícitamente como aisladores sísmicos o fusibles, se pueden usar en cualquier circunstancia. Si se usan, se deben diseñar para soportar las cargas sísmicas u otras cargas horizontales de evento extremo, o, si no se requiere que el apoyo elastomérico mantenga su funcionamiento después del evento, se debe proporcionar otros medios tales como retenedores, STUs, amortiguadores, o longitudes de apoyo más anchas, para prevenir la salida de la superestructura de su zona de apoyo.

### **14.7. DISPOSICIONES ESPECIALES DE DISEÑO PARA APOYOS**

Hasta tanto se desarrollen las normas IRAM correspondientes, los documentos internacionales mencionados en este artículo son los siguientes:

- ASTM A108-18 – Standard Specification for Steel Bar, Carbon and Alloy, Cold-Finished
- ASTM A167-99(2009) – Standard Specification for Stainless and Heat-Resisting Chromium-Nickel Steel Plate, Sheet, and Strip (Withdrawn 2014)
- ASTM A240/A240M-18 – Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications
- ASTM A264-12(2019) – Standard Specification for Stainless Chromium-Nickel Steel-Clad Plate

- ASTM A668/A668M-19a – Standard Specification for Steel Forgings, Carbon and Alloy, for General Industrial Use
- ASTM A709/A709M-18 – Standard Specification for Structural Steel for Bridges
- ASTM B22/B22M-17 – Standard Specification for Bronze Castings for Bridges and Turntables
- ASTM B36/B36M-18 – Standard Specification for Brass Plate, Sheet, Strip, And Rolled Bar
- ASTM D4894-19 – Standard Specification for Polytetrafluoroethylene (PTFE) Granular Molding and Ram Extrusion Materials
- ASTM D4895-18 – Standard Specification for Polytetrafluoroethylene (PTFE) Resin Produced from Dispersion

#### **14.7.1. Apoyos metálicos tipo Rocker y Roller (Balancines y Rodillos)**

##### **14.7.1.1. General**

El eje de rotación del apoyo se debe alinear con el eje alrededor del cual ocurren las rotaciones más grandes del elemento soportado. Se deben tomar las medidas necesarias para asegurar que la alineación del apoyo no cambie durante la vida de servicio del puente. Apoyos con rodillos múltiples se deben conectar por medio de engranajes para asegurar que los rodillos individuales permanezcan paralelos entre sí y con su separación original.

Los apoyos de balancines y rodillos se deben detallar de manera tal que se los pueda inspeccionar y realizar mantenimiento fácilmente.

Siempre que sea práctico se deben evitar los balancines y, si se usan, se deben considerar en el diseño y en el detallado sus movimientos y la tendencia a ladearse bajo acciones sísmicas.

##### **14.7.1.2. Materiales**

Los apoyos tipo rocker y roller (balancines y rodillos) se deben fabricar con acero inoxidable que cumpla con ASTM A240, como se especifica en el artículo 6.4.7 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación), o de acero estructural que cumpla con AASHTO M 169 (ASTM A108), M 102M/M 102 (ASTM A668/A668M), o M 270M/M 270 (ASTM A709/A709M), Grados 36, 50, o 50W. Las propiedades físicas de estos aceros se deben tomar como se especifica en la Tabla 6.4.1-1 y la Tabla 6.4.2-1 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación).

##### **14.7.1.3. Requisitos geométricos**

Para el dimensionamiento del apoyo se debe tener en cuenta tanto los esfuerzos de contacto como el movimiento del punto de contacto debido al rodamiento.

Cada superficie curva individual de contacto debe tener un radio constante. Los apoyos con más de una superficie curva deben ser simétricos alrededor de una línea que une los centros de sus dos superficies curvas.

Si se usan pivotes o mecanismos de engranajes para guiar el apoyo, su geometría debe ser tal que permita el movimiento libre del apoyo.

Los apoyos se deben diseñar para que sean estables. Si el apoyo tiene dos caras cilíndricas separadas, cada una de las cuales rueda sobre una placa plana, la estabilidad se puede lograr haciendo que la distancia entre las dos líneas de contacto no sea mayor que la suma de los radios de las dos superficies cilíndricas.

#### 14.7.1.4. Esfuerzos de contacto

En el estado límite de servicio, la carga de contacto,  $P_s$ , en kN, debe satisfacer:

- Para superficies cilíndricas:

$$P_s \leq 8000 \frac{W D_1}{\left(1 - \frac{D_1}{D_2}\right)} \frac{F_y^2}{E_s} \quad (14.7.1.4-1)$$

- Para superficies esféricas:

$$P_s \leq 40000 \left( \frac{D_1}{\left(1 - \frac{D_1}{D_2}\right)} \right)^2 \frac{F_y^3}{E_s^2} \quad (14.7.1.4-2)$$

donde:

$D_1$  diámetro de la superficie del rocker o roller (balancín o rodillo), en m.

$D_2$  diámetro de la superficie de unión, en m, tomado como:

- Positivo si las curvaturas tienen el mismo signo, e
- Infinito si la superficie de unión es plana.

$F_y$  tensión de fluencia mínima especificada del acero más débil en la superficie de unión, en MPa.

$E_s$  módulo de elasticidad del acero, en MPa.

$W$  ancho del apoyo [m]

## 14.7.2. Superficies deslizantes de “Polytetrafluorethylene – PTFE”

Se puede utilizar PTFE en las superficies deslizantes de los apoyos del puente para acomodar la traslación o rotación. Todas las superficies de PTFE, diferentes a las guías, deben satisfacer los requisitos aquí especificados. Las superficies curvas de PTFE también deben satisfacer el artículo 14.7.3.

### 14.7.2.1. Superficie de PTFE

La superficie de PTFE se debe hacer con resina pura de PTFE virgen que cumpla los requisitos de ASTM D4894 o D4895. Se debe fabricar como lámina no rellena, lámina rellena, o tela tejida con fibras de PTFE y de otras fibras.

Las láminas no rellenas se deben hacer con solo resina de PTFE. Las láminas rellenas se deben hacer con resina de PTFE mezclada uniformemente con fibras de vidrio, fibras de carbono u otros rellenos químicamente inertes. El contenido del relleno no debe exceder el **15 por ciento** para fibras de vidrio y el **25 por ciento** para fibras de carbono.

Las láminas de PTFE pueden contener hoyuelos que actúan como depósitos de lubricante. El PTFE sin lubricante también puede contener hoyuelos. Su diámetro no debe exceder **8 mm** en la superficie del PTFE y su profundidad no debe ser menor que **2 mm** ni mayor que la mitad del espesor del PTFE. Los depósitos se deben distribuir uniformemente sobre el área superficial y deben cubrir más del **20 por ciento** pero menos del **30 por ciento** de la superficie de contacto. Los hoyuelos no se deben colocar intersecando el borde del área de contacto. El lubricante debe ser grasa de silicona, que satisfaga las Especificaciones de la Sociedad de Ingenieros Automotrices SAE-AS8660 (“Society of Automotive Engineers Specification”) hasta tanto se desarrolle un documento específico al respecto.

El PTFE de fibra tejida se debe hacer de fibras puras de PTFE. El PTFE reforzado con fibra se debe hacer entrelazando fibras de alta resistencia, tales como vidrio, con el PTFE de tal manera que las fibras de refuerzo no aparezcan en la cara deslizante de la tela acabada.

### 14.7.2.2. Superficie de unión

El PTFE se debe usar en conjunto con una superficie de unión. Las superficies planas de unión deben ser de acero inoxidable, y las superficies curvas de unión deben ser de acero inoxidable o aluminio anodizado. Las superficies planas deben ser de acero inoxidable, Tipo 304, que cumpla con las normas ASTM A167 o A264, y se debe proporcionar una superficie de acabado de **0,2  $\mu\text{m}$  RMS** o mejor. El acabado en superficies metálicas curvas no debe exceder **0,4  $\mu\text{m}$  RMS**. La superficie de unión debe ser suficientemente grande para cubrir el PTFE en todo momento.

### 14.7.2.3. Espesor mínimo

#### 14.7.2.3.1. PTFE

Para toda aplicación, el espesor del PTFE debe ser por lo menos **1,5 mm** después de la compresión. La lámina en bajo relieve de PTFE debe tener por lo menos **4,8 mm** de espesor cuando la dimensión máxima del PTFE sea menor o igual que **0,60 m**, y **6 mm** cuando la dimensión máxima del PTFE sea mayor a **0,60 m**. La tela tejida de PTFE, que está entrelazada mecánicamente sobre un sustrato metálico, debe tener un espesor mínimo de **1,5 mm** y un espesor máximo de **3,0 mm** sobre el punto más alto del sustrato.

#### 14.7.2.3.2. Superficies de unión de acero inoxidable

El espesor de la superficie de unión de acero inoxidable debe ser al menos de **1,5 mm** cuando la dimensión máxima de la superficie sea menor o igual que **0,30 m**, y al menos de **3,0 mm** cuando la dimensión máxima sea mayor a **0,30 m**.

Los requisitos para la placa de respaldo deben ser los especificados en el artículo 14.7.2.6.2.

#### 14.7.2.4. Presión de contacto

El esfuerzo de contacto entre el PTFE y la superficie de unión se debe determinar en el estado límite de servicio, utilizando el área nominal.

El esfuerzo promedio de contacto se debe calcular dividiendo la carga por la proyección del área de contacto sobre un plano perpendicular a la dirección de la carga. El esfuerzo de contacto en el borde se debe determinar teniendo en cuenta el momento máximo transferido por el apoyo suponiendo una distribución lineal de esfuerzos a través del PTFE.

Los esfuerzos no deben exceder los dados en la Tabla 14.7.2.4-1. Los esfuerzos permisibles para contenidos intermedios de relleno se deben obtener por medio de interpolación lineal en la Tabla 14.7.2.4-1.

