

Reglamento CIRSOC 804
Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda
Secretaría de Planificación Territorial y
Coordinación de Obra Pública

INTI

Instituto Nacional de
Tecnología Industrial



CIRSOC

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



COMENTARIOS AL
REGLAMENTO ARGENTINO
PARA EL DISEÑO DE
PUENTES CARRETEROS
Juntas y Apoyos

Diciembre 2019

**A Discusión
Pública Nacional**

**COMENTARIOS AL
PROYECTO DEL REGLAMENTO
ARGENTINO PARA EL DISEÑO
DE PUENTES CARRETEROS**

Juntas y Apoyos

EDICIÓN DICIEMBRE 2019



**Av. Cabildo 65 Subsuelo – Ala Savio
(C1426AAA) Buenos Aires – República Argentina
TELEFAX. (54 11) 4779-3182 / 3183 / 3184**

**E-mail: cirsoc@inti.gob.ar
cirsoc@fm.gob.ar**

INTERNET: www.inti.gob.ar/cirsoc

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

Directora Técnica: Inga. Marta S. Parmigiani

Coordinadora Área Acciones: Inga. Alicia M. Aragno

Área Estructuras de Hormigón: Ing. Daniel A. Ortega

Área Estructuras Sismorresistentes: Ing. Daniel Yañez García

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

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

© 2019

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 Planificación Territorial y Coordinación de Obra Públicas de la Nación
Secretaría de Vivienda 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 Portland
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 DE
LOS**

**COMENTARIOS AL PROYECTO DEL
REGLAMENTO ARGENTINO
PARA EL DISEÑO DE
PUENTES CARRETEROS**

CIRSOC 804

Juntas y Apoyos

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

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

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

Agradecimiento especial

El INTI-CIRSOC agradece muy especialmente al Ing. Aníbal Barbero su colaboración en la redacción del Capítulo 2, al Ing. Gabriel Troglia por su colaboración en la redacción del Capítulo 3, al Ing. Luciano Sprio Ceres por su colaboración en el desarrollo de las comparaciones que se emplearon para redactar el Capítulo 3 y al Ing. Diego Cernuschi y al Arq. Gustavo Bandel por sus valiosos aportes y colaboración en el desarrollo del Capítulo 13.

Metodología para el envío de observaciones, comentarios y sugerencias a los Proyectos de Capítulos 9, 11 y 14 del Reglamento Argentino para el Diseño de Puentes Carreteros

(10 de diciembre de 2019 - 31 de agosto de 2020)

Las observaciones, comentarios y sugerencias se deberán enviar a la Sede del INTI-CIRSOC, Av. Cabildo 65 - Subsuelo Ala Savio (1426) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, hasta el **31 de agosto de 2020**, siguiendo la metodología que a continuación se describe:

1. Se deberá identificar claramente el Proyecto de Capítulo que se analiza, como así también el artículo y párrafo que se observa.
2. Las observaciones se deberán acompañar de su fundamentación y de una redacción alternativa con el fin de que el coordinador del proyecto observado comprenda claramente el espíritu de la observación.
3. Las observaciones, comentarios y sugerencias deberán presentarse por escrito, firmadas y con aclaración de firma, y deberán enviarse por correo o entregarse en mano. Se solicita detallar Dirección, Tel, Fax, e-mail con el fin de facilitar la comunicación.
4. No se aceptarán observaciones enviadas por fax o e-mail, dado que estos medios no permiten certificar la autenticidad de la firma del autor de la observación.

Confiamos en que este Proyecto le interese y participe activamente.

Gracias

INDICE

CAPÍTULO 14. JUNTAS Y APOYOS

C 14.1. CAMPO DE VALIDEZ	1
C 14.2. DEFINICIONES	1
C 14.3. SIMBOLOGÍA	1
C 14.4. MOVIMIENTOS Y CARGAS	1
C 14.4.1. Requisitos generales	1
C 14.4.2. Requisitos de diseño	3
C 14.4.2.1. Almohadillas elastoméricas y apoyos elastoméricos reforzados con acero	4
C 14.4.2.2. Apoyos multirotacionales para cargas elevadas (“High Load Multirotational” – HLMR)	4
C 14.4.2.2.1. Apoyos tipo Pot y apoyos con superficies deslizantes curvas	4
C 14.4.2.2.2. Apoyos de disco	4
C 14.5. JUNTAS PARA PUENTES	4
C 14.5.1. Requisitos	4
C 14.5.1.1. General	4
C 14.5.1.2. Diseño estructural	4
C 14.5.1.3. Geometría	5
C 14.5.1.4. Materiales	6
C 14.5.1.5. Mantenimiento	6
C 14.5.2. Selección	6
C 14.5.2.1. Número de juntas	6
C 14.5.2.2. Localización de las juntas	6
C 14.5.3. Requisitos de diseño	7
C 14.5.3.1. Movimientos durante la construcción	7
C 14.5.3.2. Movimientos de diseño	7
C 14.5.3.3. Protección	7
C 14.5.3.4. Placas de unión	8
C 14.5.3.5. Armado	8
C 14.5.3.6. Anclajes	8
C 14.5.3.7. Bulones	8
C 14.5.4. Fabricación	8
C 14.5.5. Instalación	8
C 14.5.5.1. Ajuste	8
C 14.5.5.2. Apoyos temporales	9
C 14.5.5.3. Empalmes en campo	9
C 14.5.6. Consideraciones específicas para cada tipo de junta	9
C 14.5.6.1. Juntas abiertas	9
C 14.5.6.2. Juntas cerradas	10

C 14.5.6.3. Juntas impermeables	10
C 14.5.6.4. Sellos de juntas	10
C 14.5.6.5. Sellos vaciados	10
C 14.5.6.6. Sellos de compresión y celulares	10
C 14.5.6.7. Sellos en láminas y franjas	10
C 14.5.6.8. Sellos elastoméricos reforzados	10
C 14.5.6.9. Sistemas de juntas de puente modular (“Modular Bridge Joint Systems” – MBJS)	10
C 14.5.6.9.1. General	10
C 14.5.6.9.2. Requisitos de desempeño	12
C 14.5.6.9.3. Requisitos para ensayos y cálculos	13
C 14.5.6.9.4. Cargas y factores de carga	13
C 14.5.6.9.5. Distribución de las cargas de rueda	15
C 14.5.6.9.6. Requisitos de diseño en el estado límite de resistencia	16
C 14.5.6.9.7. Requisitos de diseño en el estado límite de fatiga	16
C 14.5.6.9.7a. General	16
C 14.5.6.9.7b. Rango de tensiones de diseño	18
C 14.6. REQUISITOS PARA LOS APOYOS	20
C 14.6.1. General	20
C 14.6.2. Características	20
C 14.6.3. Solicitaciones resultantes de la restricción de movimiento en el apoyo	21
C 14.6.3.1. Fuerzas y movimientos horizontales	21
C 14.6.3.2. Momento	22
C 14.6.4. Fabricación, instalación, ensayo, y transporte	23
C 14.6.5. Disposiciones para apoyos ante eventos sísmicos y otros eventos extremos	23
C 14.6.5.1. General	23
C 14.6.5.2. Aplicabilidad	23
C 14.6.5.3. Criterios de diseño	23
C 14.7. DISPOSICIONES ESPECIALES DE DISEÑO PARA APOYOS	25
C 14.7.1. Apoyos metálicos tipo Rocker y Roller (Balancines y Rodillos)	25
C 14.7.1.1. General	25
C 14.7.1.2. Materiales	25
C 14.7.1.3. Requisitos geométricos	25
C 14.7.1.4. Esfuerzos de contacto	25
C 14.7.2. Superficies deslizantes de “Polytetrafluorethylene – PTFE”	26
C 14.7.2.1. Superficie de PTFE	27
C 14.7.2.2. Superficie de unión	27
C 14.7.2.3. Espesor mínimo	27
C 14.7.2.3.1. PTFE	27
C 14.7.2.3.2. Superficie de unión de acero inoxidable	28
C 14.7.2.4. Presión de contacto	28
C 14.7.2.5. Coeficiente de fricción	28
C 14.7.2.6. Fijaciones	29
C 14.7.2.6.1. PTFE	29
C 14.7.2.6.2. Superficie de unión	29
C 14.7.3. Apoyos con superficies deslizantes curvas	29
C 14.7.3.1. General	29
C 14.7.3.2. Resistencia del apoyo	30

C 14.7.3.3. Resistencia a carga lateral	30
C 14.7.4. Apoyos tipo Pot	31
C 14.7.4.1. General	31
C 14.7.4.2. Materiales	31
C 14.7.4.3. Requisitos geométricos	31
C 14.7.4.4. Disco elastomérico	33
C 14.7.4.5. Anillos de sellado	33
C 14.7.4.5.1. General	33
C 14.7.4.5.2. Anillos con secciones transversales rectangulares	34
C 14.7.4.5.3. Anillos con sección transversal circular	34
C 14.7.4.6. Cilindro de confinamiento (“Pot”)	34
C 14.7.4.7. Pistón	35
C 14.7.5. Apoyos elastoméricos reforzados con acero — Método B	35
C 14.7.5.1. General	35
C 14.7.5.2. Propiedades de los materiales	37
C 14.7.5.3. Requisitos de diseño	37
C 14.7.5.3.1. Alcance	37
C 14.7.5.3.2. Deformaciones de corte	38
C 14.7.5.3.3. Combinación de compresión, rotación, y corte	38
C 14.7.5.3.4. Estabilidad de apoyos elastoméricos	41
C 14.7.5.3.5. Refuerzo	41
C 14.7.5.3.6. Deformación por compresión	41
C 14.7.5.3.7. Disposiciones ante eventos sísmicos y otros eventos extremos	43
C 14.7.5.4. Anclaje para apoyos sin placas externas adheridas	43
C 14.7.6. Almohadillas elastoméricas y apoyos elastoméricos reforzados con acero – Método A	43
C 14.7.6.1. General	43
C 14.7.6.2. Propiedades de los materiales	44
C 14.7.6.3. Requisitos de diseño	45
C 14.7.6.3.1. Alcance	45
C 14.7.6.3.2. Tensiones de compresión	45
C 14.7.6.3.3. Deformación por compresión	46
C 14.7.6.3.4. Corte	47
C 14.7.6.3.5. Rotación	48
C 14.7.6.3.5a. General	48
C 14.7.6.3.5b. Rotación en apoyos tipo “Cotton-Duck Pad – CDP”	48
C 14.7.6.3.6. Estabilidad	49
C 14.7.6.3.7. Refuerzo	49
C 14.7.6.3.8. Disposiciones ante eventos sísmicos y otros eventos extremos	49
C 14.7.7. Superficies deslizantes de bronce o aleación de cobre	49
C 14.7.7.1. Materiales	49
C 14.7.7.2. Coeficiente de fricción	50
C 14.7.7.3. Límite de carga	50
C 14.7.7.4. Holguras y superficies de unión	50
C 14.7.8. Apoyos de disco	51
C 14.7.8.1. General	51
C 14.7.8.2. Materiales	51
C 14.7.8.3. Disco elastomérico	51
C 14.7.8.4. Mecanismo de resistencia al corte	52
C 14.7.8.5. Placas de acero	52
C 14.7.9. Guías y restricciones	52
C 14.7.9.1. General	52
C 14.7.9.2. Cargas de diseño	52

C 14.7.9.3. Materiales	53
C 14.7.9.4. Requisitos geométricos	53
C 14.7.9.5. Bases de diseño	53
C 14.7.9.5.1. Localización de la carga	53
C 14.7.9.5.2. Esfuerzo de contacto	54
C 14.7.9.6. Fijación del material de baja fricción	54
C 14.7.10. Otros sistemas de apoyo	54
 C 14.8. PLACAS DE CARGA Y ANCLAJES PARA APOYOS	 55
C 14.8.1. Placas para distribución de carga	55
C 14.8.2. Placas de espesor variable	55
C 14.8.3. Anclaje y bulones de anclaje	55
C 14.8.3.1. General	55
C 14.8.3.2. Eventos sísmicos y otros eventos extremos — Requisitos de diseño y detallado	56
 C 14.9. PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN	 56
 COMENTARIOS DEL ANEXO A. DISPOSITIVOS DE APOYO – PARTE DE LA SECCIÓN 18 DEL AASHTO LRFD BRIDGE CONSTRUCTION SPECIFICATIONS (2010)	 58
 A.18.1. GENERAL	 58
A.18.1.1. Planos de ejecución	58
A.18.1.2. Materiales	59
A.18.1.2.1. Acero laminado	59
A.18.1.2.2. Laminados de acero	59
A.18.1.2.3. Acero fundido	59
A.18.1.2.4. Acero forjado	60
A.18.1.2.5. Acero inoxidable	60
A.18.1.3. Embalaje, manipulación y almacenamiento	60
A.18.1.4. Manufactura o fabricación	60
A.18.1.4.1. General	60
A.18.1.4.2. Tolerancias en la fabricación	61
A.18.1.5. Prueba y aceptación	62
A.18.1.5.1. General	62
A.18.1.5.1.1. Alcance	62
A.18.1.5.1.2. Placas adaptadoras y fijaciones	63
A.18.1.5.2. Pruebas	63
A.18.1.5.2.1. General	63
A.18.1.5.2.2. Pruebas de certificación de materiales	63
A.18.1.5.2.3. Pruebas de fricción del material – Solo superficies deslizantes	63
A.18.1.5.2.4. Control de dimensión	64
A.18.1.5.2.5. Prueba de holgura	65
A.18.1.5.2.6. Pruebas de fricción en apoyos - Solo superficies deslizantes	65
A.18.1.5.2.7. Prueba de deterioro a largo plazo	65
A.18.1.5.2.8. Capacidad de fuerza horizontal del apoyo – Solamente apoyos fijos o guiados	66
A.18.1.6. Criterios de comportamiento	67
A.18.1.7. Construcción e instalación	67

A.18.2. APOYOS ELASTOMÉRICOS	68
A.18.2.1. Alcance	68
A.18.2.2. Requisitos generales	68
A.18.2.3. Materiales	68
A.18.2.4. Fabricación	69
A.18.2.5. Ensayos	69
A.18.2.6. Instalación	69
A.18.3. APOYOS TIPO POT Y DISCO	69
A.18.3.1. General	69
A.18.3.2. Materiales	70
A.18.3.2.1. General	70
A.18.3.2.2. Acero	70
A.18.3.2.3. Acero inoxidable	70
A.18.3.2.4. Elemento rotatorio elastomérico para apoyos tipo Pot	70
A.18.3.2.5. Sellador para apoyos tipo Pot	70
A.18.3.2.6. Anillos de sellado para apoyos tipo Pot	70
A.18.3.2.7. Lámina y faja de politetrafluoretileno (PTFE)	71
A.18.3.2.8. Elemento estructural de poliuretano para apoyos de Disco	71
A.18.3.3. Detalles de fabricación	72
A.18.3.3.1. General	72
A.18.3.3.2. Requisitos de fabricación para apoyos tipo Pot	73
A.18.3.3.2.1. Cilindro de confinamiento	73
A.18.3.3.2.2. Anillos de sellado	73
A.18.3.3.2.3. Elemento rotacional elastomérico	73
A.18.3.3.3. Requisitos de fabricación para apoyos de disco	74
A.18.3.3.3.1. Cubierta de acero	74
A.18.3.3.3.2. Elemento rotativo de poliuretano	74
A.18.3.4. Muestreo y ensayo	74
A.18.3.4.1. Tamaño del lote	74
A.18.3.4.2. Muestreo y aceptación	74
A.18.3.4.3. Pruebas de garantía de calidad por parte del Proyectista Estructural	75
A.18.3.4.4. Ensayo de comportamiento	76
A.18.3.4.4.1. Prueba de certificación de materiales	76
A.18.3.4.4.2. Verificación de dimensiones y prueba de holgura	76
A.18.3.4.4.3. Prueba de deterioro a largo plazo	76
A.18.3.4.4.4. Ensayo de prueba de carga	76
A.18.3.4.4.5. Coeficiente de fricción deslizante	77
A.18.3.5. Instalación	77

COMENTARIOS AL CAPÍTULO 14.

JUNTAS Y APOYOS

C 14.1. CAMPO DE VALIDEZ (Este artículo no tiene comentario)

C 14.2. DEFINICIONES (Este artículo no tiene comentario)

C 14.3. SIMBOLOGÍA (Este artículo no tiene comentario)

C 14.4. MOVIMIENTOS Y CARGAS

C 14.4.1. Requisitos generales

Las juntas y los apoyos deben permitir movimientos debidos a cambios de temperatura, fluencia lenta y contracción, acortamiento elástico debido al pretensado, carga de tránsito, tolerancias de construcción u otros efectos. La restricción de estos movimientos puede resultar en grandes fuerzas horizontales. Si el tablero del puente es de hormigón vaciado in situ o prefabricado, los apoyos en un solo sitio deberán permitir expansión y contracción transversales. Las cargas transversales aplicadas externamente, tales como viento, sismo, o fuerzas de frenado del tránsito pueden ser soportadas por un pequeño número de apoyos cercanos al eje del puente o por medio de un sistema independiente de guía. Este último es probablemente necesario si las fuerzas horizontales son grandes y no se permite que funcionen como fusibles o que sufran daño irreparable.

Se puede ver la discusión acerca de apoyos que se diseñan para actuar como fusibles en el estado límite correspondiente a evento extremo en el artículo C 14.6.5.3.

La distribución de carga vertical entre los apoyos puede afectar adversamente los apoyos individuales. Esto es particularmente crítico cuando las vigas son rígidas a flexión y a torsión y los apoyos son rígidos en compresión, y el método de construcción no permite corregir desajustes menores.

Los movimientos de los puentes surgen por diversas causas. Estimativos simplificados de los movimientos de los puentes, particularmente en puentes con geometría compleja, pueden llevar a valores inapropiados de la dirección del movimiento y, como resultado, una selección inapropiada de sistemas de apoyos o de juntas. Los puentes curvos y oblicuos tienen movimientos transversales así como movimientos longitudinales debido a efectos de temperatura y fluencia lenta o contracción. El movimiento transversal de la superestructura con respecto a la subestructura puede convertirse en un valor significativo en puentes muy anchos. Los puentes curvos y oblicuos relativamente anchos a menudo experimentan movimiento térmico diagonal significativo, que introduce grandes movimientos transversales o fuerzas transversales grandes si el puente está restringido contra dichos movimientos. Se debe también considerar las rotaciones causadas por

niveles permitidos de desalineamiento durante la instalación, y en muchos casos serán más grandes que las rotaciones por sobrecarga.

El eje neutro de una viga que actúa de manera compuesta con el tablero del puente se localiza típicamente cerca de la parte inferior del tablero. Es así como, el eje neutro de la viga y el centro de rotación del apoyo casi nunca coinciden. Bajo estas condiciones, la rotación de los extremos de las vigas induce tanto movimientos horizontales o fuerzas en el ala inferior o en el nivel del apoyo. La localización de los apoyos por fuera de los ejes neutros de las vigas puede también producir fuerzas horizontales debido al acortamiento elástico de las vigas cuando se someten a cargas verticales en apoyos continuos.

La falla de apoyos o de los sellos de juntas del puente puede a la larga llevar al deterioro o al daño del puente.

Cada apoyo y los MBJS se deben identificar claramente en las memorias de diseño así como todos sus requisitos. Un posible formato para esta información se muestra en la Figura C 14.4.1-1 para estados límite diferentes del de evento extremo.

Cuando se utilizan pilas o estribos integrales, la superestructura y la subestructura están conectadas de manera tal que se introducen restricciones adicionales contra la rotación de la superestructura.

En puentes curvos, los esfuerzos térmicos se minimizan cuando los apoyos se orientan de tal manera que permitan la libre traslación a lo largo de líneas desde un sólo punto. Con los apoyos configurados para permitir dicho movimiento a lo largo de estas líneas, no se generarán fuerzas térmicas cuando la temperatura de la superestructura cambia uniformemente. Cualquier otra orientación de los apoyos inducirá fuerzas térmicas en la superestructura y en la subestructura. Sin embargo, otras consideraciones a menudo hacen impráctica la orientación a lo largo de líneas desde un sólo punto.

El pretensado del tablero causa cambios en las reacciones verticales debido a la excentricidad de las fuerzas, las cuales crean fuerzas restauradoras. Se deben considerar también los efectos de fluencia lenta y contracción.