**Tabla 14.7.2.4-1. Esfuerzo de contacto máximo para superficies PTFE en el estado límite de servicio, en MPa.**

Material	Esfuerzo promedio de contacto [MPa]		Esfuerzo de contacto en el borde [MPa]	
	Cargas permanentes	Todas las cargas	Cargas permanentes	Todas las cargas
PTFE no confinado:				
- Láminas sin relleno	10	17	14	21
- Láminas rellenas con contenido máximo de relleno	21	31	24	38
Lámina confinada de PTFE	21	31	24	38
Fibra tejida de PTFE sobre un sustrato metálico	21	31	24	38
PTFE tejido reforzado sobre un sustrato metálico	28	38	31	48

#### 14.7.2.5. Coeficiente de fricción

El coeficiente de fricción de diseño, en el estado límite de servicio, de la superficie deslizante de PTFE se debe tomar como se especifica en la Tabla 14.7.2.5-1. Los valores intermedios se pueden determinar por interpolación. El coeficiente de fricción se debe determinar utilizando el nivel de esfuerzo asociado con las combinaciones de carga aplicables especificadas en la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801. Se pueden utilizar valores menores si se verifican por medio de ensayos.

Cuando se requiere que la fricción resista cargas no sísmicas, el coeficiente de fricción de diseño bajo carga dinámica se puede tomar como no más del **10 por ciento** de los valores

listados en la Tabla 14.7.2.5-1 para el esfuerzo de aplastamiento y el tipo de PTFE indicado.

Los coeficientes de fricción de la Tabla 14.7.2.5-1 se basan en un acabado de la superficie de unión de **0,2  $\mu\text{m}$** . Los coeficientes de fricción para acabados de superficie más rugosos se tienen que establecer por medio de resultados de ensayo de acuerdo con el Capítulo 18 del AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications, hasta tanto se desarrolle un documento específico al respecto.

Los pliegos de condiciones deben requerir la certificación de ensayos del lote de producción de PTFE para asegurar que la fricción realmente alcanzada en el apoyo es apropiada para el diseño del mismo.

**Tabla 14.7.2.5-1. Coeficientes de fricción de diseño – Estado límite de servicio**

Tipo de PTFE	Presión [MPa]	3,5	7	14	>21
	Temperatura [°C]	Coeficientes de fricción			
Hoyuelos con lubricante	20	0,04	0,030	0,025	0,020
	-25	0,06	0,045	0,040	0,030
	-45	0,10	0,075	0,060	0,050
Sin relleno u Hoyuelos sin lubricante	20	0,08	0,070	0,050	0,030
	-25	0,20	0,180	0,130	0,100
	-45	0,20	0,180	0,130	0,100
Relleno	20	0,24	0,170	0,090	0,060
	-25	0,44	0,320	0,250	0,200
	-45	0,65	0,550	0,450	0,350
Tejido	20	0,08	0,070	0,060	0,045
	-25	0,20	0,180	0,130	0,100
	-45	0,20	0,180	0,130	0,100

## 14.7.2.6. Fijaciones

### 14.7.2.6.1. PTFE

Las láminas de PTFE confinadas por la mitad de su espesor pueden estar adheridas o no adheridas en el bajo relieve de una placa de respaldo rígida de metal.

Las láminas de PTFE que no están confinadas se deben adherir a una superficie metálica o a una capa de elastómero con una dureza de durómetro Shore **A** de por lo menos **90**, por medio de un método aprobado.

El PTFE tejido sobre un sustrato metálico se debe fijar al sustrato metálico por medio de un entrelazado mecánico que pueda resistir una fuerza de corte no menor que **0,10 veces** la fuerza de compresión aplicada.

#### 14.7.2.6.2. Superficie de unión

La superficie de unión para superficies deslizantes planas se debe fijar a una placa de respaldo por medio de soldadura, de tal manera que permanezca plana y en pleno contacto con su placa de respaldo durante su vida de servicio. La soldadura se debe detallar para formar un sello efectivo a la humedad alrededor de todo el perímetro de la superficie de unión para prevenir la corrosión de la interfaz. La fijación debe ser capaz de resistir la fuerza máxima de fricción que puede desarrollar el apoyo bajo las combinaciones de carga en el estado límite de servicio. Las soldaduras usadas para la fijación deben estar fuera del área de contacto y de deslizamiento de la superficie del PTFE.

#### 14.7.3. Apoyos con superficies deslizantes curvas

##### 14.7.3.1. General

Los apoyos con superficies deslizantes curvas deben consistir de dos partes metálicas con superficies curvas coincidentes y con una interfaz de deslizamiento de baja fricción. Las superficies curvas pueden ser cilíndricas o esféricas. Las propiedades y características físicas y las propiedades de fricción de la interfaz deslizante deben satisfacer los requisitos de los artículos 14.7.2 y 14.7.7.

Las dos superficies de una interfaz deslizante deben tener radios nominales iguales.

##### 14.7.3.2. Resistencia del apoyo

El radio de la superficie curva debe ser suficientemente grande como para asegurar que la carga total de compresión en el estado límite de servicio sobre el área proyectada horizontal del apoyo,  $P_s$ , sea menor o igual a la carga admisible promedio calculada del esfuerzo de servicio especificado en los artículos 14.7.2.4 o 14.7.7.3.

- Para apoyos cilíndricos:

$$P_s \leq \phi 1000 D W \sigma_{SS} \quad (14.7.3.2-1)$$

- Para apoyos esféricos:

$$P_s \leq \phi 1000 \frac{\pi D^2 \sigma_{SS}}{4} \quad (14.7.3.2-2)$$

donde:

- |               |  |
|---------------|--|
| $P_s$         | carga total de compresión de las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en kN.                                     |
| $D$           | diámetro de la proyección de la superficie cargada del apoyo en el plano horizontal, en m.   |
| $\sigma_{SS}$ | esfuerzo máximo promedio de contacto en el estado límite de servicio permitido sobre el PTFE según la Tabla 14.7.2.4-1 o sobre bronce según la Tabla 14.7.7.3-1, en MPa. |
| $W$           | longitud del cilindro, en m.   |

$\phi$  factor de resistencia, igual a **1,0**.

### 14.7.3.3. Resistencia a carga lateral

Cuando se requiera que los apoyos resistan cargas horizontales en el estado límite de servicio, deben estar provistos de un sistema externo de restricción o:

- Para una superficie deslizante cilíndrica, la carga horizontal debe satisfacer:

$$H_s \leq 2000 R W \sigma_{SS} \text{sen}(\psi - \beta - \theta_u) \text{sen}(\beta) \quad (14.7.3.3-1)$$

- Para una superficie esférica, la carga horizontal debe satisfacer:

$$H_s \leq 1000 \pi R^2 \sigma_{SS} \text{sen}(\psi - \beta - \theta_u) \text{sen}(\beta) \quad (14.7.3.3-2)$$

en las cuales:

$$\beta = \tan^{-1} \left( \frac{H_s}{P_D} \right) \quad (14.7.3.3-3)$$

y

$$\psi = \sin^{-1} \left( \frac{L}{2R} \right) \quad (14.7.3.3-4)$$

donde:

- $H_s$**  carga horizontal de las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en kN.
- $L$**  longitud proyectada de la superficie deslizante perpendicular al eje de rotación, en m.
- $P_D$**  carga de compresión en el estado límite de servicio (factor de carga = **1,0**) debida a las cargas permanentes, en kN.
- $R$**  radio de la superficie deslizante curva, en m.
- $W$**  longitud de la superficie cilíndrica, en m.
- $\beta$**  ángulo entre la vertical y la carga resultante aplicada, en rad.
- $\theta_u$**  ángulo máximo de rotación de diseño en el estado límite de resistencia especificado en el artículo 14.4.2.2.1, en rad.

$\sigma_{ss}$  esfuerzo máximo promedio de contacto en el estado límite de servicio permitido sobre el PTFE según la Tabla 14.7.2.4-1 o sobre bronce según la Tabla 14.7.7.3-1, en MPa.

$\psi$  semiángulo subtendido de la superficie curva, en rad.

#### 14.7.4. Apoyos tipo Pot

##### 14.7.4.1. General

Si los apoyos tipo Pot están provistos de una superficie deslizante de PTFE para permitir movimientos rotacionales y horizontales, dichas superficies deslizantes y cualquier sistema de guías se deben diseñar de acuerdo con las disposiciones de los artículos 14.7.2 y 14.7.9.

Los elementos rotacionales del apoyo tipo Pot deben consistir de por lo menos un cilindro de confinamiento, un pistón, un disco elastomérico, y anillos de sellado.

Con el propósito de establecer las fuerzas y las deformaciones impuestas sobre el apoyo tipo Pot, el eje de rotación se debe tomar yaciendo en el plano horizontal en la mitad de la altura del disco de elastómero.

La carga vertical mínima sobre un apoyo tipo Pot no debe ser menor al **20 por ciento** de la carga vertical de diseño.

##### 14.7.4.2. Materiales

El disco de elastómero debe estar hecho de un compuesto basado en caucho virgen natural o neopreno virgen que cumplan con los requisitos de la Sección 18.3 de la norma AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications, hasta tanto se desarrolle un documento específico al respecto. La dureza nominal debe estar entre **50 y 60** en la escala Shore **A**.

El cilindro de confinamiento y el pistón deben estar hechos de acero estructural que cumpla el AASHTO M 270M/M 270 (ASTM A709/A709); Grados 36, 50, o 50W; o de acero inoxidable que cumpla con ASTM A240. El acabado de las superficies en contacto con la almohadilla de elastómero debe ser más liso que **1,5  $\mu\text{m}$** . La tensión de fluencia y la dureza del pistón no deben exceder a las del cilindro de confinamiento.

Los anillos de sellado de latón que cumplan con los artículos 14.7.4.5.2 y 14.7.4.5.3 deben cumplir con ASTM B36 (dureza media) para anillos con sección transversal rectangular, y la Federal Specification QQB626, Composición 2, para anillos con sección transversal circular.

##### 14.7.4.3. Requisitos geométricos

El espesor del disco elastomérico,  $h_r$ , debe satisfacer:

$$h_r \geq 3,33 D_p \theta_u \quad (14.7.4.3-1)$$

donde:

$D_p$  diámetro interno del cilindro de confinamiento, en m.