Nombre o referencia del puente				
Marca de identificación del apoyo				
Número de apoyos requeridos				
Material de asiento	Superficie superior			
	Superficie inferior			
Presión promedio de contacto permitida [MPa]	Estado límite de servicio	Cara superior		
		Cara inferior		
Solicitaciones de diseño [kN]	Estado límite de servicio	Vertical	Máx.	
			Perm.	
			Mín.	
		Transversal		
		Longitudinal		
	Estado límite de resistencia	Vertical		
		Transversal		
		Longitudinal		

Continúa en siguiente página

Figura C 14.4.1-1. Formulario típico para apoyos de puente

Traslación	Estado límite de servicio	Irreversible	Transversal	
			Longitudinal	
		Reversible	Transversal	
			Longitudinal	
	Estado límite de resistencia	Irreversible	Transversal	
			Longitudinal	
Reversible		Transversal		
		Longitudinal		
Rotación [rad]	Estado límite de servicio	Irreversible	Transversal	
			Longitudinal	
		Reversible	Transversal	
			Longitudinal	
	Estado límite de resistencia	Irreversible	Transversal	
			Longitudinal	
		Reversible	Transversal	
			Longitudinal	
Dimensiones máximas de apoyo [mm]	Superficie superior		Transversal	
			Longitudinal	
	Superficie inferior		Transversal	
			Longitudinal	
Altura total				
Tolerancia de movimiento del apoyo bajo cargas transitorias [mm]			Vertical	
			Transversal	
			Longitudinal	
Resistencia permitida a traslación bajo el estado límite de servicio o de resistencia, como sea aplicable [kN]			Transversal	
			Longitudinal	
Resistencia permitida a rotación bajo el estado límite de servicio o de resistencia, como sea aplicable [kN/m]			Transversal	
			Longitudinal	
Tipo de conexión a la estructura y subestructura			Transversal	
			Longitudinal	

Figura C 14.4.1-1 (Cont.). Formulario típico para apoyos de puente

C 14.4.2. Requisitos de diseño

Las rotaciones se consideran en los estados límite de servicio y de resistencia, cuando sea apropiado, para diversos tipos de apoyos. Los apoyos deben tener capacidad para permitir movimientos además de soportar cargas, de manera que los desplazamientos, y particularmente las rotaciones, son necesarios para el diseño. Las rotaciones por sobrecarga son típicamente menores que **0,005 rad**, pero las rotaciones totales debido a las tolerancias de fabricación y colocación para asientos, apoyos, y vigas pueden ser significativamente mayores que esto. Por lo tanto, la rotación total de diseño se encuentra sumando las rotaciones debidas a las cargas permanentes y sobrecargas y añadiendo tolerancias para los efectos del grado del perfil y las tolerancias descritas arriba. El artículo 14.8.2, especifica que se debe usar una placa de espesor variable si la rotación por carga permanente en el estado límite de servicio (factor de carga = **1,0**) se vuelve excesiva. El Propietario puede reducir las tolerancias permitidas de fabricación y colocación si está respaldado por un plan adecuado de control de calidad; por lo tanto, estos límites de tolerancias se expresan como recomendaciones en lugar de límites absolutos.

La falla de componentes deformables, tales como apoyos elastoméricos, está controlada generalmente por un deterioro gradual bajo muchos ciclos de carga en lugar de falla súbita bajo la aplicación de una sola carga. Aún más, los límites de diseño para apoyos elastoméricos se desarrollaron originalmente bajo condiciones de carga de servicio ASD (Allowable Stress Design – “Diseño por Tensiones Admisibles”) en lugar de las cargas del estado límite de resistencia consideradas durante el desarrollo de los sistemas de apoyos multirotacionales para cargas elevadas. A menos que se justifique menores tolerancias, θ_s es la rotación en el estado límite de servicio, más **0,005 rad** para componentes elastoméricos.

Los componentes de hormigón o de metal son susceptibles de dañarse bajo una sola rotación causada por contacto de metal a metal, y se tienen que diseñar utilizando las rotaciones del estado límite de resistencia. A menos que se justifique menores tolerancias, θ_u es la rotación en el estado límite de resistencia más **0,01 rad**.

Los apoyos de disco tienen menos probabilidades de experimentar contacto de metal a metal que otros apoyos Multirotacionales para Cargas Elevadas (“High Load Multirotational”, HLMR) porque el elemento de carga no está confinado. Como resultado, la tolerancia total para rotación es consecuentemente menor para un apoyo de disco que para otros apoyos HLMR; sin embargo, la prueba de carga, que se especifica en la AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications (Ver Anexo de este Capítulo), garantiza que no haya contacto de metal a metal.

C 14.4.2.1. Almohadillas elastoméricas y apoyos elastoméricos reforzados con acero (Este artículo no tiene comentario)

C 14.4.2.2. Apoyos multirotacionales para cargas elevadas (“High Load Multirotational” – HLMR)

C 14.4.2.2.1. Apoyos tipo Pot y apoyos con superficies deslizantes curvas (Este artículo no tiene comentario)

C 14.4.2.2.2. Apoyos de disco (Este artículo no tiene comentario)

C 14.5. JUNTAS PARA PUENTES

C 14.5.1. Requisitos

C 14.5.1.1. General

Para acomodar los movimientos laterales diferenciales, se deben utilizar donde sea práctico apoyos de elastómero o apoyos combinados con la capacidad de moverse lateralmente en lugar de juntas longitudinales.

C 14.5.1.2. Diseño estructural

El estado límite de resistencia para las vigas de borde con sellos de franja y MBS y el anclaje al hormigón u otros elementos se deben verificar con esta carga de quitanieves si la oblicuidad de la junta supera los **20 grados** con respecto a una línea transversal a la dirección de desplazamiento. Para oblicuidades más pequeñas, las paletas, las cuales son oblicuas, no golpearán a la viga de borde todas de una sola vez. Los métodos de

protección tales como los discutidos en el artículo 14.5.3.3 pueden eliminar la necesidad de diseñar con esta carga de quitanieves.

Los ángulos de las paletas quitanieve varían regionalmente. A menos que se utilicen métodos de protección como los que se describen en el artículo 14.5.3.3, los organismos deben evitar las instalaciones de MBS con una oblicuidad que esté dentro de los **tres grados** del ángulo de la paleta usada en esa región, para evitar que la paleta caiga en el espacio entre las vigas centrales.

La carga de quitanieves se estimó a partir de la información del fabricante del quitanieve como la fuerza requerida para desviar una paleta activada por resorte con **50 mm** de compresión y **diez grados** de flecha. La carga de quitanieves incluye el efecto de impacto, por lo que no se debe aplicar el incremento por carga dinámica. La carga de quitanieves debe ser multiplicada por el factor de carga del estado límite de resistencia apropiado para la sobrecarga.

Los movimientos de la superestructura incluyen aquellos debidos a la colocación del tablero del puente, cambios volumétricos, tales como contracción, temperatura, humedad y fluencia lenta, paso de tránsito vehicular y peatonal, presión del viento y la acción de terremotos. Los movimientos de la subestructura incluyen asentamientos diferenciales de pilas y estribos, inclinación, flexión, y traslación horizontal de estribos tipo muro respondiendo a la colocación del relleno así como al desplazamiento del talón del estribo por la consolidación del terraplén y de los suelos del sitio.

Cualquier movimiento horizontal de la superestructura del puente será resistido por los apoyos del puente y por la rigidez o la resistencia a flexión de los elementos de la subestructura. La resistencia al giro de los rodillos y balancines, la resistencia al corte de los apoyos de elastómero, o la resistencia a fricción de las superficies deslizantes de los apoyos se opondrán al movimiento. Adicionalmente, la rigidez de los estribos y la flexibilidad relativa de las pilas de alturas variables y de los tipos de fundación afectarán la magnitud del movimiento y las fuerzas de los apoyos que se oponen al movimiento.

Los pavimentos rígidos de aproximación compuestos de adoquines, ladrillos, u hormigón con juntas experimentarán alargamientos o presiones longitudinales sustanciales debido a la restricción a la expansión. Para proteger las estructuras del puente de estas presiones potencialmente destructivas y para preservar el alcance del movimiento de las juntas del tablero y el desempeño de los sellos de juntas, se deben proporcionar juntas efectivas de alivio de presión del pavimento o bien anclajes en el pavimento de aproximación, como se describe en Transportation Research Record 1113.

Cuando el movimiento horizontal en los extremos de una superestructura se debe a cambios volumétricos, se equilibran las fuerzas resistentes a estos cambios generadas dentro de la estructura. El punto neutro se puede localizar estimando estas fuerzas, teniendo en cuenta la resistencia relativa al movimiento de los apoyos y de la subestructura. Se puede entonces determinar la longitud de la superestructura que contribuye al movimiento en una junta en particular.

C 14.5.1.3. Geometría

Para puentes con una configuración cuadrada o levemente oblicua, puede ser preferible pendientes moderadas de la calzada en la junta y cambios mínimos tanto en la alineación horizontal y vertical de la junta, con el fin de simplificar los movimientos de las juntas y para mejorar el desempeño de la estructura.

C 14.5.1.4. Materiales

Se debe dar prelación a aquellos materiales que son menos sensibles a las combinaciones en campo y a las variables de instalación y a aquellos que pueden ser reparados y cambiados por personal de mantenimiento no especializado. También se debe dar preferencia a aquellos componentes y dispositivos que estarán probablemente disponibles cuando se necesite su reemplazo.

C 14.5.1.5. Mantenimiento

Se debe escoger la posición de los apoyos, de los elementos estructurales, de las juntas y del espaldar de los estribos, y la configuración de la cabeza de las pilas de manera que se proporcione espacio suficiente y acceso conveniente a las juntas desde abajo del tablero. Se deben proporcionar escotillas, escaleras, plataformas, y/o pasarelas de inspección para las juntas de los tableros de puentes grandes que no sean accesibles directamente desde el terreno.

C 14.5.2. Selección

C 14.5.2.1. Número de juntas

Se deben considerar los puentes integrales, puentes sin juntas de tablero móviles, donde la longitud de la superestructura y la flexibilidad de la subestructura son tales que los esfuerzos secundarios debidos a los movimientos restringidos estén controlados dentro de límites tolerables.

Se deben usar juntas de alivio en la losa del tablero, juntas móviles en los largueros, y apoyos móviles entre los largueros y las vigas de piso, donde no sea práctico un diseño de viga de piso que pueda tolerar movimientos longitudinales diferenciales que resultan de respuesta del tablero a la temperatura relativa y sobrecarga, y elementos de apoyo independientes, tales como vigas y reticulados.

Las estructuras tipo tablero de luces largas con largueros de acero que son levemente oblicuos, continuos, y compuestos pueden resistir asentamientos diferenciales sustanciales sin esfuerzos secundarios significativos. Consecuentemente, rara vez son necesarias las juntas intermedias de tablero para puentes de luces múltiples apoyados en fundaciones seguras, es decir, pilotes, roca de fondo, subsuelos densos, etc. Como los esfuerzos inducidos por asentamiento pueden alterar el punto de inflexión, es apropiado un control más conservador de la localización de detalles propensos a la fatiga.

Se pueden encontrar directrices acerca de los movimientos de la subestructura en los artículos 10.5.2, 10.6.2, 10.7.2, y 10.8.2, del Reglamento CIRSOC 804 (estos artículos pertenecen al Capítulo 10 – Fundaciones, que se encuentra en preparación).

C 14.5.2.2. Localización de las juntas

No se deben colocar juntas abiertas con tolvas de drenaje donde sea necesario el uso de conductos horizontales de drenaje.

Las rotaciones de los extremos de estructuras tipo tablero ocurren alrededor de ejes que son aproximadamente paralelos al eje de los apoyos a lo largo de la zona de apoyo del puente. En estructuras oblicuas, estos ejes no son perpendiculares a la dirección del

movimiento longitudinal. Se debe proporcionar suficiente espacio libre lateral entre placas, juntas abiertas, o dispositivos de juntas de elastómero para prevenir que se traben debido a la falta de alineación entre movimientos longitudinales y rotacionales.

C 14.5.3. Requisitos de diseño

C 14.5.3.1. Movimientos durante la construcción

Donde sea deseable o necesario dar cabida al asentamiento o a otros movimientos de construcción, antes de la instalación y ajuste de la junta del tablero, se pueden utilizar los siguientes controles de construcción:

- colocar el terraplén del estribo antes de la excavación y construcción de las pilas y estribos,
- sobrecargas en los terraplenes para acelerar la consolidación y el ajuste de los suelos en el sitio,
- realizar el relleno de los estribos tipo muro hasta la subbase antes de colocar los apoyos y el espaldar sobre los asientos del puente, y
- utilizar “blockouts” de la losa del tablero para permitir la colocación de la mayor parte de las cargas permanentes antes de la instalación de la junta.

C 14.5.3.2. Movimientos de diseño

La operación segura de las motocicletas es una de las principales consideraciones al seleccionar el tamaño de las aberturas para las juntas de placas dentadas.

C 14.5.3.3. Protección

La protección contra las paletas quitanieves de la armadura de la junta del tablero y los sellos de juntas puede consistir en:

- franjas de amortiguación de hormigón de **0,30** a **0,45 m** de ancho con una armadura de junta empotrada de **6,50** a **9,50 mm** por debajo de la superficie de dichas franjas,
- nervios de acero de espesor variable que sobresalen hasta **12,5 mm** sobre las superficies de la calzada para levantar las paletas de arado a medida que pasan sobre las juntas,
- Rebaje en el pavimento flexible para colocar la armadura por debajo de la huella prevista, pero no tan profunda como para estancar el agua.

Se deben considerar precauciones adicionales para evitar daños por el quitanieves cuando la oblicuidad de las juntas coincide con la oblicuidad de las paletas del mismo, generalmente de **30** a **35 grados**.

C 14.5.3.4. Placas de unión

Donde pueda ocurrir la traba de las placas de unión en las juntas de apoyo debido a la traslación vertical diferencial de elementos estructurales colindantes, o debido al movimiento longitudinal de las placas de unión y apoyos en diferentes planos, las placas pueden estar sometidas a la reacción total por sobrecarga y carga permanente de la superestructura. Si las placas de unión no son capaces de resistir dichas cargas, pueden fallar y convertirse en una amenaza para el movimiento del tránsito vehicular.

Los apoyos gruesos de elastómero que responden ante la aplicación de carga vertical, o péndolas cortas que responden a movimientos longitudinales del tablero, pueden causar traslación diferencial vertical apreciable de elementos estructurales colindantes en las juntas de apoyo. Para acomodarse a dichos movimientos, se debe proporcionar un tipo apropiado de junta sellada o una junta abierta impermeable, en lugar de una junta estructural con placas rígidas de unión o dentadas.

C 14.5.3.5. Armado

Los agujeros de ventilación son necesarios para ayudar a expeler el aire atrapado y para facilitar la obtención de un sustrato sólido de hormigón bajo el armado del borde de la junta.

Las especificaciones técnicas deberán requerir el llenado manual del hormigón bajo el armado de la junta.

C 14.5.3.6. Anclajes

Se debe también considerar, en el diseño de los anclajes, el impacto al quitar la nieve.

C 14.5.3.7. Bulones

Se pueden usar anclajes inyectados de mortero para el mantenimiento de juntas existentes.

C 14.5.4. Fabricación

La rectitud y ajuste de los componentes de la junta se deberá mejorar por medio de perfiles, barras, y placas con espesor de **12,7 mm** o más.

Se deben desarrollar procedimientos y prácticas constructivas para permitir el ajuste de las juntas para temperaturas de instalación sin alterar la orientación de las partes de la junta, establecida durante el ensamble en la fábrica.

C 14.5.5. Instalación

C 14.5.5.1. Ajuste

Excepto para puentes cortos donde la variación de la temperatura de instalación tendría sólo efectos despreciables en el ancho de la junta, los planos para cada junta de expansión deben incluir los anchos requeridos para la instalación de juntas para un intervalo de temperaturas probables de instalación. Para estructuras de hormigón, se puede considerar el uso de un termómetro para hormigón y la medida de la temperatura en las juntas de expansión entre unidades de la superestructura.

Se recomienda un gráfico de compensación para la instalación de las juntas de expansión para tener en cuenta la incertidumbre en la temperatura de ajuste en el momento del diseño. El proyectista puede proporcionar gráficos de compensación en incrementos apropiados e incluir el gráfico en los planos. La colocación de los accesorios de la junta de expansión, durante la construcción del tablero, debe acomodar las diferencias entre la temperatura de ajuste y la temperatura de instalación supuesta en el diseño.

Se deben utilizar procedimientos de construcción que permitirán que los movimientos principales de la estructura debidos a la carga permanente ocurran antes de la colocación y el ajuste de las juntas de tablero.

C 14.5.5.2. Apoyos temporales

Las fijaciones temporales se deben liberar para evitar dañar los recubrimientos de los anclajes debido al movimiento de las superestructuras que responden a cambios rápidos de temperatura.

Para estructuras largas con elementos principales de acero, se deben incluir instrucciones en las especificaciones técnicas para asegurar la remoción de los apoyos temporales o la liberación de sus conexiones tan pronto como sea posible después de la colocación del hormigón.

C 14.5.5.3. Empalmes en campo

En los empalmes para las partes menos críticas de las juntas o para juntas ligeramente cargadas se deben proporcionar conexiones suficientemente rígidas para resistir desplazamientos si se usa el armado de la junta como encofrado durante la colocación del hormigón.

C 14.5.6. Consideraciones específicas para cada tipo de junta

C 14.5.6.1. Juntas abiertas

Bajo ciertas condiciones, las juntas abiertas del tablero pueden proporcionar una solución efectiva y económica. En general, las juntas abiertas son adecuadas para carreteras secundarias donde se aplican poca arena y sal durante el invierno. No son adecuadas en áreas urbanas donde los costos de las disposiciones para el drenaje de las juntas de tablero son altos.

El desempeño satisfactorio depende de un sistema efectivo de drenaje del tablero, del control de la descarga del tablero a través de las juntas, y de la recolección y la disposición de la cuneta de descarga. Es esencial que no se permita que el drenaje superficial y los residuos de la calzada se acumulen en alguna parte de la estructura debajo de dichas juntas.

La protección contra los efectos nocivos del drenaje del tablero puede incluir la forma superficial de la estructura para prevenir la retención de residuos de la calzada y proveer a las superficies con deflectores, escudos, cubiertas, y recubrimientos.

C 14.5.6.2. Juntas cerradas

Todavía están por desarrollarse sellos de juntas completamente efectivos para algunas situaciones, particularmente donde hay juntas con oblicuidades severas con bordillos o barreras realzados, y especialmente cuando las juntas se someten a movimientos sustanciales. Es así como se debe considerar algún tipo de junta abierta o cerrada, protegida como sea apropiado, en lugar de una junta sellada.

Los sellos en láminas y franjas que están deprimidos por debajo de la superficie de la calzada y que están formados como canaletas, se llenarán con residuos. Pueden reventarse cuando se cierran, a menos que las juntas que sellen se extiendan directamente a los bordes del tablero donde el agua y los residuos acumulados se puedan descargar limpiamente fuera de la estructura. Para permitir esta extensión y la descarga segura, puede ser necesario mover el espaldar y la zona de apoyo del puente de algunos tipos de estribo hacia adelante hasta que el espaldar esté nivelado con las aletas del muro, o reposicionar las aletas de manera que no obstruyan los extremos de las juntas del tablero.

C 14.5.6.3. Juntas impermeables (Este artículo no tiene comentario)

C 14.5.6.4. Sellos de juntas (Este artículo no tiene comentario)

C 14.5.6.5. Sellos vaciados

Se deben utilizar sellos vaciados solamente para juntas expuestas a movimientos pequeños y para aplicaciones donde la impermeabilidad sea de importancia secundaria.

C 14.5.6.6. Sellos de compresión y celulares

Los sellos de compresión se deben usar solamente en aquellas estructuras donde el intervalo de movimiento de la junta se pueda predecir con precisión.

El desempeño de los sellos de compresión y celulares se mejora cuando el rebaje en la junta de hormigón se hace con cortes de sierra en un solo paso, en lugar de moldearse con la ayuda de formaletas removibles.

C 14.5.6.7. Sellos en láminas y franjas (Este artículo no tiene comentario)

C 14.5.6.8. Sellos elastoméricos reforzados

Los sellos tipo elastómero reforzado no se deben utilizar en juntas con intervalos impredecibles de movimiento.

C 14.5.6.9. Sistemas de juntas de puente modular (“Modular Bridge Joint System” – MBJS)

C 14.5.6.9.1. General

Este Reglamento especifica el diseño de MBJS proporcionando un método racional y conservador para el diseño de MBJS de los elementos de acero que transmiten la carga principal. Este Reglamento no trata específicamente el diseño funcional de MBJS o el diseño de las partes del elastómero. Este Reglamento se basa en investigaciones descritas en Dexter et al. (1997), que contiene una extensa discusión de las cargas,

respuestas dinámicas medidas en MBJS y la resistencia a la fatiga de detalles comunes de MBJS. Asimismo, se desarrollaron procedimientos de ensayo a la fatiga para los detalles estructurales.

Tipos comunes de MBJS se muestran en las Figuras C 14.5.6.9.1-1 a C 14.5.6.9.1-3.

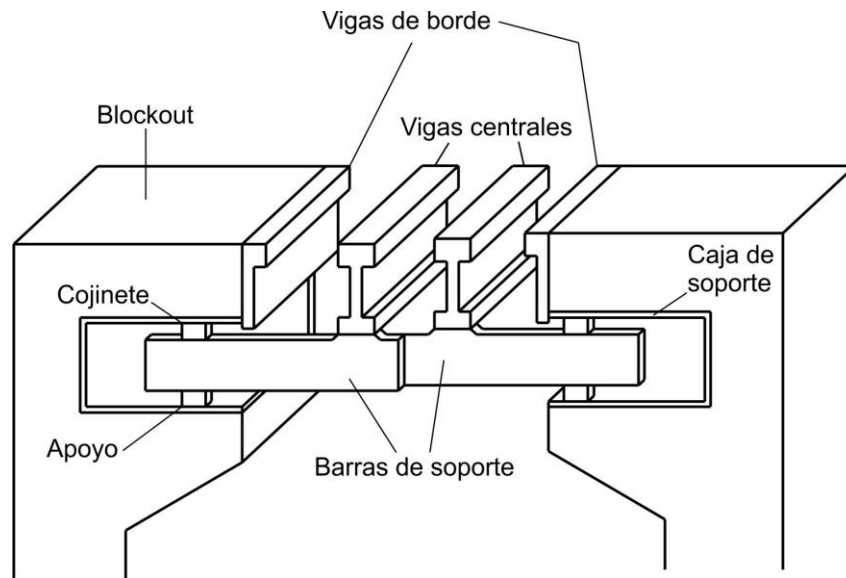


Figura C 14.5.6.9.1-1. Vista de la sección transversal de un sistema de junta de puente modular típico (MBJS) de múltiples barras soldadas de soporte (WMSB) que muestra las barras de soporte deslizándose dentro de las cajas de soporte.