$\theta_u$  ángulo máximo de rotación de diseño en el estado límite de resistencia especificado en el artículo 14.4.2.2.1, en rad.

Las dimensiones de los elementos de un apoyo tipo Pot deben satisfacer los siguientes requisitos bajo la combinación más desfavorable de desplazamientos y rotaciones en el estado límite de resistencia:

- El cilindro de confinamiento debe ser suficientemente profundo para permitir que el sello y el ala del pistón permanezcan en contacto total con la cara vertical de la pared del cilindro de confinamiento, y
- El contacto o trabazón entre componentes metálicos no deben impedir desplazamientos o rotaciones adicionales.

#### 14.7.4.4. Disco elastomérico

La tensión promedio sobre el elastómero, en el estado límite de servicio, no debe exceder de **25 MPa**.

Para facilitar la rotación, las superficies superior e inferior del elastómero se deben tratar con un lubricante que no sea perjudicial para el elastómero. Alternativamente, se pueden usar discos delgados de PTFE en la parte superior e inferior del elastómero.

#### 14.7.4.5. Anillos de sellado

##### 14.7.4.5.1. General

Se debe usar un sello entre el cilindro de confinamiento y el pistón. En el estado límite de servicio los sellos deben ser adecuados para prevenir el escape del elastómero bajo carga de compresión y rotaciones cíclicas aplicadas simultáneamente. En el estado límite de resistencia, los sellantes también deben ser adecuados para prevenir el escape del elastómero bajo carga de compresión y rotación estática aplicada simultáneamente.

Los anillos de latón que satisfacen los requisitos de los artículos 14.7.4.5.2 o 14.7.4.5.3 se pueden usar sin probar que cumplan con los requisitos anteriores. El Proyectista Estructural puede aprobar otros sistemas de sello sobre la base de evidencia experimental.

##### 14.7.4.5.2. Anillos con secciones transversales rectangulares

Se deben usar tres anillos rectangulares. Cada anillo debe ser circular en planta pero debe estar cortado en un punto alrededor de su circunferencia. Las caras del corte deben estar en un plano a **45 grados** con la vertical y con la tangente de la circunferencia. Los anillos se deben orientar de manera que los cortes en cada uno de los tres anillos estén igualmente separados alrededor de la circunferencia del cilindro de confinamiento.

El ancho de cada anillo no debe ser menor a **0,02·D<sub>p</sub>** ni menor a **0,006 m**, y no debe ser mayor de **0,019 m**. El espesor de cada uno no debe ser menor a **0,2 veces** su ancho.

### 14.7.4.5.3. Anillos con sección transversal circular

Se debe usar un anillo circular cerrado con un diámetro exterior igual a  $D_p$ . Debe tener un diámetro de la sección transversal no menor de  $0,0175 \cdot D_p$  ni menor a  $0,004 \text{ m}$ .

### 14.7.4.6. Cilindro de confinamiento (“Pot”)

El cilindro de confinamiento debe estar compuesto por lo menos de una pared y una base. Todos los elementos del cilindro de confinamiento se deben diseñar para actuar como una sola unidad estructural.

El espesor mínimo de la base apoyada directamente contra hormigón o mortero de cemento, debe satisfacer:

$$t_b \geq 0,06 D_p \quad (14.7.4.6-1)$$

y

$$t_b \geq 0,019 \text{ m} \quad (14.7.4.6-2)$$

El espesor de la base apoyada directamente sobre vigas de acero o sobre placas de distribución de carga, debe satisfacer:

$$t_b \geq 0,04 D_p \quad (14.7.4.6-3)$$

y

$$t_b \geq 0,013 \text{ m} \quad (14.7.4.6-4)$$

El espesor mínimo de la pared del cilindro de confinamiento,  $t_w$ , para un apoyo deslizante tipo Pot sin guía, debe satisfacer:

$$t_w \geq \frac{D_p \sigma_s}{1,25 F_y} \quad (14.7.4.6-5)$$

y:

$$t_w \geq 0,019 \text{ m} \quad (14.7.4.6-6)$$

donde:

$t_w$  espesor de la pared del cilindro de confinamiento, en m.

$F_y$  tensión de fluencia del acero, en MPa.

$D_p$  diámetro interno del cilindro de confinamiento, en m.

$\sigma_s$  tensión promedio de compresión debida a la carga total de las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en MPa.

El espesor de la pared ( $t_w$ ) y de la base ( $t_b$ ) del cilindro de confinamiento, guiado o fijo, deben también satisfacer los requisitos de la ecuación 14.7.4.7-1 para las combinaciones aplicables de carga de resistencia y de evento extremo, especificadas en la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, que son transferidas por el pistón a la pared del cilindro de confinamiento.

#### 14.7.4.7. Pistón

El pistón debe tener la misma forma en planta que el interior del cilindro de confinamiento. Su espesor debe ser adecuado para resistir las cargas que se le impongan, pero no debe ser menor al **6 por ciento** del diámetro interno del cilindro de confinamiento,  $D_p$ , excepto en el borde del ala.

El perímetro del pistón debe tener un borde de contacto a través del cual se puedan transmitir cargas horizontales. En cilindros de confinamiento circulares, la superficie del pistón puede ser cilíndrica o esférica. El cuerpo del pistón por encima del borde superior del ala se debe retrasar o acartelar para prevenir el bloqueo. La altura,  $h_w$ , del ala del pistón debe ser suficientemente grande para transmitir las fuerzas horizontales, de los estados límite de resistencia y evento extremo, entre el cilindro de confinamiento y el pistón.

Cuando se utilice un dispositivo mecánico para conectar la superestructura a la subestructura, éste se debe diseñar para resistir el mayor valor entre  $H_u$  en el apoyo para los estados límite de resistencia y evento extremo, y el **15 por ciento** de la carga máxima vertical en el estado límite de servicio en el sitio.

Los apoyos tipo Pot sometidos a cargas laterales se deben dimensionar de manera que el espesor de la pared del cilindro de confinamiento ( $t_w$ ) y el de la base del cilindro de confinamiento ( $t_b$ ) satisfagan:

$$t_w, t_b \geq \sqrt{\frac{0,025 H_u \theta_u}{F_y}} \quad (14.7.4.7-1)$$

Los apoyos tipo Pot que transfieren carga a través del pistón deben satisfacer:

$$h_w \geq \frac{0,0015 H_u}{D_p F_y} \quad (14.7.4.7-2)$$

$$h_w \geq 0,003 \text{ m} \quad (14.7.4.7-3)$$

y

$$h_w \geq 0,03 D_p \quad (14.7.4.7-4)$$

donde:

- $H_u$  carga lateral de las combinaciones de carga de resistencia y evento extremo aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en kN.
- $\theta_u$  ángulo máximo de rotación de diseño del estado límite de resistencia especificado en el artículo 14.4.2.2.1, en rad.
- $F_y$  tensión de fluencia del acero, en MPa.
- $D_p$  diámetro interno del cilindro de confinamiento, en m.
- $h_w$  altura desde el borde superior del ala del pistón hasta la cara inferior del pistón, en m.
- $t_w$  espesor de la pared del cilindro de confinamiento, en m.
- $t_b$  espesor de la base del cilindro de confinamiento, en m.

El diámetro del ala del pistón debe ser el diámetro interno del cilindro de confinamiento menos la holgura,  $c$ . La holgura,  $c$ , debe ser tan pequeña como sea posible con el fin de prevenir el escape del elastómero, pero no menor que **0,0005 m**. Si la superficie del ala del pistón es cilíndrica, la holgura debe satisfacer:

$$c \geq \theta_u \left( h_w - \frac{D_p \theta_u}{2} \right) \quad (14.7.4.7-5)$$

donde:

- $D_p$  diámetro interno del cilindro del confinamiento, en m.
- $h_w$  altura desde el borde superior del ala del pistón hasta la cara inferior del pistón, en m.
- $\theta_u$  ángulo máximo de rotación de diseño del estado límite de resistencia especificado en el artículo 14.4.2.2.1, en rad.

## 14.7.5. Apoyos elastoméricos reforzados con acero — Método B

### 14.7.5.1. General

Los apoyos de elastómero reforzados con acero se pueden diseñar utilizando cualquiera de los dos métodos comúnmente conocidos como Método **A** y Método **B**. Cuando se utilicen las disposiciones de este artículo, el componente cumple con los requisitos del Método **B**. Si se utilizan las disposiciones del artículo 14.7.6, el componente cumple con los requisitos del Método **A**.

Los apoyos de elastómero reforzados con acero deben consistir en capas alternadas de refuerzos de acero y elastómeros adheridos entre sí. En adición a cualquier refuerzo interno, los apoyos pueden tener placas de carga exteriores adheridas a una o ambas capas de elastómero superior o inferior.

No se deben usar capas acarteladas de elastómero. Todas las capas internas de elastómero deben ser del mismo espesor. Las capas de cubierta superior e inferior no deben ser más gruesas que el **70 por ciento** de las capas internas.

El factor de forma de una capa del apoyo de elastómero,  $S_i$ , debe ser el área en planta de la capa dividida por el área del perímetro libre que sobresale. A menos que se indique lo contrario, los valores de  $S_i$  y  $h_{ri}$ , para utilizar en los artículos 14.7.5 y 14.7.6 para el diseño de apoyos de elastómero reforzado con acero, deben ser los de la capa interna. Para apoyos rectangulares sin agujeros, el factor de forma de una capa se debe tomar como:

$$S_i = \frac{L W}{2 h_{ri} (L + W)} \quad (14.7.5.1-1)$$

donde:

- $L$  dimensión en planta del apoyo, perpendicular al eje de rotación bajo consideración (generalmente paralela al eje global longitudinal del puente), en m.
- $W$  dimensión en planta del apoyo, paralela al eje de rotación bajo consideración (generalmente paralela al eje global transversal del puente), en m.
- $h_{ri}$  espesor de la  $i$ -ésima capa de elastómero, en m.

Para apoyos circulares sin agujeros, el factor de forma de una capa de elastómero se debe tomar como:

$$S_i = \frac{D}{4 h_{ri}} \quad (14.7.5.1-2)$$

donde:

- $D$  diámetro de la proyección de la superficie cargada del apoyo en el plano horizontal, en m.