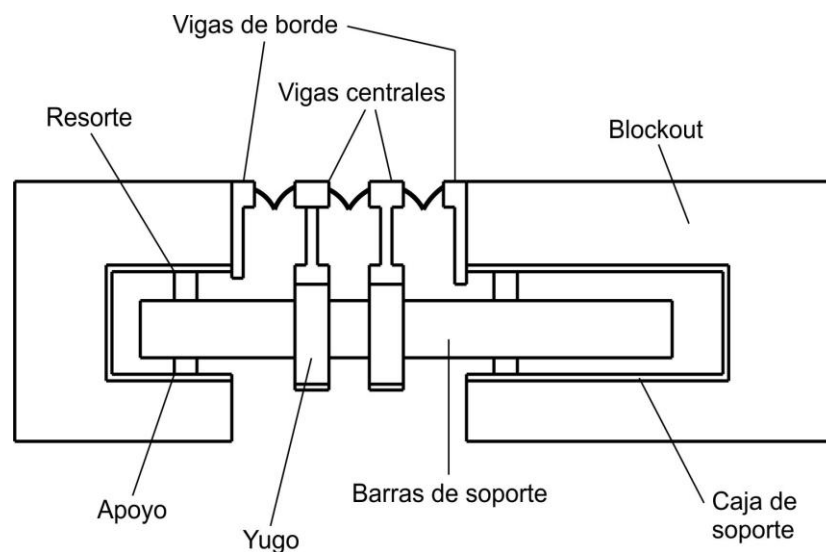


Figura C 14.5.6.9.1-2. Vista de la sección transversal de un sistema de junta de puente modular típico (MBJS) de una sola barra de soporte (SSB) que muestra múltiples vigas centrales con yugos deslizándose sobre una sola barra de soporte.

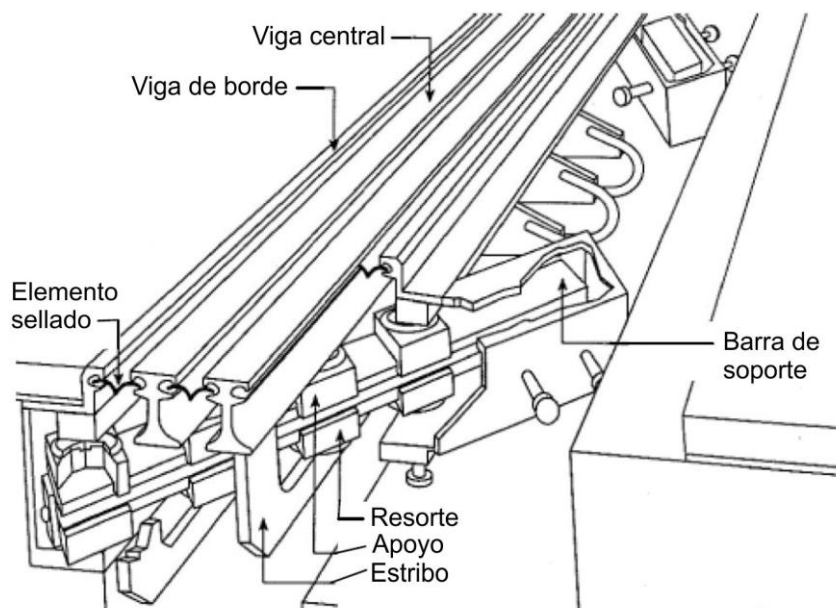


Figura C 14.5.6.9.1-3. Vista isométrica de la sección transversal de una "Junta pivotante", es decir, un tipo especial de sistema de junta de puente modular (MBJS) de una sola barra de soporte (SSB) con una sola barra pivotante de soporte.

C 14.5.6.9.2. Requisitos de desempeño

El MBJS se debe diseñar y detallar para minimizar el ruido o vibración excesivos durante el paso del tránsito.

Un problema común con el MBJS es que los sellos se llenan con residuos. El tránsito que pasa sobre la junta puede sacar el sello de su anclaje por la compactación de dichos residuos. Los sistemas MBJS pueden expulsar la mayoría de los residuos en los carriles de tránsito si los sellos se abren hasta cerca de la abertura máxima. Por lo tanto, es prudente proporcionar capacidad de movimiento adicional.

El MBJS debe permitir movimientos en todos los **seis grados** de libertad, es decir, traslaciones en las tres direcciones y rotaciones alrededor de los tres ejes. Aunque es obligatorio proporcionar al menos **25 mm** de movimiento en la dirección longitudinal, como se muestra en la Tabla 14.5.6.9.2-1, si es factible no se debe proporcionar más de **50 mm** adicionales al movimiento máximo calculado. Tampoco se debe adicionar más de **25 mm** si eso causa que se use un sello más grande. En los **cinco grados** de libertad diferentes al de la dirección longitudinal, el MBJS debe proporcionar el movimiento máximo calculado en conjunto con por lo menos los intervalos de movimiento mínimo adicional indicados en la Tabla 14.5.6.9.2-1. Se debe suponer que la mitad del intervalo de movimiento ocurre en cada dirección alrededor de la posición media. Algunos puentes pueden requerir más que los valores mínimos adicionales especificados.

El proyectista debe considerar mostrar en las especificaciones técnicas los movimientos totales transversales y verticales estimados en cada dirección, así como la rotación en cada dirección alrededor de los tres ejes principales. También se puede considerar el

movimiento vertical debido a la pendiente vertical, con apoyos horizontales, y el movimiento vertical debido a la rotación del extremo de la viga.

Se pueden encontrar directrices y recomendaciones adicionales de diseño en el Capítulo 19 del AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications, y en Dexter et al. (1997).

C 14.5.6.9.3. Requisitos para ensayos y cálculos (Este artículo no tiene comentario)

C 14.5.6.9.4. Cargas y factores de carga

La carga de eje vertical para el diseño en el estado límite de fatiga es la mitad de la carga de eje de **232 kN** del camión de diseño, especificado en el artículo 3.6.1.2.2 del Reglamento CIRSOC 801, o **116 kN**. Esta reducción reconoce que los ejes principales del camión de diseño son una simplificación de los ejes en tándem reales. La simplificación no es satisfactoria para MBJS y otras juntas de expansión porque las juntas de expansión experimentan un ciclo de esfuerzos separado para cada eje individual.

Para el diseño en el estado límite de resistencia, hay dos combinaciones de carga que se pueden considerar. Sin embargo, al reconocer que cada eje principal del camión de diseño se debe realmente tratar como un tándem de **232 kN**, es claro que el tándem de diseño de **352 kN**, que no se usa para el diseño en el estado límite de fatiga, controlará el diseño en el estado límite de resistencia.

Las cargas especificadas para el diseño en el estado límite de fatiga representan en realidad intervalos de carga. Cuando estas cargas se aplican a un modelo de análisis estructural sin carga permanente aplicada en el modelo, el momento, la fuerza, o el esfuerzo que se calcula en todas partes representa un intervalo de momento, fuerza o esfuerzo. En servicio, estos intervalos de esfuerzo se deben en parte a la carga hacia abajo y en parte al rebote hacia arriba del efecto de impacto dinámico.

El incremento por carga dinámica (factor de impacto) del **75 por ciento** especificada para las juntas de tablero, se desarrolló de ensayos de campo en MBJS realizados en Europa y confirmados en ensayos de campo descritos en Dexter et al. (1997). El rango de esfuerzos debido a la carga más este incremento por carga dinámica representa la suma de la parte hacia abajo de ese intervalo de esfuerzos y la parte hacia arriba del intervalo de esfuerzos debido al rebote. Las medidas, descritas en Dexter et al. (1997), mostraron que la amplificación máxima hacia abajo de la carga estática es el **32 por ciento**, con alrededor del **31 por ciento** del rebote en la dirección ascendente.

El rango de carga de eje vertical con impacto para el diseño en el estado límite de fatiga es la mitad de la carga del eje más grande del camión de diseño especificado en el artículo 3.6.1.2.2 del Reglamento CIRSOC 801, multiplicada por **1,75** para incluir el incremento por carga dinámica, multiplicado por un factor de carga de **1,5** (o **2,0-0,75**), como se especifica en la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801 para el caso de Fatiga I, o **305 kN**. El factor de carga de **0,75** transforma los ejes del camión HS20 en los del camión de fatiga HS15, que se supone representa el intervalo efectivo de esfuerzos. El factor de **2,0** amplifica el intervalo de esfuerzos efectivos para el estado límite de fatiga hasta el intervalo de esfuerzos máximo esperado supuesto, el cual con el impacto, se requiere que sea menos que el umbral de fatiga del artículo 14.5.6.9.7a. La intención de las especificaciones de diseño de fatiga es que la carga estática sin considerar el impacto (**174 kN** o **305 kN/1,75**) debe ser excedida con poca frecuencia, ver Dexter et al. (1997).

Se tomaron medidas de campo en una variedad de lugares; de tal manera que se reflejarán las excitaciones típicas del camión en el incremento por carga dinámica. Sin embargo, una junta localizada en la estructura con asentamiento significativo o con deterioro de la calzada de aproximación se puede exponer a un incremento por carga dinámica **20 por ciento** mayor debido a la excitación dinámica de los camiones.

Se reportó que los MBJS con luces de vigas centrales menores a **1,20 m** tienen bajos efectos dinámicos (Pattis, 1993; Tschemmemegg y Pattis, 1994). Las disposiciones de diseño en el estado límite de fatiga del artículo 14.5.6.9.7, de todas maneras, limitan a cerca de **1,20 m** las luces de vigas centrales con altura típica de **0,12 m** de manera que no hay necesidad de una limitación específica de la luz.

En lugares con curvas horizontales cerradas (con radio menor de **150 m**) los momentos verticales pueden ser **20 por ciento** mayores que lo esperado. No se considera necesario el aumento en el incremento por carga dinámica para los casos en los cuales hay curvas horizontales cerradas si se limita la velocidad de los camiones en estas curvas. En este caso, el impacto dinámico será menor que para los camiones a toda velocidad y el impacto dinámico disminuido compensará aproximadamente el aumento en la carga vertical debido a la curva horizontal.

El incremento por carga dinámica es muy conservador cuando se aplica a la carga vertical para el diseño en el estado límite de resistencia, pues en éste último las cargas pico, y no los intervalos de carga, son de interés. En las mediciones hechas sobre MBJS en el campo, el momento máximo vertical hacia abajo fue de sólo **1,32 veces** el momento estático. Usualmente no hay consecuencias por esta simplificación conservadora ya que las dimensiones de los elementos son controladas típicamente por la fatiga y no por la resistencia.

Las cargas horizontales se toman como el **20 por ciento** de la carga vertical más el incremento por carga dinámica. Las mediciones tomadas en servicio, descritas en Dexter et al. (1997), indican que el intervalo de carga horizontal del **20 por ciento** es el mayor esperado por el tránsito a velocidades constantes, incluyendo el efecto de aceleración y frenado rutinario. El **20 por ciento** del intervalo de la carga horizontal para el diseño en el estado límite de fatiga representa el **diez por ciento** hacia adelante y el **diez por ciento** hacia atrás.

Cuando se considera el estado límite de resistencia, el requisito de carga horizontal del **20 por ciento** corresponde a la carga pico del **20 por ciento** aplicada en una dirección. La carga pico horizontal del **20 por ciento** es apropiada para el diseño en el estado límite de resistencia. Sin embargo, las mediciones de campo, descritas en Dexter et al. (1997), muestran que los efectos de las fuerzas horizontales que resultan del frenado extremo pueden ser mucho mayores que las de velocidades constantes. Por lo tanto, la carga pico horizontal del **20 por ciento** representa la fuerza de frenado extremo para el diseño en el estado límite de resistencia. Para el diseño en el estado límite de fatiga, los eventos extremos son tan poco frecuentes que usualmente no se necesita tenerlos en cuenta en la mayoría de los casos.

Se deben considerar especialmente las fuerzas horizontales si el MBJS se localiza cerca de un semáforo, señal de pare, o instalaciones de peaje o si la viga central es inusualmente ancha.

C 14.5.6.9.5. Distribución de las cargas de rueda

Para conveniencia del proyectista, el intervalo de carga de eje vertical con impacto para el diseño en el estado límite de fatiga sobre una viga central con ancho de **65 mm** o menos es **152 kN**. Sobre la viga central, cada fracción de la carga de rueda de **76 kN** se separa **1,8 m** de la otra, distribuida sobre un ancho de **0,50 m**, con una magnitud de **152 kN/m**.

El factor de distribución, es decir, la fracción del intervalo de carga de rueda de diseño asignado a una sola viga central, es una función de la carga aplicada, la presión de la rueda, el ancho de la abertura y el desajuste en la altura de la viga central. Desafortunadamente, muchos de los factores que afectan el factor de distribución son difíciles de cuantificar individualmente y más difíciles de incorporar en una ecuación o en un gráfico. Los métodos existentes para estimar el factor de distribución no incorporan todas estas variables y consecuentemente pueden ser susceptibles de error cuando se utilizan por fuera del intervalo destinado originalmente. En vista de esta incertidumbre, se usa un método tabulado simplificado para estimar el factor de distribución. Se permiten métodos alternos si se basan en datos de ensayos documentados.

Los factores de distribución de la carga de rueda indicados en la Tabla 14.5.6.9.5-1 se basan en ensayos de campo y de laboratorio, descritos en Dexter et al. (1997), y se hallaron acordes con los encontrados por otros investigadores. Estos factores de distribución se basan en el peor caso supuesto de máxima abertura de junta (ancho máximo de abertura). Calcular los intervalos de esfuerzo en la máxima abertura es aproximadamente el **21 por ciento** más conservador para el diseño en el estado límite de fatiga. Sin embargo, como se explica en Dexter et al. (1997), esta tendencia conservadora compensa la falta de conservatismo en la carga de eje del camión de diseño en fatiga.

En comparación con el umbral de fatiga, el intervalo de carga de eje estática mayorada, sin el incremento por carga dinámica, sería de **174 kN** (o **305 kN/1,75**, como se discute en el artículo C 14.5.6.9.4). El intervalo de carga estática de eje en el estado límite de fatiga se supone que representa una carga de eje que raramente se excede. Sin embargo, la carga de diseño en el estado límite de fatiga se multiplica por un factor de distribución que es el **21 por ciento** más grande, de manera que en efecto, esto es equivalente a un intervalo de carga estática de eje en el estado límite de fatiga de **210 kN** que raramente debe ser excedido, si se utilizan los factores de distribución correctos. Esto es más consistente con las estadísticas de los datos de pesaje en movimiento donde las cargas de eje con niveles de excedencia del **0,01 por ciento** fueron de hasta **261 kN**, ver Schilling (1990) o Nowak and Laman (1995).

Un factor de mitigación sobre el impacto de esta mayor carga de eje es que el factor de distribución disminuye con el incremento de la carga de eje. Debido a este efecto, las medidas reportadas por Dexter et al. (1997) muestran que a medida que las cargas de eje se incrementan de **174 kN** a **261 kN**, un incremento del **50 por ciento**, la carga en una viga central aumenta desde **91,5 kN** hasta sólo **106 kN**, un incremento de sólo el **16 por ciento**.

Aunque la máxima abertura de la junta ocurre sólo raras veces, es una suposición apropiada para verificar el estado límite de Resistencia I. Sin embargo no se justifica ningún conservatismo adicional en este caso, porque el incremento por carga dinámica es cerca del **32 por ciento** más conservadora para sólo el diseño en el estado límite de resistencia, como se discute en el artículo C 14.5.6.9.

Otra ventaja de usar factores conservadores de distribución es que puede compensar el ignorar los efectos del desajuste potencial en la altura de las vigas centrales. Estudios de laboratorio muestran que un desajuste en la altura de **3 mm** resultó en un aumento del **24 por ciento** en el factor de distribución medido, ver Dexter et al. (1997). Aunque dicho desajuste no es común, y las especificaciones recientes de construcción se supone que impiden este desajuste, es prudente prever que puede ocurrir.

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

Los cálculos para anclajes en los estados límite de resistencia y de fatiga se presentan en Dexter et al. (2002). Se encontró un diseño prescriptivo que satisface los requisitos del estado límite de resistencia y de fatiga presentados en este Reglamento, incluyendo la carga de quitanieve. Se puede adoptar este diseño sin presentar cálculos explícitos. Este diseño consiste en un espesor mínimo de viga de borde de acero de **9,5 mm** con pernos de anclaje (studs) soldados de acero Grado 50 (**345 MPa** en fluencia) de **12,7 mm** de diámetro con longitud de anclaje de **0,15 m** separados cada **0,30 m**. El perno soldado debe tener una profundidad mínima de recubrimiento de **75 mm**, excepto donde estén sobre las cajas de soporte, donde la profundidad del recubrimiento debe ser **50 mm**.

Analizar la viga central como una viga continua sobre apoyos rígidos arroja resultados que están de acuerdo con las deformaciones unitarias medidas para cargas en la dirección vertical. Para cargas en la dirección horizontal, el modelo de viga continua es conservador. Para las cargas en la dirección horizontal, puede obtenerse resultados más precisos tratando las vigas centrales y las barras de soporte como un pórtico coplanar articulado en los extremos de las barras de soporte.

Los esfuerzos máximos en las vigas centrales en las luces interiores se generan típicamente con una de las cargas de rueda centrada en la luz. Sin embargo, si las longitudes de las luces son iguales, las luces exteriores (la primera desde el bordillo) generalmente controlará el diseño. En un diseño óptimo, esta luz exterior debe ser alrededor del **10 por ciento** menor que las luces interiores típicas.

Las cargas verticales y horizontales de rueda se idealizan como cargas lineales a lo largo de los ejes de las vigas centrales, es decir, no es necesario tener en cuenta la excentricidad de las fuerzas sobre las vigas centrales. La reacción máxima de la viga central contra la barra de soporte se genera cuando la carga de rueda está centrada sobre dicha barra de soporte. Esta situación puede gobernar para el diseño de la garganta de la soldadura entre viga central/barra de soporte, para el diseño del estribo del sistema de una sola barra de soporte, o para el diseño de la barra de soporte.

Los MBJS instalados sobre estructuras oblicuas pueden requerir atención especial en el proceso de diseño.

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

C 14.5.6.9.7a. General

La resistencia, en el estado límite de fatiga, de un detalle particular en aluminio es aproximadamente **un tercio** de la resistencia en el estado límite de fatiga del mismo detalle en acero y, por lo tanto, el aluminio generalmente no se usa en MBJS.

La resistencia a la fluencia, la tenacidad a la fractura y la calidad de la soldadura no se han identificado como problemas particulares para MBJS.

El diseño de los detalles críticos de los MBJS estará generalmente controlado por el rango de esfuerzos en el estado límite de fatiga. También se tiene que verificar el estado límite de resistencia estático, de acuerdo con los requisitos del artículo 14.5.6.9.6 pero éste, usualmente, no controlará el diseño, a menos que el rango total de abertura y la luz de las barras de soporte sean muy grandes. Se pueden utilizar métodos y criterios de diseño alternativos si se demuestra a través de ensayos y/o de análisis que dichos métodos producen diseños seguros y resistentes a la fatiga. El nivel de confiabilidad del objetivo para el estado límite de fatiga es **97,5 por ciento** de probabilidad de que no se formen fisuras de fatiga durante la vida de servicio del MBJS.

No se incluyen disposiciones para el diseño en el estado límite de fatiga con vida de servicio finita (caso Fatiga **II**, como se define en el artículo 3.4.1 del Reglamento CIRSOC 801). Usualmente, la mayoría de las estructuras que requieren una junta de expansión modular soportan suficiente tránsito de camiones como para justificar un enfoque de diseño en el estado límite de fatiga con vida de servicio infinita (caso Fatiga **I**, como se define en el artículo 3.4.1 del Reglamento CIRSOC 801). Más aún, la incertidumbre con respecto al número de ejes por camión y el número de ciclos de fatiga por eje haría difícil un enfoque de diseño con vida de servicio finita, y se añade un costo pequeño a los MBJS al diseñar para fatiga con vida de servicio infinita.

La intención de este procedimiento es asegurar que el rango de esfuerzos del intervalo de carga en el estado límite de fatiga sea menor que el límite de fatiga de amplitud constante (CAFL, por sus siglas en inglés) y, de este modo, asegurar esencialmente una vida de servicio infinita para fatiga.

Los detalles críticos de fatiga de los MBJS incluyen:

- la conexión entre las vigas centrales y las barras de soporte;
- la conexión de cualquier fijación a las vigas centrales (por ejemplo, estabilizadores horizontales o balancines (“outriggers”)); y
- empalmes en las vigas centrales en fábrica y/o campo.