#### 14.7.5.2. Propiedades de los materiales

El módulo de corte del elastómero a **23°C** se debe utilizar como base para el diseño.

El elastómero debe tener un módulo de corte especificado entre **0,55 MPa** y **1,21 MPa**. Debe cumplir con los requisitos de la Sección 18.2 del "AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications" y del "AASHTO M 251", hasta tanto se desarrolle un documento específico al respecto.

Se deben seguir los criterios de aceptación de AASHTO M 251, los cuales:

- Permiten una variación de **±15 por ciento** del valor especificado para el módulo de corte, de acuerdo con el primer y segundo párrafo de este artículo, y

- No permiten un módulo de corte menor que **0,55 MPa**.

Para fines de diseño, el módulo de corte se debe tomar como el más desfavorable de los valores en los intervalos descritos arriba.

Otras propiedades, tales como la flecha por fluencia lenta, se deben obtener de la Tabla 14.7.6.2-1 o de ensayos realizados utilizando AASHTO M 251.

A los efectos del diseño del apoyo, todos los sitios del puente se clasificarán como zonas de temperatura **A, B, C, D** o **E** para las que se proporcionan datos de diseño en la Tabla 14.7.5.2-1.

Los apoyos se deben hacer teniendo en cuenta la clasificación de baja temperatura del elastómero como se define en la Sección 18 del AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications y del AASHTO M 251, hasta tanto se desarrolle un documento específico al respecto. El grado mínimo de elastómero requerido para cada zona de baja temperatura debe ser el que se especifica en la Tabla 14.7.5.2-1.

Se puede usar cualquiera de las tres opciones de diseño listadas a continuación:

- Especificar el elastómero con el grado mínimo de baja temperatura indicado en la Tabla 14.7.5.2-1 y determinar la fuerza de corte transmitida por el apoyo como se especifica en el artículo 14.6.3.1;
- Especificar el elastómero con el grado mínimo de baja temperatura para usarse cuando se incorporan en el diseño disposiciones especiales de fuerza y se proporciona una superficie deslizante de baja fricción, en cuyo caso el puente se debe diseñar para resistir **2 veces** la fuerza de corte de diseño especificada en el artículo 14.6.3.1; o
- Especificar el elastómero con el grado mínimo de baja temperatura para usarse cuando se incorporan en el diseño disposiciones especiales de fuerza pero no se proporciona una superficie deslizante de baja fricción, en cuyo caso los componentes del puente se deben diseñar para resistir **4 veces** la fuerza de corte de diseño como se especifica en el artículo 14.6.3.1.

**Tabla 14.7.5.2-1. Zonas de baja temperatura y grados mínimos de elastómero.**

Zona de baja temperatura	A	B	C	D	E
Temperatura baja de 50 años, °C	-18	-30	-35	-43	< -43
Número máximo de días consecutivos en los cuales la temperatura no sube de 0°C	3	7	14	N/A	N/A
Grado mínimo de baja temperatura del elastómero	0	2	3	4	5
Grado mínimo de baja temperatura del elastómero cuando se incorpora disposiciones especiales de fuerza	0	0	2	3	5

### 14.7.5.3. Requisitos de diseño

### 14.7.5.3.1. Alcance

Los apoyos diseñados con estas disposiciones se deben ensayar de acuerdo con los requisitos para apoyos de elastómero reforzados con acero especificados en el artículo 18.2 del AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications y del AASHTO M 251, hasta tanto se desarrolle un documento específico al respecto.

### 14.7.5.3.2. Deformaciones de corte

El desplazamiento máximo horizontal de la superestructura del puente,  $\Delta_0$ , se debe tomar como el **65 por ciento** del intervalo de movimiento térmico de diseño,  $\Delta_T$ , calculado de acuerdo con el artículo 3.12.2 del Reglamento CIRSOC 801, en combinación con los movimientos generados por fluencia lenta, contracción, y postensado.

La deformación máxima de corte del apoyo, en el estado límite de servicio,  $\Delta_s$ , se debe tomar como  $\Delta_0$  modificada para tener en cuenta la rigidez de la subestructura y los procedimientos de construcción. Si se instala una superficie deslizante de baja fricción,  $\Delta_s$  no se debe tomar mayor que la deformación correspondiente al primer deslizamiento.

El apoyo debe satisfacer:

$$h_{rt} \geq 2 \Delta_s \quad (14.7.5.3.2-1)$$

donde:

$h_{rt}$  espesor total de elastómero, en m.

$\Delta_s$  deformación máxima total de corte del elastómero, de las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en m.

### 14.7.5.3.3. Combinación de compresión, rotación, y corte

Las combinaciones de carga axial, rotación, y corte en el estado límite de servicio deben satisfacer:

$$(\gamma_{a,st} + \gamma_{r,st} + \gamma_{s,st}) + 1,75 (\gamma_{a,cy} + \gamma_{r,cy} + \gamma_{s,cy}) \leq 5,0 \quad (14.7.5.3.3-1)$$

La componente estática de  $\gamma_a$  también debe satisfacer:

$$\gamma_{a,st} \leq 3,0 \quad (14.7.5.3.3-2)$$

donde:

$\gamma_a$  deformación de corte generada por carga axial.

$\gamma_r$  deformación de corte generada por rotación.

$\gamma_s$  deformación de corte generada por desplazamiento de corte.

Los subíndices “*st*” y “*cy*” indican carga estática y cíclica, respectivamente. La carga cíclica debe consistir en cargas inducidas por el tránsito. Todas las demás cargas se pueden considerar estáticas. En apoyos rectangulares, las deformaciones de corte se deben evaluar para rotación alrededor del eje paralelo al eje transversal del puente. Se debe considerar también la evaluación de deformaciones de corte por rotación alrededor del eje paralelo al eje longitudinal del puente. Para apoyos circulares, se deben sumar vectorialmente las rotaciones alrededor de dos ejes principales ortogonales, y las deformaciones de corte se deben evaluar utilizando la suma mayor.

Las deformaciones de corte  $\gamma_a$ ,  $\gamma_r$  y  $\gamma_s$ , se deben establecer por medio de análisis racional, a menos que las siguientes aproximaciones sean aceptables.

La deformación de corte debida a carga axial se puede tomar como:

$$\gamma_a = D_a \frac{\sigma_s}{G S_i} \quad (14.7.5.3.3-3)$$

en la cual, para un apoyo rectangular:

$$D_a = 1,4 \quad (14.7.5.3.3-4)$$

y, para un apoyo circular:

$$D_a = 1,0 \quad (14.7.5.3.3-5)$$

donde:

- $D_a$**  coeficiente adimensional utilizado para determinar la deformación de corte debida a carga axial.
- $G$**  módulo de corte del elastómero, en MPa.
- $S_i$**  factor de forma de la *i*-ésima capa interna de un apoyo elastomérico.
- $\sigma_s$**  tensión promedio de compresión debida a la carga total estática o cíclica de las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en MPa.

La deformación de corte debida a la rotación para un apoyo rectangular se puede tomar como:

$$\gamma_r = D_r \left( \frac{L}{h_{ri}} \right)^2 \frac{\theta_s}{n} \quad (14.7.5.3.3-6)$$

en la cual:

$$D_r = 0,5 \quad (14.7.5.3.3-7)$$

y, para un apoyo circular:

$$\gamma_r = D_r \left( \frac{D}{h_{ri}} \right)^2 \frac{\theta_s}{n} \quad (14.7.5.3.3-8)$$

en la cual:

$$D_r = 0,375 \quad (14.7.5.3.3-9)$$

donde:

- D*** diámetro del apoyo, en m.
- D<sub>r</sub>*** coeficiente adimensional utilizado para determinar la deformación de corte debida a la rotación.
- h<sub>ri</sub>*** espesor de la *i*-ésima capa interna de elastómero, en m.
- L*** dimensión en planta del apoyo perpendicular al eje de rotación bajo estudio (generalmente paralela al eje global longitudinal del puente), en m.
- n*** número de capas interiores de elastómero, donde las capas interiores se definen como aquellas que están adheridas en ambas caras. Las capas exteriores se definen como aquellas que están adheridas en una sola cara. Cuando el espesor de la capa exterior de elastómero es mayor o igual a la mitad del espesor de una capa interior, el parámetro, ***n***, se puede aumentar en un medio para cada capa exterior.
- θ<sub>s</sub>*** ángulo de rotación de diseño del elastómero considerando, en el estado límite de servicio, la carga máxima estática o cíclica, especificado en el artículo 14.4.2.1, en rad.

La deformación de corte debida a la deformación de corte de cualquier apoyo se puede tomar como:

$$\gamma_s = \frac{\Delta_s}{h_{rt}} \quad (14.7.5.3.3-10)$$

donde:

- h<sub>rt</sub>*** espesor total del elastómero, en m.
- Δ<sub>s</sub>*** deformación máxima de corte total estática o cíclica del elastómero, para las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en m.

En cada caso, las componentes estática y cíclica de la deformación de corte se deben considerar por separado y luego combinarlas utilizando la ecuación 14.7.5.3.3-1.

En apoyos con placas de acero adheridas externamente en la parte superior e inferior, el pico de tensión hidrostática debe satisfacer:

$$\sigma_{hyd} \leq 2,25 G \quad (14.7.5.3.3-11)$$

en el cual:

$$\sigma_{hyd} = 3 G S_i^3 \frac{\theta_s}{n} C_\alpha \quad (14.7.5.3.3-12)$$

$$C_\alpha = \frac{4}{3} \left[ \left( \alpha^2 + \frac{1}{3} \right)^{1,5} - \alpha (1 - \alpha^2) \right] \quad (14.7.5.3.3-13)$$

$$\alpha = \frac{\varepsilon_a}{S_i} \frac{n}{\theta_s} \quad (14.7.5.3.3-14)$$

$$\varepsilon_a = \frac{\sigma_s}{3 B_a G S_i^2} \quad (14.7.5.3.3-15)$$

Para apoyos rectangulares:

$$B_a = 1,6 \quad (14.7.5.3.3-16)$$

y, para apoyos circulares:

$$B_a = 1,6 \quad (14.7.5.3.3-17)$$

donde:

$B_a$  coeficiente adimensional utilizado para determinar el pico de tensión hidrostática.

$\varepsilon_a$  deformación axial promedio considerando la totalidad de carga estática y cíclica, tomada positiva para compresión, en la cual la componente cíclica se multiplica por **1,75** para las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801.

$\theta_s$  ángulo de rotación de diseño del elastómero considerando, en el estado límite de servicio, la totalidad de carga máxima estática y cíclica, especificado en el artículo 14.4.2.1 en la cual la componente cíclica se multiplica por **1,75**, en rad.

$\sigma_s$  tensión de compresión promedio considerando la totalidad de carga estática y cíclica, en el cual la componente cíclica se multiplica por **1,75** para las

combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en MPa.

Para valores de  $\alpha$  mayores a un tercio, la tensión hidrostática es de compresión, de manera que la ecuación 14.7.5.3.3-11 se satisface automáticamente y no se necesita más evaluación.

#### 14.7.5.3.4. Estabilidad de apoyos elastoméricos

Se debe analizar la estabilidad de los apoyos para las combinaciones de carga en el estado límite de servicio especificadas en la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801.

Los apoyos que satisfagan la ecuación 14.7.5.3.4-1 se deben considerar estables, y no se requiere más investigaciones al respecto.

$$2 A \leq B \quad (14.7.5.3.4-1)$$

en la cual:

$$A = \frac{1,92 \frac{h_{rt}}{L}}{\sqrt{1 + \frac{2 L}{W}}} \quad (14.7.5.3.4-2)$$

$$B = \frac{2,67}{(S_i + 2) \left(1 + \frac{L}{4 W}\right)} \quad (14.7.5.3.4-3)$$

donde:

- G** módulo de corte del elastómero, en MPa.
- $h_{rt}$**  espesor total del elastómero, en m.
- L** dimensión en planta del apoyo perpendicular al eje de rotación bajo consideración (generalmente paralela al eje global longitudinal del puente), en m.
- $S_i$**  factor de forma de la *i*-ésima capa interna de un apoyo elastomérico.
- W** dimensión en planta del apoyo paralela al eje de rotación bajo consideración (generalmente paralela al eje global transversal del puente), en m.

Para un apoyo rectangular en el cual **L** es mayor que **W**, se debe analizar la estabilidad intercambiando **L** y **W** en las ecuaciones 14.7.5.3.4-2 y 14.7.5.3.4-3.

Para apoyos circulares, se puede analizar la estabilidad utilizando las ecuaciones para un apoyo cuadrado, con **W = L = 0,8 · D**.

Para apoyos rectangulares que no satisfagan la ecuación 14.7.5.3.4-1, la tensión debida a la carga total debe satisfacer la ecuación 14.7.5.3.4-4 o 14.7.5.3.4-5.

- Si el tablero del puente es libre de trasladarse horizontalmente:

$$\sigma_s \leq \frac{G S_i}{2 A - B} \quad (14.7.5.3.4-4)$$

- Si el tablero del puente es fijo contra traslación horizontal:

$$\sigma_s \leq \frac{G S_i}{A - B} \quad (14.7.5.3.4-5)$$

#### 14.7.5.3.5. Refuerzo

El espesor mínimo del refuerzo de acero,  $h_s$ , debe ser **0,0015 m**, como se especifica en el artículo 4.5 del AASHTO M 251, hasta tanto se desarrolle un documento específico al respecto.

El espesor del refuerzo de acero,  $h_s$ , debe satisfacer:

- En el estado límite de servicio:

$$h_s \geq \frac{3 h_{ri} \sigma_s}{F_y} \quad (14.7.5.3.5-1)$$

- En el estado límite de fatiga:

$$h_s \geq \frac{2 h_{ri} \sigma_L}{\Delta F_{TH}} \quad (14.7.5.3.5-2)$$

donde:

$\Delta F_{TH}$  umbral de fatiga de amplitud constante para la Categoría **A** como se especifica en el artículo 6.6 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación), en MPa.

$h_{ri}$  espesor de la  $i$ -ésima capa interna del elastómero, en m.

$\sigma_L$  tensión promedio de compresión en el estado límite de servicio (factor de carga = **1,0**) debida a la sobrecarga, en MPa.

$\sigma_s$  tensión promedio de compresión debida a la carga total de las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en MPa.

$F_y$  tensión de fluencia del refuerzo de acero, en MPa.

Si existen agujeros en el refuerzo, el espesor mínimo se debe incrementar por un factor igual a **2 veces** el ancho bruto dividido por el ancho neto.

#### 14.7.5.3.6. Deformación por compresión

Las flechas en los apoyos elastoméricos debido a la carga permanente y la sobrecarga instantánea solo se deben considerar por separado.

Las cargas consideradas en este artículo deben estar en el estado límite de servicio con todos los factores de carga iguales a **1,0**.

La flecha por sobrecarga instantánea se debe tomar como:

$$\delta_L = \sum \varepsilon_{Li} h_{ri} \quad (14.7.5.3.6-1)$$

donde:

$\varepsilon_{Li}$  deformación por compresión de sobrecarga instantánea en la i-ésima capa del elastómero.

$h_{ri}$  espesor de la i-esima capa del elastómero, en m.

La flecha inicial por carga permanente se debe tomar como:

$$\delta_d = \sum \varepsilon_{di} h_{ri} \quad (14.7.5.3.6-2)$$

donde:

$\varepsilon_{di}$  deformación inicial por compresión de carga permanente en la i-ésima capa del elastómero.

$h_{ri}$  espesor de la i-ésima capa del elastómero, en m.

La flecha a largo plazo por carga permanente, incluyendo los efectos por fluencia lenta, se debe tomar como:

$$\delta_{lt} = \delta_d + a_{cr} \delta_d \quad (14.7.5.3.6-3)$$

donde:

$a_{cr}$  flecha generada por la fluencia lenta dividida por la flecha inicial generada por la carga permanente.

Los valores para  $\varepsilon_{Li}$  y  $\varepsilon_{di}$  se deben determinar a partir de resultados de ensayos o de análisis. Los efectos de la fluencia lenta se deben determinar de información relevante del compuesto elastomérico utilizado. Si el Proyectista Estructural no elige obtener un valor para la relación,  $a_{cr}$ , de los resultados de ensayos utilizando el Anexo A2 del AASHTO M 251, puede utilizar los valores de la Tabla 14.7.6.2-1.

#### 14.7.5.3.7. Disposiciones ante eventos sísmicos y otros eventos extremos

Los apoyos elastoméricos de expansión se deben proveer con anclajes resistentes a sismos y a otros eventos extremos, para resistir las fuerzas horizontales en exceso de las resistidas por corte en la almohadilla, a menos que el apoyo se diseñe para actuar como un fusible o que se permita el daño irreparable. La placa de asiento y la placa de base se deben hacer más anchas para disponer los bulones de anclaje. No se debe permitir insertos a través del elastómero, a menos que el Proyectista Estructural los apruebe. Los bulones de anclaje se deben diseñar para el efecto combinado de flexión y corte para cargas sísmicas y de otros eventos extremos como se especifica en el artículo 14.6.5.3. Los apoyos elastoméricos fijos se deben proveer con restricción horizontal adecuada para toda la carga horizontal.

#### 14.7.5.4. Anclaje para apoyos sin placas externas adheridas

En apoyos sin placas externas de acero adheridas, se debe utilizar un sistema de restricción para asegurar el apoyo contra el movimiento horizontal si:

$$\frac{\theta_s}{n} \geq \frac{3 \varepsilon_a}{S_i} \quad (14.7.5.4-1)$$

donde:

- $n$**  número de capas interiores de elastómero, donde las capas interiores se definen como aquellas que están adheridas en ambas caras. Las capas exteriores se definen como aquellas que están adheridas en una sola cara. Cuando el espesor de la capa exterior de elastómero es mayor o igual a la mitad del espesor de una capa interior, el parámetro,  **$n$** , se puede aumentar en un medio para cada capa exterior.
- $S_i$**  factor de forma de la  $i$ -ésima capa interna del apoyo elastomérico.
- $\varepsilon_a$**  deformación axial promedio considerando la totalidad de carga estática y cíclica, tomada positiva para compresión, en la cual la componente cíclica se multiplica por **1,75** en las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801.
- $\theta_s$**  ángulo de rotación de diseño del elastómero considerando, en el estado límite de servicio, la totalidad de carga máxima estática y cíclica, especificado en el artículo 14.4.2.1 en la cual la componente cíclica se multiplica por **1,75**, en rad.

### 14.7.6. Almohadillas elastoméricas y apoyos elastoméricos reforzados con acero – Método A

#### 14.7.6.1. General

Las disposiciones de este artículo se aplicarán para el diseño de:

- Almohadillas de elastómero simples, PEP;

- Almohadillas reforzadas con capas discretas de fibra de vidrio, FGP;
- Apoyos elastoméricos reforzados con acero en los cuales  $S_i^2/n < 22$ , y para los cuales la rotación principal es alrededor del eje paralelo al eje transversal del puente; y
- Almohadilla con fibras de algodón (CDP) con capas estrechamente separadas de fibra de algodón, fabricadas y ensayadas bajo compresión de acuerdo con "Military Specifications MIL-C-882E" excepto donde se sustituyan por este Reglamento.

donde:

***n*** número de capas interiores de elastómero, donde las capas interiores se definen como aquellas que están adheridas en ambas caras. Las capas exteriores se definen como aquellas que están adheridas en una sola cara. Cuando el espesor de la capa exterior de elastómero es mayor o igual a la mitad del espesor de una capa interior, el parámetro, ***n***, se puede aumentar en un medio para cada capa exterior.

***S<sub>i</sub>*** factor de forma de la *i*-ésima capa interior del apoyo elastomérico.

Los espesores de las capas en FGP pueden ser diferentes entre ellos. Para los apoyos elastoméricos reforzados con acero diseñados de acuerdo con las disposiciones de este Capítulo, las capas internas deben ser del mismo espesor, y las capas de cubierta deben tener no más del **70 por ciento** del espesor de las capas internas.