Los detalles de los MBJS pueden, en muchos casos, ser claramente asociados con detalles análogos dentro de las especificaciones de diseño para puentes. En otros casos, la asociación no es clara y se tiene que demostrar a través de ensayos de fatiga en escala real.

El detalle de principal importancia es la conexión entre las vigas centrales y las barras de soporte. Una conexión típica de soldadura de penetración total, que fue mostrada previamente, puede asociarse con la Categoría **C**. Las conexiones con soldadura de filete tienen una resistencia muy pobre a la fatiga y no se deben permitir.

Con respecto al rango de esfuerzos de flexión en la viga central, las conexiones abulonadas se deben clasificar como detalles de Categoría **D**. Como en cualquier construcción, se debe usar más de un bulón en conexiones abulonadas.

Las conexiones abulonadas en MBJS de una sola barra de soporte usualmente involucran un yugo o estribo a través del cual la barra de soporte se desliza y/o gira. Los empalmes de vigas centrales y vigas de borde soldados en campo también son susceptibles a la

fatiga. En construcción nueva, puede ser posible hacer un empalme con soldadura de penetración completa en el campo antes de que la junta se coloque en el “blockout”. Sin embargo, en trabajo de reconstrucción, con frecuencia la junta se instala en varias secciones a la vez para mantener el tránsito. En estos casos, el empalme se debe hacer después de que la junta se instale. Debido a la dificultad para el acceso y el posicionamiento, puede ser imposible obtener una soldadura de fondo de penetración completa en el campo después de que la junta se ha instalado, especialmente si hay más de una viga central. Los empalmes de junta de penetración parcial tienen una pobre resistencia inherente a la fatiga y no se deben permitir.

Se han utilizado empalmes abulonados y no se han reportado fisuración de estos detalles. Las placas de empalme abulonadas se comportan como una articulación, es decir, no toman momentos flexores. Como resultado, dichos detalles están sometidos solamente a pequeños rangos de esfuerzos de corte y no es necesario diseñarlos explícitamente para el estado límite de fatiga. Sin embargo, la articulación en la luz crea mayores momentos flexores en la conexión de la barra de soporte, por lo tanto, la luz con el empalme en campo tiene que ser mucho más pequeña que las luces típicas, a fin de reducir los rangos de esfuerzos aplicados en la conexión de la barra de soporte.

A menudo se sueldan placas deslizantes de acero inoxidable como placas de cubierta sobre las barras de soporte. La resistencia a la fatiga de los extremos de las placas de cubierta es Categoría **E**. Sin embargo, no ha habido ningún reporte de fisuras de fatiga en estos detalles de placas deslizantes en MBJS. La ausencia de problemas puede deberse a que el rango de esfuerzos de flexión en la barra de soporte es mucho menor en el lugar de los extremos de las placas deslizantes que en la conexión de la viga central, que es el detalle que usualmente controla el diseño en el estado límite de fatiga de la barra de soporte. También, es posible que la resistencia de fatiga sea mayor que la de las placas convencionales de cubierta, debido a la delgadez de la placa deslizante.

El estado límite de fatiga de las barras de soporte o de las vigas centrales, se debe también verificar en los lugares de fijaciones soldadas para reaccionar contra los dispositivos horizontales equidistantes. Adicionalmente a la verificación de las fijaciones de dispositivos equidistantes con respecto al rango de esfuerzos en la barra de soporte, también hay algo de momento en la fijación misma. Los dispositivos equidistantes toman parte de la carga horizontal, especialmente en sistemas de una sola barra de soporte. La carga horizontal también se transfiere a través de fricción en los apoyos y los resortes de conexión de la viga central. Sin embargo, como esta transferencia está influenciada por el comportamiento dinámico del MBJS, es muy difícil cuantificar la carga en las fijaciones.

Estas fijaciones se ensayan exhaustivamente con el ensayo de “vibración del movimiento de apertura” exigido en el artículo 14.5.6.9.3. Si las fijaciones de dispositivos equidistantes no tienen problemas reportados en dicho ensayo, no es necesario diseñarlos explícitamente como una fijación cargada para el estado límite de fatiga. Si hubiese problemas de fatiga con estas fijaciones, se descubriría en el ensayo de vibración del movimiento de apertura.

C 14.5.6.9.7b. Rango de tensiones de diseño

Como la carga de diseño del eje y los factores de distribución representan el “peor caso”, el análisis estructural para el diseño en el estado límite de fatiga no necesita representar condiciones peores que las promedio. Por lo tanto, para la carga de fatiga, la abertura supuesta puede ser igual o mayor que el intervalo medio de la abertura, usualmente **38**

mm, que está probablemente cerca de la media o apertura promedio. La abertura afecta principalmente la luz de la barra de soporte.

El artículo C 14.5.6.9.6 presenta directrices sobre el análisis estructural. Un MBJS instalado en estructuras oblicuas puede requerir atención especial en el proceso de diseño.

Se puede mostrar que sobre estructuras con junta oblicua mayor que **14 grados**, las ruedas en cada extremo del eje no rodarán simultáneamente sobre una viga central en particular. Esta carga asimétrica podría afectar significativamente, favorable o adversamente, el rango de tensiones en detalles sensibles a la fatiga. No obstante, un tramo de viga central oblicua está sometido a un rango de momento que incluye el momento negativo de la rueda en el tramo adyacente, seguido o precedido por el momento positivo de la rueda en el tramo.

Los estados de tensión en los lugares potenciales de fisuras en estas conexiones son multiaxiales y muy complicados. Se utilizan suposiciones simplificadas para obtener este intervalo de esfuerzos de diseño en los detalles de interés para tipos comunes de MBJS. La experiencia ha mostrado que estas suposiciones simplificadas son suficientes, siempre y cuando se apliquen las mismas suposiciones para calcular el intervalo de esfuerzos aplicados para graficar los datos de ensayos de fatiga, del cual se determinó la categoría de diseño del detalle.

El rango de tensiones de diseño se debe estimar en la sección crítica en el pie de la soldadura. Por ejemplo, la Figura C 14.5.6.9.7b-1 muestra el diagrama típico de momento para la barra de soporte que muestra la sección crítica. El intervalo de esfuerzos de flexión de diseño en la barra de soporte es un resultado de la suma del momento flexor creado por la reacción aplicada de la viga central y el momento adicional de vuelco desarrollado por la fuerza horizontal aplicada en la parte superior de la viga central.

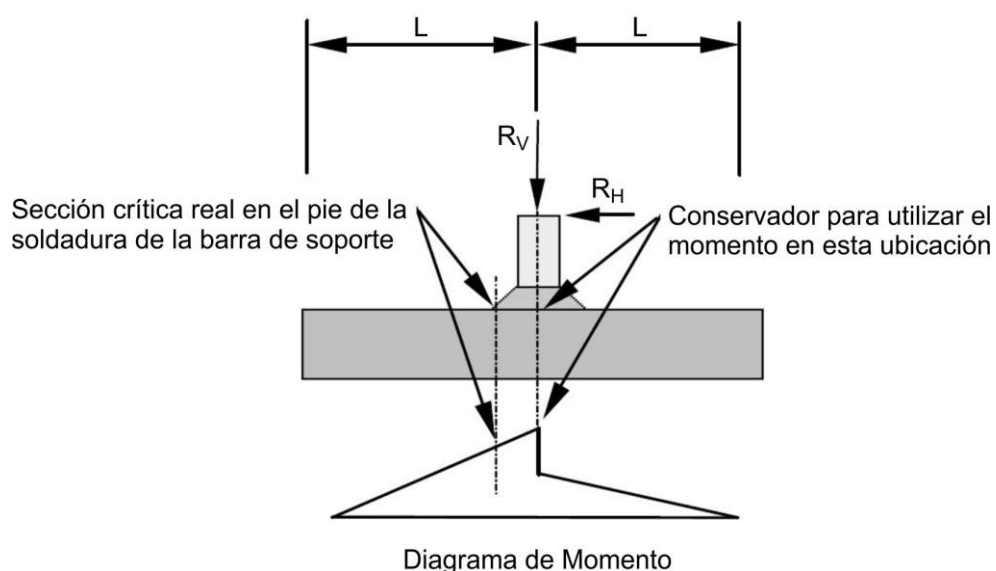


Figura C 14.5.6.9.7b-1. Diagrama típico de momento para una barra de soporte

Como se indica, es conservador estimar los momentos en el eje de la viga central.

Para todos los detalles, excepto para la conexión entre la viga central soldada a barras múltiples de soporte y la barra de soporte, el rango de tensiones de diseño se puede calcular utilizando el momento de diseño en el sitio de interés. Se proporcionan ecuaciones especiales para calcular el rango de tensiones para MBJS de barras múltiples de soporte soldadas. Estas ecuaciones especiales se basan en fisuración observada en ensayos de fatiga para MBJS de barras múltiples de soporte soldadas. Para el caso de conexiones entre la viga central soldada a barras múltiples de soporte y la barra de soporte, el rango de tensiones de diseño se obtiene tomando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados del rango de tensiones horizontales en la viga central o barra de soporte y el rango de tensiones verticales en la soldadura. Nótese que este método de combinar tensiones desprecia la contribución de esfuerzos de corte en la región. Los esfuerzos de corte se desprecian en este procedimiento porque son usualmente pequeños y muy difíciles de determinar con precisión. Se proporcionan más detalles en Dexter et al. (1997).

C 14.6. REQUISITOS PARA LOS APOYOS

C 14.6.1. General

Los apoyos resisten cargas relativamente grandes mientras acomodan grandes traslaciones o rotaciones.

El comportamiento de los apoyos es bastante variable, y hay muy poca evidencia experimental para definir ϕ con precisión para cada estado límite. Cuando no se justifica un estimativo más refinado, ϕ se toma igual a **1,0** en muchas partes del artículo 14.6. Los factores de resistencia están incluidos con frecuencia en las ecuaciones de diseño con base en criterio y experiencia, pero generalmente se consideran conservadores.

Las características de la flecha diferida y de rotación pueden resultar en daños de los apoyos y/o de la estructura.

Los apoyos cargados con menos del **20 por ciento** de su capacidad vertical requieren diseño especial (FHWA, 1991).

Los apoyos pueden proporcionar un cierto grado de resistencia ante carga horizontal, limitando el radio de la superficie esférica. Sin embargo, la habilidad para resistir cargas horizontales es función de la reacción vertical sobre el apoyo, que podría reducirse durante terremotos u otras cargas de eventos extremos. En general, no se recomienda que los apoyos tengan relaciones entre carga horizontal y vertical de más de **40 por ciento** a menos que éstos tengan el propósito de actuar como fusibles o que se permita el daño irreparable.

C 14.6.2. Características

Los apoyos prácticos a menudo combinarán más de una función para alcanzar los resultados deseados. Por ejemplo, un apoyo tipo Pot se puede combinar con una superficie deslizante de PTFE para permitir traslación y rotación.

La información de la Tabla 14.6.2-1 se basa en criterio general y observaciones, y obviamente habrá algunas excepciones. Es probable que apoyos listados como adecuados para una aplicación específica sean adecuados con poco o ningún esfuerzo por parte del Proyectista Estructural, aparte de una buena práctica de diseño y detallado. Apoyos listados como inadecuados probablemente sean marginados, incluso si el

Proyectista Estructural hace esfuerzos extraordinarios para que el apoyo funcione correctamente. Apoyos listados como adecuados para aplicación limitada pueden trabajar si los requerimientos de carga y rotación no son excesivos.

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

C 14.6.3.1. Fuerzas y movimientos horizontales

La restricción del movimiento resulta en una fuerza o un momento correspondiente en la estructura. Estos efectos de fuerza se deben calcular teniendo en cuenta la rigidez del puente y de los apoyos. Ésta última se debe estimar por medio de los métodos descritos en el artículo 14.7. En algunos casos, la rigidez del apoyo depende del tiempo y de la temperatura, así como del movimiento. Por ejemplo, el proyectista debe notar que en temperaturas frías, próximas a las temperaturas mínimas propiamente especificadas para la zona, el módulo de corte, **G**, del elastómero puede alcanzar hasta **cuatro veces** el correspondiente a **23°C**. Para mayor información, ver el artículo 14.7.5.2 y AASHTO M 251.

Los apoyos de expansión deben permitir suficiente movimiento en su dirección no restringida para prevenir falla prematura, debida a desplazamientos sísmicos y de otros eventos extremos.

A menudo, los apoyos no resisten la carga simultáneamente, y no es poco común que solamente se dañen algunos de los apoyos en un extremo del tramo. Cuando esto ocurre, se debe considerar que se puede presentar alta concentración de carga en el lugar de los apoyos no dañados. El número de apoyos involucrados se debe basar en el tipo, diseño, y detallado de los apoyos utilizados, y en la oblicuidad del puente. Ángulos de oblicuidad menores a **15 grados** usualmente se ignoran. Los ángulos de oblicuidad mayores a **30 grados** usualmente se consideran significativos y son necesarios considerarlos en el análisis. Los puentes oblicuos tienden a rotar bajo carga sísmica, y los apoyos se deben diseñar y detallar para atender este efecto.

Las fuerzas horizontales transmitidas por los apoyos a otros elementos del puente no incluyen las fuerzas asociadas con las deformaciones de elementos rígidos del apoyo, o por contacto duro de metal contra metal de los componentes del apoyo, porque las disposiciones del artículo 14.7 tienen como fin evitar dicho contacto.

Se deben considerar las máximas fuerzas en el estado límite de evento extremo cuando el apoyo no está diseñado para actuar como un fusible, o cuando no se permite el daño irreparable.

Se debe considerar especialmente los apoyos que soportan elevadas cargas horizontales con relación a la carga vertical (SCEF, 1991).

La ecuación 14.6.3.1-1 es función de las fuerzas verticales y de fricción, y es una medida de la fuerza horizontal máxima que podría transmitirse a la superestructura o a la subestructura antes de que ocurra el deslizamiento. La ecuación A13.3.2-2 es también una medida de la fuerza horizontal máxima transmitida, pero depende principalmente del módulo de corte (rigidez) del elastómero y de las fuerzas laterales aplicadas, tales como las de frenado.

C 14.6.3.2. Momento

Cuando el apoyo no está diseñado para actuar como fusible o cuando no se permite el daño irreparable, se deben considerar las máximas fuerzas en el estado límite de evento extremo.

La fuerza tangencial en apoyos deslizantes curvos es causada por la resistencia a fricción en la superficie curva, y actúa alrededor del centro de la superficie curva. M_u es el momento debido a esta fuerza transmitida por el apoyo. El momento impuesto en componentes individuales de la estructura del puente puede ser diferente de M_u , dependiendo de la localización del eje de rotación y se puede calcular por medio de un método racional.

La curva carga–flecha de un apoyo elastomérico no es lineal, así E_c depende de la carga. Una aproximación aceptable para el módulo efectivo es:

$$E_c = 4,8 G S^2 \quad (C 14.6.3.2-1)$$

donde:

S factor de forma de una capa individual de elastómero.

G módulo de corte del elastómero, en MPa.

Para una aproximación más precisa del módulo efectivo, el denominador de la ecuación 14.7.5.3.3-15 se puede usar junto con un B_a calculado de la ecuación C 14.7.5.3.3-7 o de la ecuación C 14.7.5.3.3-8.

El factor **1,60** en la ecuación 14.6.3.2-3 es un multiplicador promedio para la carga total sobre el apoyo, para estimar una carga en el estado límite de resistencia, M_u , con base en la rotación del estado límite de servicio, θ_s .

El factor **1,25** en la ecuación 14.6.3.2-4 es un multiplicador para la carga total sobre el apoyo, para estimar una carga en el estado límite de resistencia, M_u , con base en la rotación del estado límite de servicio, θ_s , y del esfuerzo, σ_s .

La rigidez rotacional, K , del CDP se obtiene de:

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

El momento, M_u , puede ser crucial para el diseño del CDP, porque los CDP móviles se diseñan normalmente con superficies deslizantes de PTFE para desarrollar la capacidad de movimiento traslacional. El M_u en la almohadilla del apoyo resulta en esfuerzo de aplastamiento en el borde del PTFE, en adición al esfuerzo de compresión promedio. El PTFE en las almohadillas CDP no está confinado, y este momento puede limitar el esfuerzo de aplastamiento en el PTFE a un esfuerzo algo menor que el permitido en el CDP solo.

C 14.6.4. Fabricación, instalación, ensayo, y transporte

Con respecto a la fabricación, instalación, ensayo y transporte de apoyos tipo multirotacionales se deben aplicar las disposiciones proporcionadas por AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications (SCEF, 1991).

La temperatura de montaje se usa en la instalación de apoyos de expansión.

Se recomienda un gráfico de compensación para el montaje de vigas y alineación de los apoyos, para tener en cuenta las incertidumbres en la temperatura de instalación en el momento del diseño. Los gráficos de compensación se deben definir en incrementos apropiados y se deben incluir en los planos de diseño, de manera tal que la posición del apoyo se pueda ajustar para tener en cuenta las diferencias entre temperatura de instalación y la temperatura de instalación supuesta en el diseño.

C 14.6.5. Disposiciones para apoyos ante eventos sísmicos y otros eventos extremos

C 14.6.5.1. General

Eventos extremos diferentes de terremotos, para los cuales la componente horizontal de carga es muy grande, incluyen colisión de vehículos, colisión de embarcaciones, y vientos de alta velocidad.

C 14.6.5.2. Aplicabilidad

Las disposiciones para diseño, especificación, ensayo, y aceptación de apoyos aisladores se encuentran en AASHTO (1999).

C 14.6.5.3. Criterios de diseño

El comentario proporcionado abajo trata específicamente las consideraciones del diseño sísmico. Sin embargo, también es aplicable a otros eventos extremos de carga horizontal, tales como colisión de vehículos y embarcaciones las cuales son de naturaleza dinámica pero con una duración muy corta. Tener en cuenta los efectos de otros eventos extremos tales como el viento o las olas, para el diseño de apoyos, puede requerir consideraciones especiales que no se tratan completamente en este Reglamento.

Los apoyos tienen un efecto significativo en la respuesta sísmica global del puente, proporcionando el vínculo de transferencia de la carga sísmica entre la superestructura rígida y masiva y la rígida y masiva subestructura. Como resultado, puede ocurrir una concentración muy alta (y difícil de predecir) de carga en los componentes del apoyo. Las funciones principales de los apoyos son las de resistir las cargas verticales debido a la carga permanente y a la sobrecarga, y la de permitir los movimientos de la superestructura debido a la sobrecarga y a los cambios de temperatura. La traslación se logra por medio de rodillos, balancines, o por la deformación a corte del elastómero, o mediante la provisión de una superficie de deslizamiento de bronce o de aleación de cobre o de PTFE. La rotación se logra por medio de articulaciones, elastómeros confinados o sin confinar, o superficies deslizantes esféricas. La resistencia a la traslación se proporciona con componentes del apoyo o elementos adicionales de restricción.

Históricamente, los apoyos han sido muy susceptibles ante las cargas sísmicas. Carga desigual durante eventos sísmicos y cargas más altas que las previstas han causado

varios tipos y niveles de daños en los apoyos. Para permitir movimientos, a menudo los apoyos contienen elementos vulnerables ante cargas elevadas y de impactos.

Es necesario evaluar el comportamiento de los apoyos durante terremotos pasados en contexto con el comportamiento total del puente y el comportamiento de los elementos de la superestructura y de la subestructura conectados a los apoyos. Los apoyos rígidos se han asociado con los daños en los pórticos transversales extremos y en el hormigón de los cabezales de pilas o estribos. En algunos casos, el daño y el deslizamiento de los apoyos han prevenido mayores daños.

Los criterios para el diseño sísmico de los apoyos deben considerar las características de resistencia y de rigidez de la superestructura y de la subestructura. Para minimizar el daño, el sistema de resistencia sísmica, conformado por diafragmas o pórticos transversales extremos, apoyos, y la subestructura, debe permitir un cierto grado de disipación de energía, movimiento, o deformación plástica, incluso si esos efectos no se cuantifican como se haría para apoyos de aislamiento sísmico o para fusibles estructurales.

Con base en su rigidez horizontal, los apoyos se pueden dividir en cuatro categorías:

- Apoyos rígidos que transmiten cargas sísmicas, sin ningún movimiento o deformación;
- Apoyos deformables que transmiten cargas sísmicas limitados por deformaciones plásticas o deslizamiento restringido de los componentes del apoyo;
- Apoyos tipo aisladores sísmicos que transmiten cargas sísmicas reducidas, limitadas por medio de disipación de energía; y,
- Fusibles estructurales que se diseñan para fallar a cierta carga prescrita.

Para los apoyos tipo deformables se puede permitir, para el sismo de diseño, el daño limitado y reparable y el desplazamiento del apoyo.

Se debe considerar un apoyo tipo deformable cuando los componentes de la superestructura y de la subestructura, adyacentes al apoyo, son muy rígidos.

Los apoyos tipo aisladores sísmicos no están incluidos dentro del alcance de este Reglamento, pero también se deben considerar.

Se ha demostrado que con el uso de los apoyos elastoméricos se reduce la fuerza transmitida a la subestructura.