El factor de forma para almohadillas de PEP, FGP y apoyos elastoméricos reforzados con acero cubiertos por este artículo, se debe determinar como se especifica en el artículo 14.7.5.1. El factor de forma para CDP se debe basar en el espesor total de la almohadilla.

#### **14.7.6.2. Propiedades de los materiales**

Los materiales de tipo elastomérico para PEP, FGP, y apoyos elastoméricos reforzados con acero deben satisfacer los requisitos del artículo 14.7.5.2, excepto como se indica a continuación:

- La dureza en la escala Shore **A** se puede usar como base para especificar el material del apoyo,
- El módulo especificado de corte para PEP, FGP y apoyos elastoméricos reforzados con acero con una superficie deslizante de PTFE, o equivalente, encima del apoyo debe estar entre **0,55 MPa** y **1,72 MPa**, o la dureza nominal debe estar entre **50** y **70** en la escala Shore **A**, y
- El módulo especificado de corte para apoyos elastoméricos reforzados con acero sin una superficie deslizante de PTFE, o equivalente, encima del apoyo diseñado de acuerdo con las disposiciones del artículo 14.7.6 debe estar entre **0,55 MPa** y **1,21 MPa**, o la dureza nominal debe estar entre **50** y **60** en la escala Shore **A**.

Las PEP, FGP y los apoyos elastoméricos reforzados con acero, con o sin una superficie deslizante de PTFE o equivalente encima del apoyo, deben cumplir con los requisitos del artículo 18.2 del AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications y AASHTO M 251, hasta tanto se desarrolle un documento específico al respecto. Si el material se especifica por su dureza, el módulo de corte para propósitos de diseño se debe tomar como el valor menos favorable del intervalo para esa dureza dado en la Tabla 14.7.6.2-1. Se pueden obtener valores intermedios por medio de interpolación. Si el material se especifica por el módulo de corte se debe tomar, para propósitos de diseño, el menos favorable de los valores especificados de acuerdo con los intervalos dados en el artículo 14.7.5.2. Otras propiedades, tales como flechas por fluencia lenta, también se dan en la Tabla 14.7.6.2-1.

La fuerza de corte sobre la estructura inducida por la deformación del elastómero en PEP, FGP y apoyos elastoméricos reforzados con acero se debe basar en un valor de **G** no menor que el del elastómero a **23°C**. Se deben ignorar los efectos de la relajación.

Las CDP se deben fabricar de acuerdo con Military Standards MIL-C-882E, excepto donde las disposiciones de este Reglamento sustituyan aquellas. Los materiales de tipo elastomérico para las CDP deben tener una dureza nominal entre **50** y **70** en la escala Shore **A** y cumplir los requisitos del artículo 14.7.5.2, según corresponda. Las CDP terminadas deben tener una dureza nominal entre **85** y **95** en la escala Shore **A**. El módulo de corte para las CDP se puede estimar utilizando la ecuación 14.7.6.3.4-3. El refuerzo de fibra de algodón puede ser de **2 capas** de hilo de algodón o de una capa sencilla de una mezcla **50-50** de algodón y poliéster. La tela debe tener una resistencia mínima a la tracción de **26 kN/m** a lo ancho, cuando se ensaye por el método del agarre (“grab method”). El relleno debe ser de **1600 ± 80 hilos por m**, y el entorchado debe ser **2000 ± 40 hilos por m**. Las disposiciones para las CDP incluidas aquí se deben tomar como aplicables solamente a almohadillas de apoyo de hasta **50 mm** de espesor total.

**Tabla 14.7.6.2-1. Propiedades físicas correlacionadas.**

	Dureza (Shore A)		
	50	60	70 <sup>1</sup>
Módulo de corte a 23°C [MPa]	0,66 – 0,90	0,90 – 1,38	1,38 – 2,07
Flecha por fluencia lenta a 25 años dividida por la flecha inicial	0,25	0,35	0,45

<sup>1</sup> Solo para PEP, FGP, y apoyos elastoméricos reforzados con acero con una superficie deslizante de PTFE, o equivalente, encima del apoyo.

### 14.7.6.3. Requisitos de diseño

#### 14.7.6.3.1. Alcance

Los apoyos elastoméricos reforzados con acero se pueden diseñar de acuerdo con este artículo, en cuyo caso califican para los requisitos de ensayo apropiados para almohadillas elastoméricas. Para este propósito, se deben tratar como FGP.

Las disposiciones para FGP aplican solamente a almohadillas donde la fibra de vidrio se coloca en capas dobles separadas **3 mm**.

Las propiedades físicas del neopreno y del caucho natural utilizado en estos apoyos deben cumplir con AASHTO M 251, hasta tanto se desarrolle un documento específico al respecto.

#### 14.7.6.3.2. Tensiones de compresión

En el estado límite de servicio, las tensiones promedio de compresión,  $\sigma_s$  y  $\sigma_L$ , en cualquier capa, deben satisfacer:

- Para PEP:

$$\sigma_s \leq 1,00 G S \quad (14.7.6.3.2-1)$$

y

$$\sigma_s \leq 5,5 \text{ MPa} \quad (14.7.6.3.2-2)$$

- Para FGP:

$$\sigma_s \leq 1,25 G S_i \quad (14.7.6.3.2-3)$$

y

$$\sigma_s \leq 6,9 \text{ MPa} \quad (14.7.6.3.2-4)$$

- Para CDP:

$$\sigma_s \leq 20,7 \text{ MPa} \quad (14.7.6.3.2-5)$$

y

$$\sigma_L \leq 13,8 \text{ MPa} \quad (14.7.6.3.2-6)$$

donde:

$\sigma_s$  tensión promedio de compresión debida a la carga total de las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en MPa.

$S$  factor de forma para PEP.

$\sigma_L$  tensión promedio de compresión en el estado límite de servicio (factor de carga = **1,0**) debido a la sobrecarga, en MPa.

En FGP, el valor utilizado de  $S_i$  se debe basar en un espesor de capa  $h_{ri}$ , que iguale la mayor distancia entre los puntos medios de dos capas dobles de refuerzo de fibra de vidrio.

Para apoyos de elastómero reforzados con acero diseñados de acuerdo con las disposiciones de este artículo:

$$\sigma_s \leq 1,25 G S_i \quad (14.7.6.3.2-7)$$

y

$$\sigma_s \leq 8,6 \text{ MPa} \quad (14.7.6.3.2-8)$$

Donde el valor de  $S_i$  utilizado debe ser el de una capa interna del apoyo.

Estos límites de tensión se pueden aumentar un **10 por ciento** cuando se prevenga la deformación por corte.

En FGP, el valor utilizado de  $S_i$  se debe basar en un espesor de capa  $h_{ri}$  que iguale la mayor distancia entre puntos medios de dos capas dobles de refuerzo de fibra de vidrio.

#### 14.7.6.3.3. Deformación por compresión

En adición a las disposiciones del artículo 14.7.5.3.6, también se debe aplicar lo siguiente.

En lugar de usar datos específicos del producto, la flecha por compresión del FGP se debe tomar como **1,5 veces** la flecha estimada para apoyos reforzados con acero con el mismo factor de forma del artículo 14.7.5.3.6.

La flecha por compresión bajo sobrecarga instantánea y carga permanente inicial del PEP o de una capa interna de un apoyo elastomérico reforzado con acero en el estado límite de servicio sin impacto no debe exceder **0,09· $h_{ri}$** , donde  $h_{ri}$  es el espesor del PEP, o el espesor de una capa interna del apoyo elastomérico reforzado con acero, en m.

Para CDP, la deformación de compresión calculada,  $\varepsilon_s$ , se puede tomar como:

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_c} \quad (14.7.6.3.3-1)$$

donde:

$E_c$  rigidez uniaxial de compresión de la almohadilla de apoyo CDP. Se puede tomar como **207 MPa** en lugar de datos de ensayos específicos de la almohadilla, en MPa.

$\sigma_s$  tensión promedio de compresión debida a la carga total de las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en MPa.

#### 14.7.6.3.4. Corte

El desplazamiento máximo horizontal de la superestructura se debe calcular de acuerdo con el artículo 14.4. La deformación máxima de corte de la almohadilla en el estado límite

de servicio,  $\Delta_s$ , se debe tomar como el desplazamiento máximo horizontal de la superestructura, reducido para tener en cuenta la flexibilidad de la pila y modificado para los procedimientos de construcción. Si se utiliza una superficie de deslizamiento de baja fricción,  $\Delta_s$  no necesita ser tomada mayor que la deformación correspondiente al deslizamiento inicial.

Se deben aplicar las disposiciones del artículo 14.7.5.3.2, excepto que la almohadilla se debe diseñar como sigue:

- Para PEP, FGP y apoyos elastoméricos reforzados con acero:

$$h_{rt} \geq 2 \Delta_s \quad (14.7.6.3.4-1)$$

- Para CDP:

$$h_{rt} \geq 10 \Delta_s \quad (14.7.6.3.4-2)$$

donde:

$h_{rt}$  menor espesor total del elastómero o del apoyo, en m.

$\Delta_s$  deformación máxima total de corte del apoyo para las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en m.

El módulo de corte,  $G$ , del CDP para determinar la fuerza en el apoyo, del artículo 14.6.3.1, se puede estimar conservadoramente como:

$$G = 2 \sigma_s \geq 14 \text{ MPa} \quad (14.7.6.3.4-3)$$

donde:

$\sigma_s$  tensión promedio de compresión debido a la carga total de las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en MPa.

#### 14.7.6.3.5. Rotación

##### 14.7.6.3.5a. General

Las disposiciones de estos artículos se deben aplicar en el estado límite de servicio. Las rotaciones se deben tomar como la suma máxima de los efectos de la falta inicial de paralelismo y la rotación subsecuente del extremo de la viga, debida a las cargas y a los movimientos impuestos. La tensión debe ser la máxima tensión asociada con las condiciones de carga que inducen la rotación máxima.