El apoyo también se puede diseñar para actuar como "fusible estructural" que fallará ante una carga predeterminada cambiando la articulación de la estructura, posiblemente cambiando su periodo y por ende su respuesta sísmica, y resultando probablemente en mayores movimientos. Esta estrategia se permite como alternativa a las disposiciones del artículo 14.6.5.2. Dicha alternativa requerirá la completa consideración de las fuerzas y movimientos y de los detalles de la reparación o el reemplazo del apoyo. También requiere que el proyectista se enfrente con la dificultad inherente del detallado de un elemento estructural para que falle confiablemente con una carga predeterminada.

C 14.7. DISPOSICIONES ESPECIALES DE DISEÑO PARA APOYOS

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

C 14.7.1.1. General

Los apoyos cilíndricos no contienen ninguna parte deformable y son susceptibles de daño si la superestructura rota alrededor de un eje perpendicular al eje del apoyo. Por consiguiente, no son adecuados para puentes en los cuales el eje de rotación puede variar significativamente bajo diferentes situaciones, tales como los puentes con gran oblicuidad. También son inadecuados para uso en regiones sísmicas porque el corte transversal generado por la carga sísmica puede causar un momento de vuelco sustancial.

Para garantizar el buen desempeño de los apoyos mecánicos es esencial un adecuado mantenimiento. La suciedad atrae y retiene la humedad, la cual, combinada con elevados esfuerzos locales de contacto, puede promover la corrosión bajo tensión. Los apoyos metálicos, en particular, se tienen que diseñar para un fácil mantenimiento.

Los balancines pueden ser adecuados para aplicaciones en las cuales el movimiento horizontal de la superestructura, en relación con la subestructura, está dentro del intervalo disponible de movimiento, después de considerar otros movimientos aplicables.

C 14.7.1.2. Materiales

El acero al carbono ha sido el acero utilizado tradicionalmente en apoyos mecánicos por sus buenas propiedades mecánicas. Se puede considerar el endurecimiento de la superficie. La resistencia a la corrosión es también importante. Puede que el uso de acero inoxidable para las superficies de contacto sea económico cuando se consideran los costos ciclo-vida útil. Los aceros meteorizados se deben utilizar con cautela pues su resistencia a la corrosión se reduce con frecuencia significativamente por el desgaste mecánico en la superficie.

C 14.7.1.3. Requisitos geométricos

La selección del radio para una superficie curva es un compromiso: un radio grande resultará en bajos esfuerzos de contacto pero incrementará las rotaciones del punto de contacto y viceversa. Esto puede ser importante si, por ejemplo, un apoyo rotacional está coronado por una superficie deslizante de PTFE debido a que este material es sensible a la carga excéntrica.

Un rodillo cilíndrico está en equilibrio neutro. Las disposiciones para apoyos con dos superficies curvas alcanzan el equilibrio, si no es estable, por lo menos neutro.

C 14.7.1.4. Esfuerzos de contacto

Las cargas en el estado límite de servicio están limitadas de manera tal que el contacto genere esfuerzos de corte no mayores que $0,55 \cdot F_y$ o esfuerzos de compresión superficiales no mayores que $1,65 \cdot F_y$. El esfuerzo máximo de compresión está en la superficie, y el máximo esfuerzo de corte ocurre justo bajo ella.

Las fórmulas se derivaron del valor teórico para el esfuerzo de contacto entre dos cuerpos elásticos (Roark and Young, 1976). Esta teoría se basa en la suposición de que el ancho del área de contacto es mucho menor que el diámetro de la superficie curva.

Si las dos superficies tienen curvaturas de signos opuestos, el valor de D_2 es negativo. Esta sería una situación inusual para apoyos de puentes.

Si una cuidadosa inspección indica que apoyos existentes que no satisfacen estas disposiciones, se desempeñan bien y no hay evidencia de zurcado o rugosidades, que puedan ser evidencia de fluencia local, entonces puede ser viable el reúso del apoyo. Se puede proceder con la evaluación de apoyos tipo rollers o rockers (rodillos o balancines), con superficies planas de unión, utilizando la siguiente disposición histórica:

La carga por milímetro lineal sobre los apoyos rockers o rollers (balancines o rodillos), en el estado límite de servicio, no debe exceder los valores obtenidos por las siguientes fórmulas:

- Diámetros de hasta **0,64 m**:

$$p = \frac{F_y - 90}{138} (4140 d) \quad (\text{C 14.7.1.4-1})$$

- Diámetros entre **0,64 m** y **3,17 m**:

$$p = \frac{F_y - 90}{138} 3300 \sqrt{d} \quad (\text{C 14.7.1.4-2})$$

donde:

- p carga lineal admisible en el estado límite de servicio, en kN/m.
- d diámetro del apoyo rocker o roller (balancín o rodillo), en m.
- F_y tensión de fluencia mínima especificada del acero más débil en la superficie de contacto, en MPa.

Si las cargas se incrementan significativamente por la rehabilitación del apoyo o porque la superficie de unión es curva, puede ser más apropiado cumplir con las disposiciones actuales.

Los dos diámetros tienen el mismo signo si los centros de las dos superficies curvas en contacto están en el mismo lado de la superficie de contacto, tal como es el caso en el que un eje circular se ajusta en un hueco circular.

C 14.7.2. Superficies deslizantes de “Polytetrafluorethylene – PTFE”

El PTFE, también conocido como TFE, se usa comúnmente en apoyos para puentes en los Estados Unidos. Este artículo no cubre las guías. Los requisitos de fricción para guías son menos rigurosos, y se pueden utilizar para ellos una variedad más amplia de materiales y métodos de fabricación.

C 14.7.2.1. Superficie de PTFE

El PTFE se puede proporcionar en láminas o en telas tejidas con fibras. Las láminas se pueden rellenar con fibras de refuerzo para reducir la fluencia lenta, como ser, el flujo en frío, y el desgaste, o se pueden hacer con resina pura. El coeficiente de fricción depende de muchos factores, tales como la velocidad de deslizamiento, la presión de contacto, la lubricación, la temperatura, y propiedades tales como el acabado de la superficie de unión (Campbell and Kong, 1987). Las propiedades físicas de los materiales que influyen sobre el coeficiente de fricción no se comprenden bien aún, pero se sabe que la estructura cristalina del PTFE es importante, y es afectada fuertemente por el control de calidad ejercido durante el proceso de fabricación.

Los hoyuelos vacíos pueden actuar como depósitos para contaminantes (polvo, etc.) lo que ayuda a mantener estos contaminantes fuera de la superficie de contacto.

C 14.7.2.2. Superficie de unión

El acero inoxidable es la superficie de unión comúnmente más utilizada para las superficies deslizantes de PTFE. El aluminio anodizado se ha utilizado algunas veces en apoyos esféricos y cilíndricos y se pueden considerar si se proporciona documentación de experiencia, aceptable para el Propietario. El acabado de esta superficie de unión es extremadamente importante porque afecta el coeficiente de fricción. Es apropiado el acero inoxidable ASTM A240, Tipo 304, con un acabado de la superficie de **0,4 μm RMS** o mejor, pero las medidas superficiales son inherentemente inexactas, y por ende no es una opción especificada. Se requieren ensayos de fricción para el PTFE y su superficie de unión debido a la cantidad de variables involucradas.

C 14.7.2.3. Espesor mínimo

C 14.7.2.3.1. PTFE

Se especifica un espesor mínimo para asegurar un apoyo uniforme y admitir el desgaste.

Durante los primeros pocos ciclos de movimiento, pequeñas cantidades de PTFE se transfieren a la superficie de unión y contribuyen subsecuentemente a la muy baja fricción alcanzada. Este desgaste es aceptable y deseable.

El PTFE continúa desgastándose con el tiempo (Campbell and Kong, 1987) y con el movimiento; el desgaste se intensifica con superficies deterioradas o rugosas. El desgaste no es deseable porque, usualmente, causa mayores fricciones y reduce el espesor del PTFE restante. El PTFE plano, no lubricado, se desgasta más severamente que el material lubricado. La evidencia sobre la tasa de desgaste es incierta. Altas velocidades, tales como las asociadas con los movimientos del tránsito, parecen ser más dañinas que las lentas debidas a los movimientos térmicos. Sin embargo, se pueden evitar colocando la superficie deslizante sobre un apoyo elastomérico que absorberá pequeños movimientos longitudinales. En este Reglamento no se establece ninguna otra tolerancia para el desgaste debido a la limitada investigación disponible para cuantificar o estimar el desgaste en función del tiempo y el movimiento. Sin embargo, el desgaste puede causar finalmente la necesidad de reemplazar el PTFE, por lo que es conveniente tener en cuenta en el diseño original el futuro reemplazo.

C 14.7.2.3.2. Superficies de unión de acero inoxidable

Los requisitos de espesor mínimos para la superficie de unión tienen la intención de prevenir su arrugado o pandeo. Este material de superficie es usualmente bastante delgado para minimizar el costo del acabado de la superficie de unión. Algunas superficies de unión, particularmente las que tienen superficies curvas, están hechas con acero al carbono sobre el cual se deposita una soldadura de acero inoxidable. Esta superficie soldada se termina y se pule para alcanzar el acabado deseado. En algunos casos se ha requerido un espesor mínimo de **2,5 mm** para capas soldadas después de lijar y pulir.

C 14.7.2.4. Presión de contacto

El esfuerzo promedio de contacto se debe determinar 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 en base a la carga del estado límite de servicio y el momento máximo del estado límite de servicio transferido por el apoyo.

La presión de contacto se tiene que limitar para prevenir la fluencia lenta o flujo plástico excesivo del PTFE, que causa que el disco de PTFE se expanda lateralmente bajo el esfuerzo de compresión y puede contribuir a la falla por separación o pérdida de adherencia. La expansión lateral se controla poniendo el PTFE en bajo relieve en una placa de acero o reforzando el PTFE, pero hay consecuencias adversas asociadas con ambos métodos. La carga de borde puede ser particularmente perjudicial porque causa grandes esfuerzos y flujo potencial en un área local cerca del borde del material en contacto severo entre las superficies de acero. La presión promedio y de contacto del borde, en la Tabla 14.7.2.4-1, están en proporción adecuada entre sí con relación a la investigación actual disponible. Puede ser que en el futuro se disponga de mejores datos. Éstos están en el intervalo inferior de los utilizados en Europa.

C 14.7.2.5. Coeficiente de fricción

El factor de fricción disminuye con la lubricación y con el aumento del esfuerzo de contacto pero aumenta con la velocidad de deslizamiento (Campbell and Kong, 1987). El coeficiente de fricción también tiende a aumentar con bajas temperaturas. La fricción estática es mayor que la dinámica, y el coeficiente dinámico de fricción es mayor para el primer ciclo de movimiento que para ciclos posteriores. La fricción aumenta con el incremento de la rugosidad de la superficie de unión y con el descenso de la temperatura. Los factores de fricción utilizados en ediciones previas de la AASHTO Standard Specifications, son adecuados para usar en PTFE lubricados y con hoyuelos. Ellos son muy pequeños para el PTFE plano y seco, comúnmente utilizado en los Estados Unidos. Este Reglamento reconoce este hecho. Casi todas las investigaciones hasta la fecha se han ejecutado sobre PTFE lubricado y con hoyuelos. Los coeficientes de fricción dados en la Tabla 14.7.2.5-1 no son aplicables a movimientos de alta velocidad tales como los que ocurren en eventos sísmicos. Los coeficientes de fricción de velocidad sísmica se tienen que determinar de acuerdo con la AASHTO Guide Specifications for Seismic Isolation Design, hasta tanto se desarrolle un documento específico al respecto. Coeficientes de fricción, algo menores que los dados en la Tabla 14.7.2.5-1, son posibles con cuidado y con control de calidad.

Es esencial contar con ensayos de certificación del lote de producción para superficies deslizantes de PTFE, principalmente para asegurar que la fricción realmente lograda en el apoyo es adecuada para su diseño. El ensayo es el único método confiable para certificar el coeficiente de fricción y el comportamiento del apoyo.

La contaminación de la superficie deslizante con polvo y tierra aumenta el coeficiente de fricción e incrementa el desgaste del PTFE. Para prevenir la contaminación, el apoyo debe ser sellado por el constructor y no se debe separar del sitio de construcción. Para prevenir la contaminación y el hendidado del PTFE, el acero inoxidable debe usualmente estar encima y ser más grande que el PTFE, además de su máxima distancia de desplazamiento.

El PTFE tejido se forma a veces tejiendo hilos puros de PTFE con un material de refuerzo. Estos hilos de refuerzo pueden aumentar la resistencia a la fluencia lenta y al flujo en frío y pueden tejerse de tal manera que los hilos de refuerzo no aparezcan sobre la superficie deslizante. Esta separación es necesaria si se van a usar los coeficientes de fricción proporcionados en la Tabla 14.7.2.5-1.

Si no hay lubricante en los hoyuelos, éstos tienden a llenarse y aplanarse, resultando en una superficie parecida a la de un PTFE sin relleno.

C 14.7.2.6. Fijaciones

C 14.7.2.6.1. PTFE

El bajo relieve es la manera más efectiva de prevenir la fluencia lenta del PTFE sin relleno. Los discos de PTFE se pueden también adherir en el bajo relieve, pero esto es opcional y sus beneficios son discutibles. La adhesión ayuda a retener el PTFE en el bajo relieve durante la vida de servicio del puente, pero hace más difícil el reemplazo del disco. Si el adhesivo no se aplica uniformemente puede causar una superficie deslizante desigual de PTFE que podría llevar a un desgaste prematuro. Algunos fabricantes cortan el PTFE con un tamaño levemente superior y lo pre-enfrían antes de su instalación, obteniendo así un ajuste más preciso a temperatura ambiente.

A veces el PTFE se adhiere a la capa de recubrimiento superior del apoyo elastomérico. Esta capa debe ser relativamente gruesa y dura para evitar la ondulación del PTFE (Roeder et al., 1987). El PTFE se debe ranurar antes de adherirlo con epóxi con el fin de obtener una buena adhesión. Sin embargo, la luz ultravioleta ataca el grabado y puede resultar en delaminación, de manera tal que el PTFE expuesto a luz ultravioleta no se debe fijar únicamente por medio de adherencia.

C 14.7.2.6.2. Superficie de unión

Las restricciones sobre la fijación de la superficie de unión tienen la intención principal de asegurar que la superficie sea plana y que mantenga en todo momento contacto uniforme con el PTFE, sin afectar adversamente la fricción de la superficie o hendir o cortar el PTFE.

La superficie de unión de superficies deslizantes curvas debe ser mecanizada hasta el acabado requerido de la superficie de una sola pieza.

C 14.7.3. Apoyos con superficies deslizantes curvas

C 14.7.3.1. General

Estas disposiciones están dirigidas principalmente a apoyos esféricos o cilíndricos con superficies deslizantes de bronce o de PTFE.

En algunos casos se ha requerido que el espesor central mínimo de las superficies esféricas cóncavas sea por lo menos de **19 mm** y que la distancia mínima libre vertical entre las partes que rotan y las que no rotan sea la dada por las ecuaciones C 14.7.3.1-1 o C 14.7.3.1-2 pero no menor que **0,0032 m**.

- Para apoyos rectangulares esféricos o curvos:

$$c = 0,7 D \theta_u + 0,0032 \quad (\text{C 14.7.3.1-1})$$

- Para apoyos circulares esféricos o redondos:

$$c = 0,5 D \theta_u + 0,0032 \quad (\text{C 14.7.3.1-2})$$

donde:

θ_u rotación de diseño de las combinaciones de carga de resistencia aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801 o del artículo 14.4.2.1, en rad.

Similarmente, el espesor mínimo del borde sobre la superficie convexa ha sido limitado, a veces, a **19 mm** para apoyos sobre hormigón y a **12,7 mm** para apoyos sobre acero.

C 14.7.3.2. Resistencia del apoyo

La geometría del apoyo esférico controla su capacidad para resistir cargas laterales, su comportamiento momento-rotación, y sus características de fricción. La geometría es relativamente fácil de definir, pero tiene algunas consecuencias que no son ampliamente apreciadas. Los esfuerzos pueden variar sobre la superficie de contacto de los apoyos esféricos o cilíndricos. Las superficies esféricas y cilíndricas no se pueden mecanizar tan precisamente como una superficie lisa plana. Es importante que el radio de las superficies convexa y cóncava esté dentro de los límites apropiados. Si estos límites se sobrepasan el bronce se puede fisurar debido al contacto severo del apoyo, o puede haber desgaste y daños excesivos debido a la fluencia lenta o flujo en frío del PTFE. Los límites de esfuerzo utilizados en este Capítulo se basan en niveles promedio de esfuerzo de contacto.

C 14.7.3.3. Resistencia a carga lateral

La geometría de un apoyo curvo combinada con cargas gravitatorias puede proporcionar resistencia considerable a cargas laterales. A menudo una restricción externa es un método más confiable para resistir grandes cargas laterales en los estados límite de servicio y de resistencia, y en el estado límite de evento extremo cuando no se pretende que el apoyo actúe como un fusible o cuando no se permite el daño irreparable.

Las cargas aplicadas para la determinación del ángulo β y para la verificación de la carga aplicada están en el estado límite de servicio porque los esfuerzos límites, σ_{ss} , se basan en servicio. La rotación en el estado límite de resistencia se utiliza porque los apoyos con superficies deslizantes curvas son susceptibles a consecuencias más serias si se sobrecargan o se sobrerotan.

La geometría de un apoyo deslizante cilíndrico se muestra en la posición deformada en la Figura C 14.7.3.3-1.

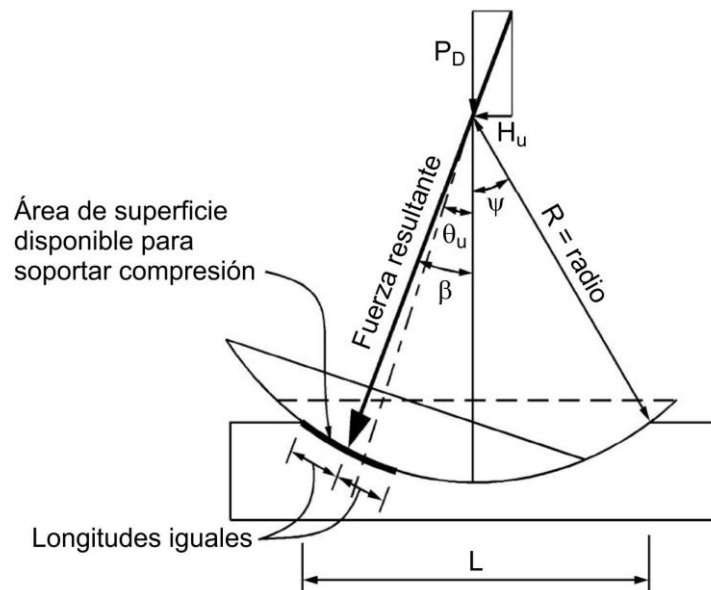


Figura C 14.7.3.3-1. Geometría del apoyo

C 14.7.4. Apoyos tipo Pot

C 14.7.4.1. General (Este artículo no tiene comentario)

C 14.7.4.2. Materiales

Los elastómeros más blandos permiten la rotación más fácilmente y son preferidos.

Los aceros resistentes a la corrosión, tales como AASHTO M 270M/M 270 (ASTM A709/A709), Grado 50W, no se recomiendan para aplicaciones donde puedan estar en contacto con agua salada o permanentemente húmedos, a menos que toda su superficie este completamente protegida contra la corrosión. La mayoría de los apoyos tipo Pot se fabrican de una placa sólida, de manera que el uso de aceros de alta resistencia para reducir el espesor de la pared resulta solamente en una reducción muy pequeña en el volumen del material utilizado.

También se deben considerar otras propiedades, tales como la resistencia a la corrosión, facilidad de maquinado, compatibilidad electroquímica con las vigas de acero, disponibilidad y precio. Se menciona la disposición acerca de la dureza relativa para evitar desgaste o daño en la superficie interna del cilindro de confinamiento con el consecuente riesgo de falla en el sello.

La selección de latón para los anillos de sellado refleja la práctica actual.

C 14.7.4.3. Requisitos geométricos

Los requisitos de este artículo están destinados a evitar que el sello se escape y que el apoyo se bloquee, incluso bajo las condiciones más adversas. El uso de la rotación de diseño, θ_u , significa que el proyectista deberá tener en cuenta los movimientos previstos debidos a las cargas y los debidos a las tolerancias de fabricación e instalación, incluyendo la rotación impuesta sobre el apoyo debido a la falta de nivel de otros

componentes del puente, tales como la superficie inferior de vigas prefabricadas, y desalineación permitida durante la construcción. La flecha vertical generada por la carga de compresión se debe también tener en cuenta porque reducirá la holgura disponible. Para determinar la holgura se deben considerar los bulones de anclaje que se proyecten por encima de la placa de base.

Se puede incrementar la capacidad de rotación utilizando un cilindro de confinamiento más profundo, una almohadilla elastomérica más gruesa, y una holgura vertical mayor entre la pared del cilindro de confinamiento y el pistón o superficie deslizante. El espesor mínimo de la almohadilla aquí especificado da como resultado flechas en el borde debido a la rotación no mayor que el **15 por ciento** del espesor nominal de la almohadilla. La Figura C 14.7.4.3-1 y las ecuaciones C 14.7.4.3-1 y C 14.7.4.3-2 se pueden utilizar para verificar la holgura.

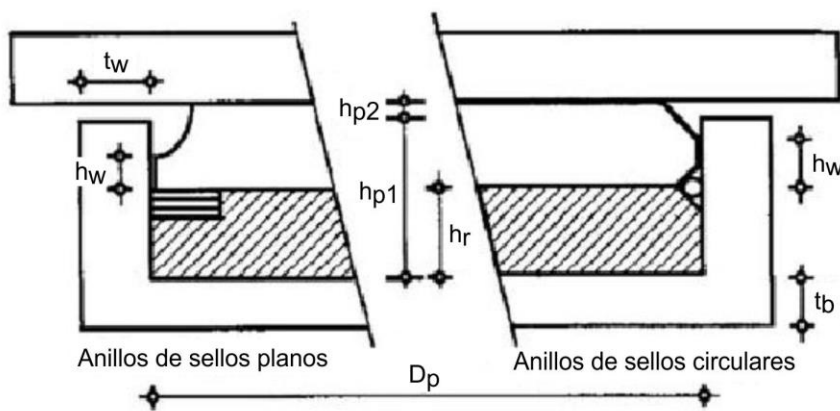


Figura C 14.7.4.3-1. Apoyo tipo Pot – Dimensiones críticas para holguras

La profundidad de la cavidad del cilindro de confinamiento, h_{p1} , se puede determinar como:

$$h_{p1} \geq (0,5 D_p \theta_u) + h_r + h_w \quad (\text{C 14.7.4.3-1})$$

donde:

h_r espesor del disco elastomérico, en m.

h_w altura desde el tope del ala del pistón hasta la parte inferior del pistón, en m.

La holgura vertical entre el tope del pistón y el tope de la pared del cilindro de confinamiento, h_{p2} , se puede determinar como:

$$h_{p2} \geq R_o \theta_u + 2 \delta_u + 0,0032 \quad (\text{C 14.7.4.3-2})$$

donde:

δ_u flecha vertical por las combinaciones de carga de resistencia aplicables de la Tabla 3.4.1-1 del Reglamento CIRSOC 801, en m.

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.

Nótese que la ecuación C 14.7.4.3-1 no contiene ninguna tolerancia para la flecha vertical δ_u . Esta omisión es conservadora. La rotación de diseño, θ_u , ya representa una rotación extrema para usar con el estado límite de resistencia y no requiere más factores.

δ_u y θ_u pueden también considerarse en el estado límite de evento extremo.

Almohadillas más gruesas con cilindros de confinamiento más profundos causan menores deformaciones en el elastómero, y parecen experimentar menos desgaste y abrasión. Es necesario que los anillos estén en bajo relieve dentro de la almohadilla para que la misma se desempeñe satisfactoriamente, pero esto también disminuye el espesor efectivo de la almohadilla en ese lugar. Además, a veces se ha cortado la almohadilla para efectuar el rebaje, y parece que este corte hace que la almohadilla sea susceptible a daño adicional. Por lo tanto, es generalmente mejor usar cilindros de confinamiento más profundos y una almohadilla más gruesa, aunque conduce a costos mayores de materiales y maquinado.

C 14.7.4.4. Disco elastomérico

El esfuerzo promedio sobre el disco elastomérico está limitado principalmente por la habilidad del sellante para prevenir el escape del elastómero. El nivel de **25 MPa** se ha utilizado como un límite superior práctico durante varios años, y la mayoría de los apoyos se han desempeñado satisfactoriamente, pero se han producido algunas fallas en el sello. La investigación experimental de NCHRP 10-20A mostró que ocurre mayor desgaste y abrasión debido a rotación cíclica cuando se emplean niveles más altos de esfuerzos, pero esta correlación no es fuerte. Como resultado, se toma el esfuerzo límite de **25 MPa** como un límite práctico de diseño.

La lubricación ayuda a prevenir la abrasión del elastómero durante la rotación cíclica; sin embargo, investigaciones han mostrado que el efecto benéfico de la lubricación tiende a perderse con el tiempo. Se ha utilizado con éxito grasa de silicona. Se recomienda su uso porque se ha desempeñado bien en los ensayos. También se han utilizado láminas delgadas de PTFE. Estas láminas se han desempeñado bastante bien en estudios experimentales, pero son menos recomendables porque existe la preocupación de que se arruguen y se vuelvan ineficaces. Se ha utilizado grafito en polvo pero no se ha desempeñado bien en ensayos de rotación. Como resultado, la grasa de silicona es el lubricante preferido, y no se recomienda el grafito en polvo. Se permiten discos de PTFE como un método de lubricación, pero el usuario debe estar al tanto de que se han reportado algunos problemas.

C 14.7.4.5. Anillos de Sellado

C 14.7.4.5.1. General

La falla de los sellos ha sido uno de los problemas más comunes en apoyos tipo Pot. Se ha hallado que son exitosos los anillos múltiples planos de latón, la varilla circular de latón formada y soldada en un anillo, y los anillos plásticos patentados. Investigación experimental indica que los anillos sólidos circulares de latón proporcionan un ajuste hermético y previenen fugas del elastómero, pero experimentan un desgaste severo durante la rotación cíclica. Existen ensayos que indican que los anillos planos de latón son

algo más susceptibles de fuga y fractura del elastómero, pero son menos propensos al desgaste. No se deben utilizar anillos de PTFE. Los anillos deben preferiblemente estar en bajo relieve o vulcanizarse en el elastómero con el fin de minimizar la distorsión del elastómero.

La rotación cíclica del apoyo debido a variaciones de temperatura o a carga de tránsito puede causar rozamiento del elastómero contra la pared del cilindro de confinamiento, lo que puede dar lugar a alguna pérdida de elastómero más allá del sello. El diseño del detalle del sistema de sello es importante para prevenir esto. Los detalles de los ensayos para sistemas alternativos de sello se dejan a criterio del Proyectista Estructural. Sin embargo, los ensayos deben incluir rotación cíclica.

C 14.7.4.5.2. Anillos con secciones transversales rectangulares (Este artículo no tiene comentario)

C 14.7.4.5.3. Anillos con sección transversal circular (Este artículo no tiene comentario)

C 14.7.4.6. Cilindro de confinamiento (“Pot”)

Los cilindros de confinamiento se construyen de manera más confiable mediante el mecanizado de una sola placa. Para apoyos muy grandes, esto puede ser prohibitivamente caro, de manera que se acepta implícitamente la fabricación soldando un anillo a una placa base. Sin embargo, el anillo se debe fijar a la base por medio de una soldadura de penetración completa porque la pared está sometida a momentos significativos de flexión donde se une con la placa base. Se debe asegurar la calidad de la soldadura por medio de control de calidad. El acabado del interior del cilindro de confinamiento debe satisfacer la forma y las tolerancias requeridas. Puede ser necesario rectificar y pulir las distorsiones de la soldadura.

Los límites inferiores en el espesor de la placa base están destinados a proporcionar cierta rigidez para contrarrestar los efectos de un apoyo irregular. Si la placa de base se deformara significativamente, el volumen de elastómero sería inadecuado para llenar el espacio en el cilindro de confinamiento, y podría haber un fuerte contacto entre algunos elementos.

Las ecuaciones 14.7.4.6-5 y 14.7.4.6-6 definen los requisitos mínimos de espesor de pared para apoyos tipo Pot sin guías. La ecuación 14.7.4.6-5 se basa en la resistencia anular de las paredes del cilindro de confinamiento con el disco de elastómero bajo tensión hidrostática por compresión. Esta ecuación es conservadora para esta aplicación, porque ignora el efecto benéfico de la resistencia y la rigidez a flexión en la interfaz entre la pared y la base del cilindro de confinamiento. Sin embargo, esta ecuación no proporciona resistencia lateral (horizontal) al apoyo, y se limita a apoyos no guiados (Stanton, 1999).

La limitación de la ecuación 14.7.4.6-6 se basa en las prácticas pasadas de fabricación (SCEF, 1991).

El acabado de la superficie en el interior del cilindro de confinamiento puede tener un impacto considerable en el desempeño del apoyo. Un acabado liso reduce la resistencia rotacional y el desgaste y la abrasión del elastómero. También puede mejorar el desempeño de los anillos de sellado, pero no hay en la actualidad límites definitivos en cuanto a cuál debe ser el acabado ideal de la superficie para un buen comportamiento del apoyo. La metalización en el interior del cilindro de confinamiento tiende a causar un

acabado más rugoso de la superficie, lo que lleva a incrementos significativos en el daño bajo rotación cíclica; como resultado, la metalización puede no ser un buen método de protección.

Se deben considerar las fuerzas máximas del estado límite de evento extremo cuando el apoyo no está destinado a actuar como un fusible o cuando no se permite el daño irreparable.

C 14.7.4.7. Pistón

El espesor requerido del pistón es controlado por la rigidez y la resistencia. Una barra guía interna central ajustada en una ranura en el pistón genera momentos flexores que son mayores donde el pistón sea más débil. En este caso, el pistón también debe ser lo suficientemente grueso para proveer una longitud de agarre adecuada para cualquier bulón utilizado para asegurar la barra guía.

Si el pistón rota mientras actúa una carga horizontal, el ala del pistón estará sometido a esfuerzos de aplastamiento debido a la carga horizontal y a las fuerzas de corte. Si la superficie del ala del pistón es cilíndrica, el contacto de éste con la pared del cilindro de confinamiento será teóricamente a lo largo de una línea cuando rota el pistón. En la práctica, es inevitable alguna fluencia localizada. Si la superficie del ala del pistón forma parte de una esfera, el área de contacto será finita, proporcionando menos potencial de daño local. Se debe evitar el daño de la pared del cilindro de confinamiento porque pondrá en peligro la efectividad del sello. Las dimensiones del ala del pistón dependen del área de contacto, y como es incierta, el ala del pistón se debe diseñar conservadoramente. La ecuación 14.7.4.7-4 se basa únicamente en la consideración de los esfuerzos que soporta, utilizando una fuerza horizontal en el estado límite de resistencia de **0,15 veces** la carga vertical del estado límite de servicio, $F_y = 345 \text{ MPa}$ y $\phi = 0,9$.

El factor del **15 por ciento** aplicado a la carga vertical del estado límite de servicio, dentro de la ecuación 14.7.4.7-4 y utilizado en el diseño de dispositivos mecánicos que conectan la superestructura a la subestructura, se aproxima a una fuerza horizontal de diseño en el estado límite de resistencia.

Se deben considerar las fuerzas máximas en el estado límite correspondiente a evento extremo cuando el apoyo no está destinado a actuar como un fusible o cuando no se permite el daño irreparable. También se puede considerar θ_u en el estado límite de evento extremo.

La holgura entre el pistón y el cilindro de confinamiento es crítica para el funcionamiento apropiado del apoyo. En la mayoría de los apoyos la holgura final, después de la aplicación de las capas anticorrosivas, deberá ser alrededor de **0,5 mm a 1 mm**, que es un rango fácil de lograr. La ecuación para holgura mínima se basa en la geometría. La ecuación 14.7.4.7-5 puede producir ocasionalmente un número negativo; sin embargo, en estos casos controla el valor mínimo de **0,0005 m**.

C 14.7.5. Apoyos de elastómero reforzado con acero — Método B

C 14.7.5.1. General

Los límites de esfuerzos asociados con el Método **A** usualmente resultan en un apoyo con una capacidad inferior a la de un apoyo diseñado utilizando el Método **B**. Esta mayor

capacidad que resulta del uso del Método **B** requiere ensayos y control de calidad adicionales.

Los apoyos de elastómero reforzado con acero se tratan separadamente de otros apoyos elastoméricos debido a su mayor resistencia y desempeño superior en la práctica (Roeder et al., 1987; Roeder and Stanton, 1991). El parámetro crítico para su diseño es la deformación por corte en el elastómero en su interfaz con las placas de acero. Las deformaciones por carga axial, por rotación, y por corte, generan tales deformaciones de corte. El método de diseño (Método **B**) descrito en este Capítulo tiene en cuenta directamente esas deformaciones de corte y proporciona un medio versátil de permitir diferentes combinaciones de cargas.

Las capas acarteladas causan mayores deformaciones de corte y los apoyos hechos con ellas fallan prematuramente debido a la delaminación o rotura del refuerzo. Todas las capas internas deben tener el mismo espesor porque la resistencia y la rigidez del apoyo para resistir la carga de compresión están controladas por la capa más gruesa.

El factor de forma, S_i , se define en términos de las dimensiones brutas en planta de la capa i . No se justifica el refinamiento para tener en cuenta la diferencia entre las dimensiones brutas y las dimensiones del refuerzo ya que el control de calidad sobre el espesor del elastómero tiene una influencia más dominante sobre el comportamiento del apoyo. Los agujeros son fuertemente desaconsejados en los apoyos reforzados con acero. Sin embargo, si se utilizan agujeros, se debe tener en cuenta sus efectos al calcular el factor de forma porque reducen el área cargada e incrementan el área libre que sobresale. Fórmulas adecuadas para el factor de forma son:

- Para apoyos rectangulares:

$$S_i = \frac{L W - \sum \frac{\pi}{4} d^2}{h_{ri} \left[2 L + 2 W + \sum \pi d \right]} \quad (\text{C 14.7.5.1-1})$$

- Para apoyos circulares:

$$S_i = \frac{D^2 - \sum d^2}{4 h_{ri} \left(D + \sum d \right)} \quad (\text{C 14.7.5.1-2})$$

donde:

d diámetro del agujero o los agujeros en el apoyo, en m.

Los apoyos grandes de elastómero reforzado con acero (definidos como aquellos que son más gruesos de **0,20 m** o que tienen un área en planta mayor que **0,65 m²**) son más difíciles de fabricar que los pequeños. Probablemente las consecuencias de una falla en apoyos grandes sean también más severas. Por tanto, los apoyos grandes se deben diseñar de acuerdo con el Método **B**, que requiere de ensayos y control de calidad adicionales.

C 14.7.5.2. Propiedades de los materiales

El módulo de corte, **G**, es la propiedad física más importante para el diseño, y es, por lo tanto, el medio principal para especificar el elastómero. En el pasado se ha utilizado ampliamente la dureza, y todavía se la permite para el diseño con el Método **A**, porque el ensayo de dureza es rápido y simple. Sin embargo, los resultados obtenidos del mismo son variables y la correlación con el módulo de corte es baja.

Se prohíben los materiales con un módulo de corte especificado mayor que **1,21 MPa** porque generalmente tienen una elongación menor en la rotura y mayor rigidez y fluencia lenta que sus contrapartes más blandas. Este desempeño inferior generalmente se atribuye a la mayor cantidad de relleno presente. Su comportamiento a la fatiga no difiere de una manera claramente discernible de la de los materiales más blandos.

El valor más desfavorable para el módulo de corte utilizado en cálculos de diseño depende de si el parámetro que se calcula se estima conservadoramente, bien sobreestimado o, subestimando el módulo de corte. La nobleza del elastómero tiende a compensar las condiciones de servicio e instalación las cuales son menores a las ideales (Ver el artículo 14.7.5.3.2.). A pesar de esto, el proyectista debe ser cauteloso acerca de especificar un módulo de corte igual o cercano al límite superior o inferior de **1,21 MPa** o **0,55 MPa**, respectivamente.

Las zonas se definen por sus temperaturas extremas bajas o por el mayor número de días consecutivos en los cuales la temperatura no sube de **0°C**, cualquiera de la condición más severa.

El módulo de corte aumenta a medida que el elastómero se enfría, pero el grado de rigidez depende del compuesto del elastómero, del tiempo, y la temperatura. Por lo tanto, es importante especificar un material con propiedades de baja temperatura que sean apropiadas para el sitio del puente. En orden de preferencia, la clasificación de baja temperatura se debe basar en:

- El registro histórico de temperaturas de **50 años** del sitio,
- Análisis estadístico de un historial de temperatura más corto.

La Tabla 14.7.5.2-1 da el grado mínimo del elastómero para utilizarse en cada zona. El Proyectista Estructural puede especificar un grado adecuado para una temperatura más baja, pero a menudo pueden obtenerse mejoras en el comportamiento a baja temperatura, solo a costa de reducciones en otras propiedades. Esta clasificación de baja temperatura tiene la intención de limitar la fuerza sobre la subestructura del puente a **1,5 veces** la fuerza de diseño en el estado límite de servicio bajo condiciones ambientales extremas.

C 14.7.5.3. Requisitos de diseño

C 14.7.5.3.1. Alcance

Los apoyos reforzados con acero se diseñan para resistir esfuerzos relativamente altos. Su integridad depende de un buen control de calidad durante la fabricación, que sólo se puede garantizar por medio de ensayos rigurosos.

C 14.7.5.3.2. Deformaciones de corte

La deformación de corte se limita a $\pm 0,5 \cdot h_r$ con el fin de evitar giros en los bordes y delaminación debida a la fatiga.

Generalmente, la temperatura de instalación está dentro de **± 15 por ciento** del promedio de las temperaturas máximas y mínimas de diseño. Consecuentemente, se usa el **65 por ciento** del intervalo de movimiento térmico para propósitos de diseño (Roeder, 2002). La nobleza de los apoyos elastoméricos cuenta mucho más que la diferencia entre las temperaturas reales de instalación y las probables. Adicionalmente, si el apoyo se instala por primera vez o se reinstala en el promedio del rango de temperaturas de diseño, el **50 por ciento** del intervalo de movimiento térmico de diseño calculado de acuerdo con el artículo 3.12.2 del Reglamento CIRSOC 801 se puede sustituir por el **65 por ciento** tal como se especifica.

Los ensayos de fatiga que formaron parte de la base de esta disposición se realizaron hasta **20000 ciclos**, lo que representa un ciclo de expansión/contracción por día, durante aproximadamente **55 años** (Roeder et al., 1990). Las disposiciones, por lo tanto, serán poco conservadoras si la deformación de corte es generada por un elevado número de ciclos de carga debido a fuerzas de frenado o vibración. La deformación máxima de corte debida a estos elevados números de ciclos de cargas se debe restringir a no más de $\pm 0,10 \cdot h_r$ a menos que haya mejor información disponible. En esta amplitud de deformación, los ensayos demostraron que el apoyo tiene una vida a la fatiga esencialmente infinita.

Si las vigas del puente se levantan para permitir que los apoyos se realineen después de que haya ocurrido algo de acortamiento de las vigas, eso se puede tener en cuenta en el diseño.

Las flechas de las pilas a veces acomodan una porción significativa del movimiento del puente, y ello puede reducir el movimiento que tiene que ser acomodado por el apoyo. Los métodos de construcción pueden incrementar el movimiento del apoyo debido a escasas tolerancias de instalación o mala sincronización de la instalación del apoyo.

C 14.7.5.3.3. Combinación de compresión, rotación, y corte

Los elastómeros son casi incompresibles, de manera que cuando un apoyo con láminas de acero se carga en compresión, el elastómero se expande lateralmente debido al efecto de Poisson. Esa expansión está parcialmente restringida por las placas de acero a las cuales están adheridas las capas de elastómero, y la restricción resulta en el abultamiento de las capas entre placas. El abultamiento crea esfuerzos de corte en la interfaz adherida entre el elastómero y el acero. Si los esfuerzos se vuelven suficientemente grandes, pueden generar la falla por corte del enlace o del elastómero adyacente a él. Esta es la forma más común de daño en apoyos de elastómero con láminas de acero y es la razón por la cual las limitaciones sobre la deformación de corte en el elastómero dominan los requisitos de diseño.

Las componentes cíclicas de la carga se multiplican por un factor de mayoración de **1,75** en la ecuación 14.7.5.3.3-1. Esto refleja los resultados de ensayos que muestran que la deformación por corte cíclica causa más daño en la adherencia que una deformación por corte estática de misma amplitud. Este enfoque, consistente en usar una suma explícita de los componentes de deformación de corte junto con un factor de mayoración sobre los

componentes cíclicos, se encuentra en otras especificaciones, tales como la norma europea EN 1337.

En algunos casos, las rotaciones debidas a carga permanente y sobrecarga tendrán signos opuestos, en cuyo caso el uso de un factor de mayoración de **1,75** podría conducir a una rotación amplificada que es artificialmente baja. Esto es claramente inconsistente con la intención del factor de mayoración. En los casos donde el sentido de las componentes de carga en la combinación crítica sea poco claro, se debe usar la suma de los valores absolutos.

Para apoyos rectangulares, puede ser necesario y apropiado evaluar por separado la rotación alrededor de cada eje principal (paralelo al eje transversal global y paralelo al eje longitudinal global del puente), tal como para estructuras con oblicuidad significativa. Cuando se evalúan apoyos rectangulares alrededor de un eje paralelo al eje longitudinal global del puente, las definiciones de **L** y **W** se deben intercambiar.

Para puentes muy oblicuos o con curvas grandes, los extremos de las vigas rotarán significativamente a flexión y a torsión. Los apoyos circulares ofrecen una buena alternativa.