#### 14.7.6.3.5b. Rotación en apoyos tipo “Cotton-Duck Pad – CDP”

La deformación máxima de compresión, debida a la combinación de compresión y rotación del CDP en el estado límite de servicio,  $\varepsilon_t$ , no debe exceder:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_c + \frac{\theta_s L}{2 t_p} < 0,20 \quad (14.7.6.3.5b-1)$$

donde:

$$\varepsilon_c = \frac{\sigma_s}{E_c} \quad (14.7.6.3.5b-2)$$

La rotación máxima se debe limitar a:

$$\theta_s \leq 0,80 \frac{2 t_p \varepsilon_c}{L} \quad (14.7.6.3.5b-3)$$

y

$$\theta_L \leq 0,20 \frac{2 t_p \varepsilon_c}{L} \quad (14.7.6.3.5b-4)$$

donde:

- $E_c$  rigidez uniaxial de compresión de la almohadilla de apoyo CDP. Se puede tomar como **207 MPa** en lugar de datos de ensayos específicos de la almohadilla, en MPa.
- $L$  longitud de la almohadilla de apoyo CDP en el plano de la rotación, en m.
- $t_p$  espesor total de la almohadilla de CDP, en m.
- $\varepsilon_c$  deformación máxima uniaxial debida a compresión bajo la carga total de las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801.
- $\varepsilon_t$  deformación máxima uniaxial debida a la combinación de compresión y rotación de las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801.
- $\sigma_s$  tensión promedio de compresión debida a la carga total asociada con la rotación máxima de las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en MPa.
- $\theta_L$  rotación máxima de la almohadilla de CDP en el estado límite de servicio (factor de carga = **1,0**) debido a la sobrecarga, en rad.

$\theta_s$  rotación máxima de la almohadilla de CDP de las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en rad.

#### 14.7.6.3.6. Estabilidad

Para garantizar la estabilidad, el espesor total de la almohadilla no debe exceder el menor valor entre  $L/3$ ,  $W/3$ , o  $D/4$ .

donde:

$L$  dimensión en planta del apoyo, perpendicular al eje de rotación bajo consideración (generalmente paralela al eje global longitudinal del puente), en m.

$W$  dimensión en planta del apoyo, paralela al eje de rotación bajo consideración (generalmente paralela al eje global transversal del puente), en m.

$D$  diámetro de la almohadilla, en m.

#### 14.7.6.3.7. Refuerzo

El refuerzo en FGP debe ser fibra de vidrio con una resistencia en cada dirección en planta de por lo menos  $15170 \cdot h_{ri}$ , en kN/m.

Para los fines de este artículo, si las capas de elastómero son de espesores diferentes,  $h_{ri}$  se debe tomar como el espesor medio de las dos capas de elastómero adheridas al mismo refuerzo. Si el refuerzo de fibra de vidrio contiene agujeros, su resistencia se debe aumentar sobre el valor mínimo aquí especificado en **dos veces** el ancho bruto dividido por el ancho neto.

El refuerzo para apoyos elastoméricos reforzados con acero, diseñado de acuerdo con las disposiciones de este artículo, debe cumplir con los requisitos del artículo 14.7.5.3.5.

#### 14.7.6.3.8. Disposiciones ante eventos sísmicos y otros eventos extremos

Los apoyos de expansión diseñados de acuerdo con el artículo 14.7.6 se deben proveer con anclajes adecuados resistentes a sismos y a otros eventos extremos para resistir las fuerzas horizontales en exceso de las toleradas por corte en la almohadilla, a menos que el apoyo se haya diseñado como un fusible o que se permita el daño irreparable. También se debe aplicar las disposiciones del artículo 14.7.5.3.7.

#### 14.7.7. Superficies deslizantes de bronce o aleación de cobre

##### 14.7.7.1. Materiales

El bronce o aleación de cobre se puede usar para:

- Superficies deslizantes planas para dar cabida a movimientos de traslación,

- Superficies deslizantes curvas para dar cabida a traslación y rotación limitada, y
- Pasadores o cilindros para bujes de ejes de apoyos de balancines u otros apoyos con grandes rotaciones.

Las superficies deslizantes o piezas fundidas de bronce deben cumplir con AASHTO M 107 (ASTM B22) y se deben hacer con Aleación C90500, C91100, o C86300, a menos que se especifique otra cosa. La superficie de unión debe ser de acero estructural, con un valor de dureza Brinell de por lo menos **100 puntos** mayor a la del bronce.

Los apoyos deslizantes de expansión de bronce o aleación de cobre se deben evaluar para capacidad a corte y estabilidad bajo cargas laterales.

La superficie de unión debe estar hecha de acero y fabricada para ajustarse a la geometría de la superficie de bronce de manera que proporcione apoyo y contacto uniformes.

#### 14.7.7.2. Coeficiente de fricción

El coeficiente de fricción se puede determinar por medio de ensayos. En lugar de dichos datos de ensayos, el coeficiente de fricción de diseño se puede tomar como **0,1** para componentes autolubricantes de bronce y **0,4** para otros tipos.

#### 14.7.7.3. Límite de carga

El esfuerzo nominal de apoyo, debido a la combinación de carga permanente y sobrecarga en el estado límite de servicio, no debe exceder los valores dados en la Tabla 14.7.7.3-1.

**Tabla 14.7.7.3-1. Esfuerzo del apoyo en el estado límite de servicio.**

AASHTO M 107 (ASTM B22) Aleación de bronce	Esfuerzo del apoyo [MPa]
C90500 – Tipo 1	14
C91100 – Tipo 2	14
C86300 – Tipo 3	55

#### 14.7.7.4. Holguras y superficies de unión

La superficie de unión debe ser de acero, fabricada con precisión para ajustarse a la geometría de la superficie de bronce y proporcionar apoyo y contacto uniformes.

#### 14.7.8. Apoyos de disco

##### 14.7.8.1. General

Las dimensiones de los elementos de un apoyo de disco deben ser tales que, bajo la combinación más desfavorable de desplazamientos y rotaciones de diseño en el estado límite de resistencia, no vaya a presentarse contacto severo entre los componentes metálicos, el cual impide ampliamente el desplazamiento o la rotación.

El apoyo de disco se debe diseñar para la rotación máxima de diseño en el estado límite de resistencia,  $\theta_u$ , especificada en el artículo 14.4.2.2.2.

Con el fin de establecer las fuerzas y las deformaciones impuestas sobre un apoyo de disco, el eje de rotación se puede tomar en el plano horizontal, a la mitad de la altura del disco. El disco de uretano se debe mantener en su sitio por medio de un dispositivo de ubicación efectiva.

Se pueden utilizar anillos limitantes para confinar parcialmente el elastómero contra la expansión lateral. Pueden consistir en anillos de acero soldados a las placas superiores e inferiores o en una depresión circular en cada una de esas placas.

Si se usa un anillo limitante, el espesor del anillo debe ser, por lo menos,  $0,03 \cdot D_d$ , donde  $D_d$  es el diámetro del disco.

#### 14.7.8.2. Materiales

El disco elastomérico debe estar hecho de un compuesto basado en poliuretano, utilizando solamente materiales vírgenes. La dureza debe estar entre **45** y **65** en la escala Shore **D**.

Los componentes metálicos del apoyo deben estar hechos de acero estructural que cumpla con AASHTO M 270M/M 270 (ASTM A709/A709M), Grado 36, 50, o 50W o de acero inoxidable que cumpla con ASTM A240, hasta tanto se desarrolle un documento específico al respecto.

#### 14.7.8.3. Disco elastomérico

El disco elastomérico se debe mantener en su sitio por medio de un dispositivo de ubicación efectiva.

En el estado límite de servicio, el disco se debe diseñar para que:

- Su flecha instantánea bajo carga total no exceda el **10 por ciento** del espesor del disco sin esfuerzo, y la flecha adicional debida a la fluencia lenta no exceda el **8 por ciento** del espesor del disco sin esfuerzo;
- Los componentes del apoyo no se levanten entre ellos en ningún lugar; y
- La tensión promedio de compresión en el disco no exceda **34,5 MPa**. Si la superficie exterior del disco no es vertical, la tensión se debe calcular utilizando la menor área en planta del disco.

Si se usa una superficie deslizante de PTFE, los esfuerzos sobre dicha superficie deslizante de PTFE no deben exceder los valores para los esfuerzos promedio y de borde dados en el artículo 14.7.2.4 para el estado límite de servicio. El efecto de los momentos inducidos por el disco de uretano se debe incluir en el análisis de esfuerzos.

#### 14.7.8.4. Mecanismo de resistencia al corte

En apoyos fijos y guiados, se debe proporcionar un mecanismo de resistencia a corte para transmitir las fuerzas horizontales entre las placas de acero superior e inferior. Debe ser

capaz de resistir una fuerza horizontal en cualquier dirección igual a la mayor entre la fuerza de corte de diseño en los estados límite de resistencia y de evento extremo o el **15 por ciento** de la carga vertical de diseño en el estado límite de servicio.

La holgura horizontal de diseño entre los componentes superior e inferior del mecanismo de resistencia al corte no debe exceder el valor para las barras guía dado en el artículo 14.7.9.

#### 14.7.8.5. Placas de acero

Se deben aplicar las disposiciones de los Capítulos 3 y 4 del Reglamento CIRSOC 801, y 6 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación), según corresponda.

El espesor de cada una de las placas de acero superior e inferior no debe ser menor que  $0,045 \cdot D_d$ , donde  $D_d$  es el diámetro del disco, si está en contacto directo con una viga de acero o una placa de distribución, o  $0,06 \cdot D_d$  si se apoya directamente sobre mortero u hormigón.

#### 14.7.9. Guías y restricciones

##### 14.7.9.1. General

Se pueden usar guías para prevenir el movimiento en una dirección. Se puede utilizar restricciones para permitir solamente el movimiento limitado en una o más direcciones. Las guías y las restricciones deben ser de un material de baja fricción en sus superficies deslizantes de contacto.