Las constantes **1,4** asignada a **D_a** y **0,5** asignada a **D_r** para apoyos rectangulares, representan valores simplificados para determinar las deformaciones de corte que se evalúan para rotación alrededor de un eje que es paralelo al eje transversal del puente. Estos valores derivaron de procedimientos sugeridos por Stanton et al. (2007). **D_a** y **D_r** se pueden determinar alternativamente con las ecuaciones C 14.7.5.3.3-1 a C 14.7.5.3.3-6 alrededor de cualquiera de los ejes principales ortogonales para apoyos rectangulares.

$$D_a = \max \left[d_{a1}, \left(d_{a2} + d_{a3} \frac{L}{W} \right) \right] \quad (\text{C 14.7.5.3.3-1})$$

$$D_r = \frac{1,552 - 0,627 \lambda}{2,233 + 0,156 \lambda + \frac{L}{W}} \leq 0,5 \quad (\text{C 14.7.5.3.3-2})$$

en las cuales:

$$d_{a1} = 1,06 + 0,210 \lambda + 0,413 \lambda^2 \quad (\text{C 14.7.5.3.3-3})$$

$$d_{a2} = 1,506 - 0,071 \lambda + 0,406 \lambda^2 \quad (\text{C 14.7.5.3.3-4})$$

$$d_{a3} = -0,315 + 0,195 \lambda - 0,047 \lambda^2 \quad (\text{C 14.7.5.3.3-5})$$

$$\lambda = S_i \sqrt{\frac{3 G}{K}} \quad (\text{C 14.7.5.3.3-6})$$

donde:

K módulo de compresibilidad, en MPa.

- L** dimensión en planta del apoyo perpendicular al eje de rotación bajo consideración (generalmente paralela al eje longitudinal global del puente), en m.
- W** dimensión en planta del apoyo paralela al eje de rotación bajo consideración (generalmente paralela al eje transversal global del puente), en m.
- λ** índice de compresibilidad.

A falta de mejor información, el módulo de compresibilidad, **K**, se puede tomar como **3100 MPa** para todos los elastómeros permitidos en este Reglamento para utilizar en apoyos elastoméricos reforzados con acero.

El índice de compresibilidad, **λ** , representa el efecto de la rigidez volumétrica finita del caucho. Para apoyos convencionales hace poca diferencia, pero en apoyos con factor de forma elevado reduce la rigidez por debajo del valor que se calcularía utilizando un modelo incompresible (es decir, con **$\lambda = 0$**).

Ediciones previas de las Especificaciones AASHTO LRFD 2012 contenían disposiciones para prevenir el movimiento neto hacia arriba de cualquier punto en el apoyo, sin embargo a partir de dicha especificación esas disposiciones se han eliminado. Investigaciones recientes (Stanton et al., 2007) han mostrado que, si el apoyo no está equipado con placas externas adheridas, la placa de solado se puede levantar del apoyo sin causar ninguna tracción en el elastómero. Además, los efectos de compresión son ligeramente menos severos que en un apoyo que es idéntico, excepto por la presencia de placas externas adheridas, y que está sujeto a las mismas combinaciones de carga.

Sin embargo, en un apoyo con placas externas, el movimiento ascendente de parte de la placa puede causar rotura interna debido a tensión hidrostática. Se han añadido disposiciones para abordar este caso. Se espera que rara vez controle, y cuando lo haga, es probable que lo haga durante la construcción, cuando la carga axial es leve y la rotación debido a la contraflecha inicial, es grande. Para el caso de carga de construcción, las componentes cíclicas de la carga serán cero. Para apoyos con placas externas, se deben verificar las ecuaciones 14.7.5.3.3-1 y 14.7.5.3.3-11 bajo todas las condiciones de carga críticas, incluyendo las de construcción, y alrededor de los ejes fuertes y débiles de los apoyos rectangulares cuando sea necesario y apropiado.

La constante **1,6** asignada a **B_a** para apoyos rectangulares y circulares representa un valor simplificado para determinar deformaciones de compresión debido a carga axial pura (ecuación 14.7.5.3.3-15). Esto también es aplicable a tensión hidrostática la cual se evalúa por rotación alrededor de un eje, el cual es paralelo al eje transversal del puente. Esta constante se obtuvo de procedimientos sugeridos por Stanton et al. (2007). Un valor más preciso de **B_a** (y consecuentemente un valor más preciso de **E** y de deformación axial) se puede determinar alternativamente con las ecuaciones C 14.7.5.3.3-7 o C 14.7.5.3.3-8 alrededor de cualquiera de los ejes ortogonales principales.

- para apoyos rectangulares:

$$B_a = (2,31 - 1,86 \lambda) + (-0,90 + 0,96 \lambda) \left[1 - \text{MIN} \left(\frac{L}{W}, \frac{W}{L} \right) \right]^2 \quad (\text{C 14.7.5.3.3-7})$$

- y, para apoyos circulares:

$$B_a = \frac{2}{1 + 2 \lambda^2} \quad (\text{C 14.7.5.3.3-8})$$

Ensayos han mostrado que bordes afilados en las capas internas del refuerzo de acero generan concentración de esfuerzos en el elastómero y promueven el comienzo de la desunión. Se deben desbarbar las capas internas del refuerzo de acero o redondearse antes de moldear el apoyo. Los valores de diseño en la ecuación 14.7.5.3.3-1 son consistentes con este procedimiento.

C 14.7.5.3.4. Estabilidad de apoyos elastoméricos

El esfuerzo promedio de compresión se limita a la mitad del esfuerzo previsto de pandeo. Este último se calcula utilizando la teoría de pandeo desarrollada por Gent, modificada para tener en cuenta los cambios en la geometría durante la compresión, y calibrada con resultados experimentales (Gent, 1964; Stanton et al., 1990). Esta disposición permite apoyos más altos y fuerzas de corte reducidas en comparación con las permitidas bajo ediciones previas de la AASHTO Standard Specifications.

La ecuación 14.7.5.3.4-4 corresponde a pandeo en modo lateral y es relevante para puentes en los cuales el tablero no está rígidamente fijado contra traslación horizontal en ningún punto. Este puede ser el caso de muchos puentes para traslación transversal perpendicular al eje longitudinal. Si un punto del puente está fijo contra el movimiento horizontal, no es posible el modo de pandeo lateral, y se debe usar la ecuación 14.7.5.3.4-5. Esta libertad de moverse horizontalmente se debe distinguir a partir de la pregunta de si el apoyo está sometido a deformaciones de corte relevantes para los artículos 14.7.5.3.2 y 14.7.5.3.3. En un puente que está fijo en un extremo, los apoyos en el otro extremo estarán sujetos a deformación de corte impuesta pero no se trasladarán libremente en el sentido relevante para el pandeo debido a la restricción en el extremo opuesto del puente.

Un límite negativo o infinito de la ecuación 14.7.5.3.4-5 indica que el apoyo es estable y que no depende de σ_s .

Si el valor $(A - B \leq 0)$, el apoyo es estable y no depende de σ_s .

C 14.7.5.3.5. Refuerzo

El refuerzo debe sostener los esfuerzos de tracción inducidos por la compresión del apoyo. Con las presentes limitaciones de carga, el espesor mínimo de la placa de acero para una práctica fabricación generalmente proporcionará una resistencia adecuada.

Los agujeros en el refuerzo causan concentración de esfuerzos. Su uso debe ser desalentado. El incremento requerido en el espesor del acero tiene en cuenta el material removido y la concentración de esfuerzos alrededor del agujero.

C 14.7.5.3.6. Deformación por compresión

Es importante limitar las flechas instantáneas de sobrecarga para asegurar que las juntas y los sellos del tablero no se dañen. Además, los apoyos que son muy flexibles en compresión pueden causar un pequeño escalón en la superficie de rodamiento en una junta del tablero cuando el tránsito pasa de una viga a la otra, dando lugar a carga de

impacto adicional. Se sugiere una flecha máxima relativa de sobrecarga de **3 mm** a través de una junta. Las juntas y los sellos que son sensibles a las flechas relativas pueden requerir límites más ajustados que éste.

Se deben considerar las flechas a largo plazo por carga permanente donde las juntas y los sellos entre secciones del puente descansen sobre apoyos de diferente diseño y cuando se estime la redistribución de las fuerzas en puentes continuos causadas por asentamiento.

Los apoyos elastoméricos laminados tienen una curva carga–flecha no lineal en compresión. A falta de información específica del elastómero en particular que se va a usar, se puede utilizar la ecuación C 14.7.5.3.6-1 o la Figura C 14.7.6.3.3-1 como una guía de aproximación para el cálculo de las deformaciones de compresión, por carga permanente y sobrecarga, para las ecuaciones 14.7.5.3.6-1 y 14.7.5.3.6-2. Cabe señalar que a medida que los factores de forma se vuelven más altos (mayores que ≈ 6), la correlación de los resultados entre la ecuación C 14.7.5.3.6-1 y la Figura C 14.7.6.3.3-1 diverge.

La ecuación C 14.7.5.3.6-1 proporciona una solución lineal para un material que presenta comportamiento no lineal en compresión. Un valor específico de deformación axial para apoyos se puede hallar utilizando las ecuaciones 14.7.5.3.3-15, C 14.7.5.3.3-7 y C 14.7.5.3.3-8.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{4,8 G S^2} \quad (\text{C 14.7.5.3.6-1})$$

donde:

- σ esfuerzo de compresión instantánea de sobrecarga o esfuerzo de compresión de carga permanente en una capa individual de elastómero, en MPa.
- S factor de forma de una capa individual de elastómero.
- G módulo de corte del elastómero, en MPa.

La ecuación C 14.7.5.3.6-1 o la Figura C 14.7.6.3.3-1 se puede también usar como una guía aproximada para especificar un valor permisible de deformación de compresión en el estado límite de servicio, con carga de compresión permanente más sobrecarga, cuando se emplee la Sección 8.8.1 de AASHTO M 251.

Se pueden obtener directrices para especificar un valor permisible para fluencia lenta, cuando se emplea el Anexo A2 de AASHTO M 251, del Reporte 449 del NCHRP o de la Tabla 14.7.6.2-1.

Datos confiables de ensayos acerca de flechas totales son escasos por las dificultades para definir la línea base para las flechas. Sin embargo, el cambio en la flecha debida a sobrecarga puede predecirse confiablemente por medio de ayudas de diseño basadas en resultados de ensayos o bien utilizando ecuaciones de bases teóricas (Stanton and Roeder, 1982). En este último caso, es importante incluir los efectos de la compresibilidad volumétrica del elastómero, especialmente para apoyos con factores de forma elevados.

C 14.7.5.3.7. Disposiciones ante eventos sísmicos y otros eventos extremos

Las demandas sísmicas y de otros eventos extremos sobre los apoyos elastoméricos exceden sus límites de diseño. Por lo tanto, se necesitan conexiones positivas entre la viga y la subestructura de hormigón. Si el apoyo se diseña para actuar como un fusible o si se permite el daño irreparable, no se necesita diseñar la conexión positiva para las fuerzas máximas del estado límite de evento extremo.

Los agujeros en el elastómero causan concentración de esfuerzos que pueden conducir al rasgado del elastómero durante terremotos.

C 14.7.5.4. Anclaje para apoyos sin placas externas adheridas (Este artículo no tiene comentario)

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

C 14.7.6.1. General

Las almohadillas de elastómero tienen características diferentes a las de los apoyos de elastómero reforzados con acero. Las almohadillas simples de elastómero son más débiles y más flexibles porque están restringidas de abultarse sólo por fricción (Roeder and Stanton, 1986, 1983). El deslizamiento ocurre inevitablemente, especialmente bajo cargas dinámicas, generando mayores flechas por compresión y mayores deformaciones internas en el elastómero.

En la cuarta edición de la Especificación AASHTO LRFD, los límites de esfuerzo para el acero de apoyos de elastómero diseñados con el Método **A** se incrementaron en un **25 por ciento**. Este incremento se basó en la aplicación de las ecuaciones del Método **B** con una rotación supuesta en el estado límite de servicio de **0,02 radianes** para determinar los efectos de deformación de la rotación y la capacidad de reserva resultante para esfuerzos axiales (Stanton et al., 2007). Por lo tanto, el diseño para rotación en el Método **A** está implícito en los límites geométricos y de esfuerzo dados. Como el Método **A** se restringe a almohadillas de apoyo rotadas alrededor de su eje fuerte, una almohadilla de apoyo cuadrada proporciona el caso conservador para determinar el incremento en el límite de esfuerzos. Se seleccionó una relación S_r^2/n de **16** para el cálculo y resultó en los límites de esfuerzo de compresión de las ecuaciones 14.7.6.3.2-6 y 14.7.6.3.2-7. Para almohadillas de apoyo rectangulares, el límite especificado de **22** para S_r^2/n es apropiado excepto que se debe considerar un valor límite de **20** para S_r^2/n cuando el valor de n es mayor o igual a **3**. Se debe considerar un valor límite de **16** cuando la almohadilla de apoyo es circular o casi cuadrada.

En almohadillas reforzadas con capas de fibra de vidrio, el refuerzo inhibe las deformaciones encontradas en almohadillas simples. Sin embargo, el elastómero no se adhiere muy bien a la fibra de vidrio y ésta, a su vez, es más débil que el acero, de manera que la almohadilla con fibra de vidrio no es capaz de soportar las mismas cargas que un apoyo elastomérico reforzado con acero (Crozier et al., 1979). El FGP tiene la ventaja de que se puede cortar al tamaño requerido de una lámina grande de material vulcanizado.

Las CDP son almohadillas preformadas que se producen en láminas grandes y que se cortan en los tamaños requeridos para aplicaciones específicas de puentes. Las CDP se refuerzan con capas estrechamente espaciadas de fibra de algodón y tienen generalmente una alta rigidez y resistencia a compresión, obtenida con el uso de capas elastoméricas

muy delgadas. Sin embargo, las capas delgadas también dan lugar a muy alta rigidez de corte y de rotación, que pueden fácilmente conducir a cargas de borde y a una rigidez de corte mayor que la que se encuentra en apoyos de capas. Estos incrementos en las rigideces de corte y de rotación conducen a mayores momentos y fuerzas en el puente y reducen la capacidad de movimiento y de rotación de la almohadilla de apoyo. Como consecuencia, la CDP se usa a menudo con una superficie deslizante de PTFE encima de la almohadilla de elastómero (Nordlin et al., 1970).

Es esencial que las almohadillas de apoyo de CDP se ensayen y verifiquen para cumplir los requisitos de ensayos de la Especificación Militar MIL-C-882E, que se puede encontrar en: <http://assist.daps.dla.mil>. Nótese que no hay una especificación AASHTO, ni un documento CIRSOC, equivalente a esta Especificación Militar. A continuación se presenta un resumen de los criterios para ensayo y aceptación para las CDP.

Estos criterios requieren:

- Un lote de CDP preformado se define como una sola lámina que se forma continuamente hasta un espesor dado, con la salvedad de que un lote no debe exceder **1135 kg** de material;
- Se deben ensayar un mínimo de dos muestras por cada lote;
- Las muestras son de **50 mm por 50 mm** con el espesor total de la lámina;
- Las muestras de prueba se curan por **cuatro horas** a temperatura ambiente (**21°C ± 5,5°C**);
- Cada muestra se carga a compresión, perpendicular a la dirección de laminación;
- El origen de las medidas de la flecha y de la deformación por compresión se toma a un esfuerzo de compresión de **0,035 MPa**;
- La carga se incrementa en una tasa constante de **2,2 kN/min** y la flecha es registrada;
- La muestra se carga hasta un esfuerzo de compresión de **69 MPa** sin fractura u otra falla; y
- Todo el lote de CDP se rechaza si alguna de las muestras de CDP dejan de satisfacer cualquiera de estos criterios de ensayo: La deformación promedio de compresión de las muestras para ese lote no debe ser menor que **0,075 mm/mm**, ni mayor que **0,175 mm/mm**, para un esfuerzo promedio de compresión de **13,8 MPa**. Las almohadillas de apoyo de CDP que no alcancen el esfuerzo límite de **69 MPa** caen fuera del rango especificado de deformación y no desarrollarán los límites de deformación permitidos en partes posteriores del artículo 14.7.

C 14.7.6.2. Propiedades de los materiales

Los requisitos del elastómero para PEP y FGP son los mismos que los requeridos para apoyos elastoméricos reforzados con acero. Los intervalos dados en la Tabla 14.7.6.2-1 representan las variaciones encontradas en la práctica. Si el material es especificado por la dureza, se debe tomar una estimación segura y presumiblemente diferente de **G** para

cada uno de los cálculos de diseño, dependiendo de si el parámetro calculado se estima conservadoramente mediante el sobreestimado o subestimado del módulo de corte. La fluencia lenta varía de un compuesto a otro y generalmente es más frecuente en elastómeros más duros o aquellos con un elevado módulo de corte, pero casi nunca es un problema si se utilizan materiales de alta calidad. Esto es particularmente cierto porque los límites de flecha se basan en condiciones de servicio y probablemente están controlados por la sobrecarga, en lugar de la carga total. Los valores de fluencia lenta dados en la Tabla 14.7.6.2-1 son representativos del neopreno y son conservadores para caucho natural.

La CDP está hecha de elastómeros con dureza y propiedades similares a las usadas para PEP y FGP. Sin embargo, las capas estrechamente espaciadas de fibras de algodón reducen la indentación y aumentan la dureza de la almohadilla terminada hasta el intervalo del durómetro de **85 a 95**. El Apéndice X1 de AASHTO M 251 contiene disposiciones para dureza de elastómeros, pero no para CDP terminados. El intervalo aceptable del valor especificado para dureza de elastómeros es **± 5 puntos** en la escala Shore **A**. El intervalo de criterios aceptables para elastómeros en AASHTO M 251 se puede también considerar para CDP terminados. Los requisitos para fibras de algodón son tomados de la especificación militar porque el refuerzo es esencial para el buen comportamiento de estas almohadillas.

C 14.7.6.3. Requisitos de diseño

C 14.7.6.3.1. Alcance

Los métodos de diseño para almohadillas elastoméricas son más simples y conservadores que los de apoyos reforzados con acero, de tal manera que los métodos de ensayo son menos rigurosos que los del artículo 14.7.5. Los apoyos elastoméricos reforzados con acero pueden ser aceptables para estos procedimientos de ensayo menos estrictos, limitando el esfuerzo de compresión como se especifica en el artículo 14.7.6.3.2.

Los tres tipos de almohadilla, PEP, FGP y CDP se comportan diferentemente, de manera que la información relevante para un tipo particular de almohadilla se debe usar en el diseño. Por ejemplo, en PEP, el deslizamiento en la interfaz entre el elastómero y el material sobre el cual se asienta o se carga depende del coeficiente de fricción, y será diferente para almohadillas asentadas sobre hormigón, acero, mortero, epoxi, etc.

C 14.7.6.3.2. Tensiones de compresión

En PEP, la tensión de compresión se limita a **G** veces el factor de forma y a un límite absoluto de **5,5 MPa**. Una verificación de esfuerzos que incorpora **G** veces el factor de forma limita el uso de un PEP proporcionalmente grueso con un alto esfuerzo de compresión. En FGP, la tensión de compresión se limita a **1,25·G** veces el factor de forma efectivo y a un límite absoluto de **6,9 MPa**. Los límites de esfuerzo de CDP se desarrollaron para proporcionar funcionalidad y durabilidad a largo plazo. La rigidez y el comportamiento del CDP son menos sensibles al factor de forma. El esfuerzo máximo total de compresión se limita a **20,7 MPa** porque ensayos han mostrado que el CDP no falla bajo valores monótonos de esfuerzos de compresión significativamente mayores que este límite de esfuerzo. El CDP, que está sometido a niveles de esfuerzos de compresión mayores que **20,7 MPa**, se puede delaminar bajo cargas dinámicas típicas experimentadas por apoyos de puentes. El CDP puede experimentar una falla dramática cuando las deformaciones máximas de compresión exceden aproximadamente **0,25**. Sin embargo, las almohadillas de apoyo que cumplan con los límites de deformación y rigidez

que se requieren en la especificación militar no alcanzarán esa deformación de falla bajo carga de compresión pura. Los esfuerzos de sobrecarga se limitan a **13,8 MPa**, porque las investigaciones muestran que la delaminación es causada por el intervalo de esfuerzos de compresión así como el nivel máximo de compresión. Las sobrecargas controlan el intervalo máximo de esfuerzos de compresión bajo cargas repetitivas, y este límite controla los efectos adversos de esta delaminación. Mayores deformaciones de compresión resultarían en mayores daños al puente y a la almohadilla de apoyo y en una serviciabilidad reducida del CDP (Lehman et al., 2003).

Se recurre al límite reducido de esfuerzo para los apoyos elastoméricos reforzados con acero diseñados de acuerdo con estas disposiciones, con el fin de permitir que estos apoyos sean aceptables para los requisitos de ensayo menos estricto de almohadillas elastoméricas.

C 14.7.6.3.3. Deformación por compresión

La flecha por compresión con PEP, FGP y CDP será mayor y más variable que la de apoyos elastoméricos reforzados con acero. Se pueden utilizar datos apropiados para estimar sus flechas en estos tipos de almohadillas. A falta de dichos datos, la flecha por compresión de PEP y FGP se puede estimar en **3 y 1,5 veces**, respectivamente, la flecha estimada para apoyos reforzados con acero con el mismo factor de forma del artículo 14.7.5.3.6.

La Figura C 14.7.6.3.3-1 proporciona ayudas de diseño para determinar la deformación en una capa de elastómero para apoyos reforzados con acero basándose en la dureza del durómetro y en el factor de forma. También se debe notar que la flecha inicial de compresión por carga permanente no incluye las flechas a largo plazo asociadas con la fluencia lenta.