##### 14.7.9.2. Cargas de diseño

Las guías o las restricciones se deben diseñar en el estado límite de resistencia para:

- la fuerza horizontal de las combinaciones de carga de resistencia aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, pero no se debe tomar menor que:
- el **15 por ciento** de la fuerza total vertical de las combinaciones de carga de servicio aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801 que actúe sobre todos los apoyos del pórtico, dividida por el número de apoyos guiados en dicho pórtico.

Las guías y las restricciones se deben diseñar para las fuerzas sísmicas o de otros eventos extremos aplicables utilizando las combinaciones de carga del estado límite de evento extremo de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801 y, en el caso de fuerza sísmica, las disposiciones del artículo 3.10.9 del Reglamento INPRES-CIRSOC 103 - Parte VI - 2020 - Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes - Puentes de Hormigón Armado.

##### 14.7.9.3. Materiales

Para apoyos de acero, la guía o la restricción se deben hacer con acero que cumpla con AASHTO M 270M/M 270 (ASTM A709/A709M), Grados 36, 50, o 50W o acero inoxidable que cumpla con ASTM A240, hasta tanto se desarrolle un documento específico al respecto. Para apoyos de aluminio, la guía puede también ser de aluminio.

El material de baja fricción de la interfaz debe ser aprobado por el Proyectista Estructural.

#### **14.7.9.4. Requisitos geométricos**

Las guías deben ser paralelas, suficientemente largas para acomodar todo el desplazamiento de diseño del apoyo en la dirección del deslizamiento y, en la dirección restringida, deben permitir un deslizamiento libre mínimo de **0,8 mm** y máximo de **1,6 mm**. Las guías se deben diseñar para evitar el bloqueo bajo todas las cargas y los desplazamientos de diseño, incluyendo la rotación.

#### **14.7.9.5. Bases de diseño**

##### **14.7.9.5.1. Localización de la carga**

Se debe suponer que la fuerza horizontal, aplicada sobre la guía o la restricción, actúa en el baricentro del material de baja fricción de la interfaz. El diseño de la conexión, entre la guía o la restricción y el cuerpo del sistema de apoyo, debe considerar tanto el corte como el momento de vuelco que se produce.

El diseño y el detalle de los componentes del apoyo que resisten las cargas laterales, incluyendo cargas sísmicas y de otros eventos extremos, determinadas como se especifica en el artículo 14.6.3.1, deben proporcionar adecuada resistencia y ductilidad. Las barras guía y los anillos o tuercas de guarda en los extremos de los pasadores y dispositivos similares deben ser diseñados para resistir todas las cargas impuestas o en su defecto se debe proveer una trayectoria de carga alternativa que funcione antes de que el movimiento relativo entre la subestructura y la superestructura sea excesivo.

##### **14.7.9.5.2. Esfuerzo de contacto**

El esfuerzo de contacto sobre el material de baja fricción no debe exceder el recomendado por el fabricante. Para PTFE, los esfuerzos en el estado límite de servicio no deben exceder los especificados en la Tabla 14.7.2.4-1 para carga sostenida o **1,25 veces** los esfuerzos para cargas de corta duración.

##### **14.7.9.6. Fijación del material de baja fricción**

El material de baja fricción se debe fijar por medio de, por lo menos, dos de los siguientes tres métodos:

- fijación mecánica,
- adhesivo, y
- entrelazado mecánico con el sustrato metálico.

#### **14.7.10. Otros sistemas de apoyo**

Se puede también utilizar sistemas de apoyo hechos con componentes no especificados en los artículos 14.7.1 a 14.7.9, con la previa aprobación del Proyectista Estructural. Dichos apoyos deben ser adecuados para resistir las fuerzas y las deformaciones impuestas sobre ellos en los estados límite de servicio y de resistencia sin daño del

material y sin inducir deformaciones perjudiciales a su funcionamiento apropiado. En el estado límite de evento extremo, el Propietario puede permitir apoyos que se diseñen para actuar como fusibles o para sufrir daños irreparables, siempre y cuando se evite la pérdida del tramo.

Las dimensiones del apoyo se escogerán para proporcionar movimientos adecuados en todo momento. Los materiales tendrán suficiente resistencia, rigidez, y resistencia a la fluencia lenta y al deterioro para asegurar el funcionamiento apropiado del apoyo a lo largo de la vida de diseño del puente.

El Proyectista Estructural determinará los ensayos que el apoyo debe satisfacer. Los ensayos se diseñarán para demostrar cualquier debilidad potencial en el sistema bajo carga individual de compresión, corte, rotación o combinaciones de las mismas. Se requerirán ensayos bajo carga sostenida y carga cíclica.

## 14.8. PLACAS DE CARGA Y ANCLAJES PARA APOYOS

### 14.8.1. Placas para distribución de carga

El apoyo, junto con cualquier placa adicional, se debe diseñar de manera que:

- el sistema combinado sea suficientemente rígido para prevenir distorsiones del apoyo que impedirían su funcionamiento apropiado cuando se someta a cargas en los estados límite de servicio y de resistencia, y cargas en el estado límite de evento extremo, cuando así se requiera;
- los esfuerzos impuestos sobre la estructura de apoyo satisfagan los límites especificados por el Proyectista Estructural y por los Capítulos 5 del Reglamento CIRSOC 802 o 6 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación); y
- el apoyo se pueda reemplazar dentro de los límites de altura de gateo especificados por el Proyectista Estructural sin dañar el apoyo, las placas de distribución, o a la estructura de apoyo. Si no hay límite establecido, se usará una altura de **9,5 mm**.

La resistencia de los componentes de acero se debe determinar de acuerdo con el Capítulo 6 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación).

En lugar de un análisis más refinado, se puede suponer que la carga de un apoyo completamente soportado por un mortero de asiento se distribuye con una pendiente de **1,5:1**, horizontal a vertical, desde el borde del elemento más pequeño del apoyo que resiste la carga de compresión.

El uso y el diseño de rigidizadores del apoyo sobre vigas de acero deben cumplir con el Capítulo 6 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación).

Las conexiones de placas de solado y placas de base deben ser adecuadas para resistir cargas laterales en el estado límite de resistencia. Estas conexiones también deben ser adecuadas para resistir las máximas cargas sísmicas y cargas laterales de otros eventos extremos, a menos que los apoyos se diseñen para actuar como fusibles o para sufrir

daños irreparables. Las placas de solado se deben extender para permitir los insertos de los bulones de anclaje, cuando se requieran.

#### **14.8.2. Placas de espesor variable**

Si, bajo la carga permanente completa a la temperatura media anual para el sitio del puente (en el estado límite de servicio con todos los factores iguales a **1,0**), la inclinación de la cara inferior de la viga con respecto a la horizontal excede **0,01 rad**, se debe utilizar una placa de espesor variable con el fin de proporcionar una superficie nivelada.

#### **14.8.3. Anclaje y bulones de anclaje**

##### **14.8.3.1. General**

Todas las placas de distribución de carga y apoyos con placas de acero externas deben estar extremadamente aseguradas a sus elementos asociados de la superestructura o subestructura por medio de bulones o de soldadura.

Todas las vigas deben estar extremadamente aseguradas a los apoyos de soporte por medio de una conexión que pueda resistir las fuerzas horizontales que se le puedan imponer, a menos que se permita el funcionamiento tipo fusible o el daño irreparable en el estado límite de evento extremo. No se debe permitir la separación de los componentes del apoyo en el estado límite de resistencia. Las conexiones deben resistir la combinación más desfavorable de cargas en el estado límite de resistencia y se deben instalar donde se considere necesario para prevenir la separación.

Los reticulados, vigas, y vigas laminadas se deben anclar de forma segura a la subestructura. Cuando sea posible, los bulones de anclaje se deben colocar directamente en el hormigón de la subestructura, de lo contrario éstos se pueden anclar por inyección de pasta de cemento en el lugar. Los bulones de anclaje pueden ser con hendiduras o roscados para asegurar un agarre satisfactorio contra el material utilizado para embeberlos en los huecos.

La resistencia de los bulones de anclaje debe ser adecuada para las cargas en el estado límite de resistencia y para las cargas máximas en el estado límite de evento extremo, a menos que los apoyos se diseñen para actuar como fusibles o para sufrir daños irreparables.

La resistencia a tracción de los bulones de anclaje se debe determinar como se especifica en el artículo 6.13.2.10.2 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación).

La resistencia al corte de los bulones de anclaje y de los pasadores se debe determinar como se especifica en el artículo 6.13.2.12 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación).

La resistencia de los bulones de anclaje a corte y tracción, combinadas, se debe determinar como se especifica en el artículo 6.13.2.11 del Reglamento CIRSOC 803 (en preparación).

La resistencia al aplastamiento del hormigón se debe tomar como se especifica en el artículo 5.7.5 del Reglamento CIRSOC 802. El factor de modificación, **m**, se debe basar en un esfuerzo de aplastamiento no distribuido uniformemente.

#### **14.8.3.2. Eventos sísmicos y otros eventos extremos – Requisitos de diseño y detallado**

Se deben proporcionar suficientes refuerzos alrededor de los bulones de anclaje para desarrollar el nivel de fuerzas horizontales consideradas en el estado límite de evento extremo y anclarlos en la masa del elemento de la subestructura. Se deben identificar las superficies potenciales de fisuración del hormigón al lado de los anclajes del apoyo y se debe evaluar su capacidad de fricción de corte, según sea necesario.

#### **14.9. PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN**

Todas las partes expuestas del acero de los apoyos, que no sean de acero inoxidable, se deben proteger contra la corrosión mediante metalización de zinc, galvanizado por inmersión en caliente, o un sistema de pintura aprobado por el Proyectista Estructural. Se puede utilizar una combinación de metalizado de zinc, o galvanizado por inmersión en caliente, y un sistema de pintura.

#### **ANEXO A. DISPOSITIVOS DE APOYO – PARTE DE LA SECCIÓN 18 DEL AASHTO LRFD BRIDGE CONSTRUCTION SPECIFICATIONS (2010)**

Ver en los Comentarios.

**INTI**

INSTITUTO NACIONAL DE  
TECNOLOGÍA INDUSTRIAL



**CIRSOC**

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LOS  
REGLAMENTOS NACIONALES DE  
SEGURIDAD PARA LAS OBRAS CIVILES