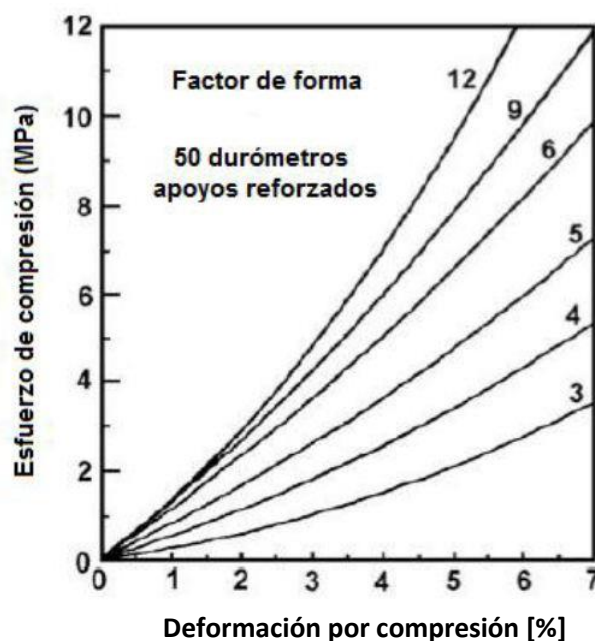


Figura C 14.7.6.3.3-1. Curvas de Esfuerzo-Deformación

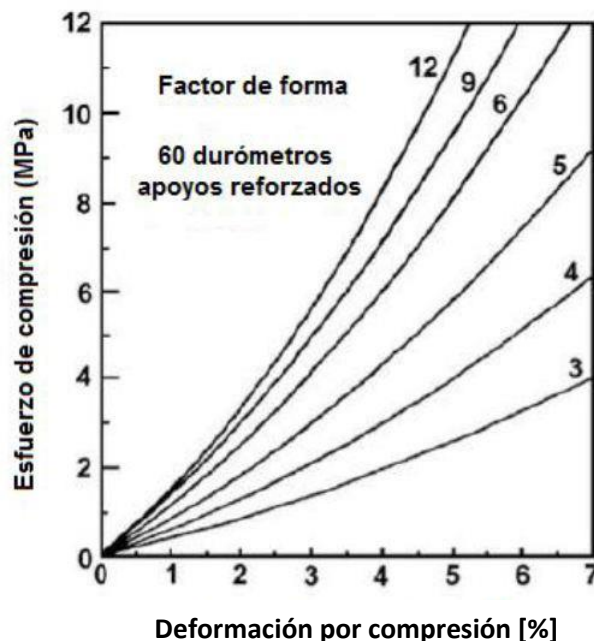


Figura C 14.7.6.3.3-1 (Cont.). Curvas de Esfuerzo-Deformación

El CDP es generalmente muy rígido a compresión. El factor de forma se puede calcular, pero tiene un diferente significado y menor incidencia en la flecha por compresión de la que tiene para el FGP y PEP (Roeder et al., 2000). Como resultado, la flecha máxima de compresión para CDP se puede basar en la deformación promedio de compresión, ϵ_s , para el espesor total de la almohadilla de apoyo, como se calcula con la ecuación 14.7.6.3.3-1.

C 14.7.6.3.4. Corte

La deformación en PEP y FGP se limitan a $\pm 0,5 \cdot h_r$ porque estos movimientos son los máximos tolerables para deformaciones repetitivas y de largo plazo en el elastómero. Estos límites tienen la intención de asegurar la funcionalidad de los apoyos sin deterioro del desempeño y limitan las fuerzas que la almohadilla transmite a la estructura.

En CDP, la flecha por corte se limita solamente a **un décimo** del espesor total del elastómero. Hay varias razones para esta limitación. Primero, ensayos muestran que el CDP puede partirse y fisurarse a mayores deformaciones de corte. Segundo, el CDP tiene rigidez a corte mucho mayor que la observada en apoyos elastoméricos reforzados con acero, PEP y FGP, y así el límite de deformación asegura que las almohadillas de CDP no transmitan a la estructura fuerzas dramáticamente mayores como en otros sistemas de apoyo. Tercero, la mayor rigidez de corte significa que es probable el deslizamiento relativo entre el CDP y las vigas del puente, si la deformación requerida del apoyo es muy grande. El deslizamiento puede llevar a la abrasión y al deterioro de las almohadillas, así como a otros problemas de serviciabilidad. El deslizamiento también puede conducir a incremento de costos debido a requerimientos de anclaje y de otros. Finalmente, las almohadillas de CDP son más duras que los PEP y FGP, por lo que son muy adecuadas para la adición de superficies deslizantes de PTFE para acomodar los movimientos requeridos del puente. Como resultado, el CDP con grandes movimientos traslacionales se diseña necesariamente con superficies deslizantes de PTFE.

C 14.7.6.3.5. Rotación

C 14.7.6.3.5a. General

En la cuarta edición del AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, la rotación de los apoyos elastoméricos reforzados con acero y de las almohadillas elastoméricas se controlaba, en parte, previniendo el levantamiento entre el apoyo y la estructura. Investigaciones (Stanton et al., 2007) han mostrado que el levantamiento no es un problema para los apoyos elastoméricos y las disposiciones contra el levantamiento se removieron del Método **B** descrito en el artículo C 14.7.5.3.3. Más aún, como se explica en el artículo C 14.7.6.1, el diseño para rotación en el Método **A** está implícito en los límites geométricos y de esfuerzo dados. Por lo tanto, las disposiciones contra el levantamiento se han removido del Método **A** con el fin de proporcionar consistencia entre los dos procedimientos. Adicionalmente, se ha mostrado que el límite para S_r^2/n del Método **A** (artículo 14.7.6.1) previene la acumulación de cualquier tensión hidrostática significativa en apoyos con placas externas adheridas.

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

La rotación y la compresión combinada con rotación del CDP están controladas por los límites de deformación de corte y los requisitos de delaminación. Los ensayos muestran que el CDP que cumple con los requisitos de ensayo de MIL-C-882E no se fracturará ni fallará hasta que la deformación combinada de compresión exceda **0,25**. Las deformaciones por fluencia lenta no contribuyen a este potencial de fractura. La ecuación de diseño, ecuación 14.7.6.3.5b-1, limita esta deformación de compresión a **0,20**, porque el diseño se hace con cargas de servicio y las investigaciones muestran que el límite de deformación de **0,20** está suficientemente lejos de la deformación promedio de falla para asegurar un factor β de **3,5** para el diseño según el Reglamento CIRSOC. La delaminación debida a rotación está asociada con el levantamiento o la separación entre la almohadilla de apoyo y la superficie de carga. La delaminación no resulta en una fractura o falla inmediata de la almohadilla de apoyo, sino en una reducción significativa en la vida de servicio del apoyo. La rotación cíclica asociada con la sobrecarga representa el problema más severo de delaminación, y la ecuación 14.7.6.3.5b-4 establece este límite de diseño. Sin embargo, la investigación también muestra que la delaminación está influenciada por el nivel de rotación máximo. El CDP no recupera toda su deformación de compresión después de la descarga, y la ecuación 14.7.6.3.5b-3 reconoce aproximadamente el **20 por ciento** de deformación residual de compresión, limitando el levantamiento debido a la rotación máxima en reconocimiento del potencial de delaminación. La deformación de corte del elastómero es una medida menos significativa para CDP que para apoyos elastoméricos reforzados con acero, porque el factor de forma tiene un significado diferente para CDP que para otros tipos de apoyos elastoméricos. Se sabe que el CDP tiene una capacidad a carga de compresión relativamente grande, y generalmente se acepta que pueda tolerar deformaciones de compresión relativamente grandes asociadas con estas cargas. Se debe notar que estas deformaciones de compresión en el CDP son mayores que las toleradas en apoyos reforzados con acero, pero han sido justificadas por medio de resultados de ensayos para CDP que cumplen con los requisitos de este Reglamento. Esto no sugiere que el CDP sea generalmente mejor que los apoyos elastoméricos reforzados con acero. Un apoyo reforzado con acero bien diseñado probablemente proporciona un comportamiento superior a largo plazo, pero el CDP se puede diseñar y fabricar rápidamente y puede proporcionar un buen desempeño bajo un rango de condiciones.

C 14.7.6.3.6. Estabilidad

Las disposiciones de estabilidad en este artículo probablemente no tengan un impacto significativo sobre el diseño de PEP, ya que una almohadilla simple que tiene esta geometría tendría un límite de tensión admisible tan bajo que el diseño no sería económico.

El comportamiento a pandeo de FGP y CDP es complicado porque la mecánica de tal comportamiento no se entiende bien aún. Las capas de refuerzo carecen de la rigidez de las capas de refuerzo en los apoyos reforzados con acero de manera que las teorías de estabilidad desarrolladas para apoyos reforzados con acero no aplican a CDP o FGP. Los límites geométricos incluidos aquí son simples y conservadores.

C 14.7.6.3.7. Refuerzo

El refuerzo debe ser suficientemente fuerte para soportar los esfuerzos inducidos cuando el apoyo se carga a compresión. Para una compresión dada, las capas más gruesas de elastómero conducen a mayores esfuerzos de tracción en el refuerzo. Debe ser posible relacionar la resistencia mínima del refuerzo con el esfuerzo de compresión que se permite en el apoyo según el artículo 14.7.6.3.2. La relación se ha cuantificado para FGP. Para los PEP y CDP, la experiencia exitosa en el pasado es la única guía disponible actualmente.

Para apoyos elastoméricos reforzados con acero, diseñados de acuerdo con las disposiciones del artículo 14.7.6, se utilizan las ecuaciones del artículo 14.7.5.3.5. Aunque estas ecuaciones son para apoyos reforzados con acero con un mayor esfuerzo admisible, el espesor requerido de las láminas de refuerzo no es significativamente mayor que los requeridos por el antiguo Método A.

C 14.7.6.3.8. Disposiciones ante eventos sísmicos y otros eventos extremos (Este artículo no tiene comentario)

C 14.7.7. Superficies deslizantes de bronce o aleación de cobre

C 14.7.7.1. Materiales

Las superficies deslizantes de bronce o aleación de cobre tienen una larga historia de aplicación en los Estados Unidos con desempeño relativamente satisfactorio de los diferentes materiales. Sin embargo, no hay virtualmente ninguna investigación para corroborar las propiedades y las características de estos apoyos. La mejor guía disponible actualmente es la experiencia exitosa del pasado.

Históricamente estos apoyos se han construido con bronce sinterizado, bronce lubricado, o aleación de cobre, sin distinción entre el desempeño de los diferentes materiales. Sin embargo, la evidencia sugiere otra cosa. Los apoyos de puente de bronce sinterizado se han incluido históricamente en las Especificaciones Estándares ("Standard Specifications"). El bronce sinterizado se fabrica con una tecnología de metal en polvo, que resulta en una superficie de estructura porosa que se llena usualmente con un material autolubricante. En la actualidad no parece haber muchos fabricantes de apoyos de bronce sinterizado para puentes, y hay alguna evidencia de que este tipo de apoyos para puente no siempre se ha desempeñado bien. Como resultado, no se hace referencia al bronce sinterizado en el presente documento.

Los apoyos de bronce lubricado son producidos por numerosos fabricantes, y tienen una historia de comportamiento relativamente buena. La lubricación es forzada en un patrón de rebajes, reduciendo la fricción y prolongando la vida del apoyo. El bronce o el cobre simple carecen de esta cualidad autolubrificante y por ende tendrán un comportamiento más pobre como apoyo. En algunos casos se utilizan las siguientes directrices para los lubricantes en rebajes (FHWA, 1991):

- Las superficies de apoyo deben tener lubricantes en rebajes consistentes de ya sea anillos concéntricos, con o sin rebaje circular central con una profundidad por lo menos igual al diámetro de los anillos, o de rebajes.
- Los bajo relieves o los anillos se deben configurar en un patrón geométrico de manera que las filas adyacentes se traslapen en la dirección del movimiento.
- El área completa de todas las superficies de apoyo previstas para movimiento relativo se debe lubricar por medio de bajo relieves rellenos de lubricante.
- Las áreas llenas de lubricante deben comprender de al menos el **25 por ciento** de la superficie total de apoyo.
- El compuesto lubricante se debe moldear integralmente a alta presión y comprimirse dentro de los anillos o bajo relieves y sobresalir no menos de **0,25 mm** por encima de la placa de bronce circundante.

Los apoyos de expansión deslizantes de bronce o aleación de cobre se deben evaluar para estabilidad. Las placas deslizantes incrustadas en el metal de los pedestales o placas de solado se pueden levantar durante cargas horizontales altas. Se pueden encontrar directrices acerca de la evaluación de la estabilidad de apoyos en Gilstad (1990). La capacidad y estabilidad a corte se pueden incrementar añadiendo bulones de anclaje a través de una placa de solado más ancha y empotrada en hormigón.

La superficie de unión es hecha comúnmente por un fabricante de acero en lugar de un fabricante de apoyos, quien produce la superficie de bronce. Este arreglo contractual no se recomienda porque puede conducir a un ajuste pobre entre los dos componentes. El bronce es más débil y más blando que el acero, y puede ocurrir la fractura y el desgaste excesivo del bronce si no hay un control de calidad adecuado.

C 14.7.7.2. Coeficiente de fricción

La mejor evidencia experimental disponible sugiere que el bronce lubricado puede alcanzar un coeficiente de fricción del orden de **0,07** durante el inicio de su vida en servicio, mientras que el lubricante sobresale por encima de la superficie de bronce. Es probable que el coeficiente de fricción aumente hasta aproximadamente **0,10** después que el lubricante de la superficie se consume y el bronce comience a desgastarse en el bajo relieve de lubricante. La aleación de cobre o el bronce simple causarían una fricción considerablemente más alta. En ausencia de mejor información, se recomiendan para el diseño coeficientes conservadores de fricción de **0,1** y **0,4**, respectivamente.

C 14.7.7.3. Límite de carga (Este artículo no tiene comentario)

C 14.7.7.4. Holguras y superficies de unión (Este artículo no tiene comentario)

C 14.7.8. Apoyos de disco

C 14.7.8.1. General

Un apoyo de disco funciona por la deformación de un disco de poliuretano, que debe ser suficientemente rígido como para resistir cargas verticales sin deformación excesiva y, a la vez, ser suficientemente flexible para acomodar las rotaciones impuestas sin levantarse ni esforzar excesivamente otros componentes, tales como el PTFE. El disco de uretano se debe localizar efectivamente para prevenir que se deslice fuera de su lugar.

Los principales cuidados son que se deben mantener los espacios libres y evitar el bloqueo incluso en rotaciones extremas. Se debe tener en cuenta la flecha vertical del apoyo, incluyendo la fluencia lenta.

Se puede también considerar θ_u en el estado límite de evento extremo.

La profundidad del anillo limitante debe ser por lo menos de $0,03 \cdot D_d$ para prevenir la posible anulación del disco de uretano bajo condiciones extremas de rotación.

C 14.7.8.2. Materiales

El artículo 18.3.2 del AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications (Ver Anexo de este Capítulo), proporciona especificaciones de materiales para compuestos de poliuretano.

El poliuretano se puede combinar para proporcionar un amplio rango de durezas. Las propiedades físicas apropiadas del material se tienen que seleccionar como parte integral del proceso de diseño porque los uretanos más blandos pueden requerir de un anillo limitante para prevenir flechas excesivas por compresión, mientras que los más duros pueden ser muy rígidos y causar un momento resistente muy alto. También, los elastómeros más duros tienen generalmente mayores relaciones entre la deformación por fluencia lenta y la deformación elástica.

Los aceros de Grados 100 y 100W, AASHTO M 270M/M 270 (ASTM A709/A709M), se deben utilizar solamente cuando su reducida ductilidad no sea perjudicial.

C 14.7.8.3. Disco elastomérico

Los principales cuidados son que se deben mantener los espacios libres y evitar el bloqueo incluso en rotaciones extremas. Se debe tener en cuenta la flecha vertical del apoyo, incluyendo la fluencia lenta.

El diseño del disco de uretano se puede basar en la suposición de que se comporta como un material elástico lineal, no restringido lateralmente en sus superficies superior e inferior. Los estimativos de los momentos resistentes, calculados así, son conservadores, porque ignoran la fluencia lenta, que reduce los momentos. Sin embargo, la flecha por compresión debida a la fluencia lenta también se debe tener en cuenta. Los anillos limitantes rigidizan el apoyo en compresión porque hacen que el apoyo se comporte más como un apoyo elastomérico confinado, es decir, como un apoyo tipo Pot. Su influencia se ignora conservadoramente en el enfoque de diseño elástico lineal. Se permiten los métodos de diseño basados en datos de ensayo, previa aprobación del Proyectista Estructural.

No se puede tolerar el levantamiento de los componentes; por lo tanto, cualquier dispositivo que restrinja el levantamiento debe tener una holgura vertical suficientemente pequeña como para asegurar la correcta localización de todos los componentes cuando se aplique nuevamente la carga de compresión.

Los ensayos de rotación han mostrado que el levantamiento ocurre con momentos y rotaciones relativamente pequeños en los apoyos de disco. Existe la preocupación de que esto pueda conducir a cargas de borde sobre las superficies deslizantes de PTFE y aumentar el potencial de daño al PTFE. Los apoyos que pasen los requisitos de ensayo del artículo 18.3.4.4.4 del AASHTO LRFD Bridge Construction Specification (Ver Anexo de este Capítulo), deben garantizar que no haya ningún daño en el PTFE.

C 14.7.8.4. Mecanismo de resistencia al corte

El dispositivo resistente a corte se puede colocar dentro o fuera del disco de uretano. Si el corte es llevado por un dispositivo de transferencia separado externo al apoyo, tal como bloques opuestos de hormigón, el apoyo mismo puede no tener guías.

En apoyos sin guías, la fuerza de corte que se debe transmitir a través del cuerpo del apoyo es μP , donde μ es el coeficiente de fricción de la superficie deslizante de PTFE y P es la carga vertical sobre el apoyo. Ésta puede ser tomada por el disco de uretano sin un dispositivo separado resistente a corte, siempre y cuando el disco se mantenga en su sitio por medio de dispositivos de localización positiva, tales como rebajes en las placas superior e inferior.

El factor del **15 por ciento** aplicado a la carga vertical en el estado límite de servicio se aproxima a la fuerza horizontal de diseño en el estado límite de resistencia.

Se deben considerar las fuerzas máximas en el estado límite de evento extremo cuando el apoyo no está diseñado para actuar como un fusible o cuando no se permite el daño irreparable.

C 14.7.8.5. Placas de acero

Las placas deben ser lo suficientemente gruesas para distribuir de manera uniforme la carga concentrada en el apoyo. Las placas de distribución se deben diseñar de acuerdo con el artículo 14.8.

C 14.7.9. Guías y restricciones

C 14.7.9.1. General

Las guías se requieren frecuentemente para controlar la dirección del movimiento del apoyo. Si la fuerza horizontal se vuelve muy grande para ser llevada de manera confiable y económica por un apoyo guiado, se puede usar un sistema de guía separado.

C 14.7.9.2. Cargas de diseño

El factor del **15 por ciento** aplicado a la carga vertical en el estado límite de servicio se aproxima a la fuerza horizontal de diseño en el estado límite de resistencia. Se pretende que esta fuerza de diseño tenga en cuenta las respuestas que no se pueden calcular confiablemente, tales como flexión horizontal o torsión del tablero del puente causada por efectos térmicos no uniformes o dependientes del tiempo.

Una elevada relación entre carga horizontal y carga vertical puede conducir a la inestabilidad del apoyo, en cuyo caso se debe considerar un sistema de guía separado.

Se deben considerar las fuerzas máximas en el estado límite de evento extremo cuando el apoyo no está previsto para actuar como fusible o cuando no se permiten daños irreparables.

C 14.7.9.3. Materiales

En el pasado se han utilizado muchos materiales diferentes de baja fricción. Como la fuerza total transversal en un pórtico es usualmente menor que la fuerza total vertical, las guías pueden contribuir menos en lo referente a la fuerza total de fricción longitudinal que las superficies deslizantes principales. De esta manera, se puede usar un material que sea más robusto pero que genere mayor fricción que el material principal. Es común el PTFE lleno, y han demostrado ser efectivos otros materiales patentados, tales como metales impregnados con PTFE.

C 14.7.9.4. Requisitos geométricos

Las guías deben ser paralelas para evitar el bloqueo e inducir resistencia longitudinal. Los espacios libres en la dirección transversal son bastante estrechos y tienen la intención de asegurar que no existe demasiada soltura en el sistema. El deslizamiento libre transversal tiene la ventaja de que no se inducen fuerzas de restricción transversal pero, si este es el objetivo, es preferible un apoyo no guiado. Por otro lado, si se pretende compartir entre varios apoyos las cargas transversales aplicadas, el deslizamiento libre causa que la carga se distribuya desigualmente, llevando posiblemente a sobrecargar una guía.

C 14.7.9.5. Bases de diseño

C 14.7.9.5.1. Localización de la carga

Frecuentemente las guías se abulonon a la placa deslizante para evitar las distorsiones de la soldadura. Las fuerzas horizontales aplicadas a la guía causan, además del corte, algún momento de vuelco, que debe ser resistido por los bulones. La tracción en el bulón se puede reducir utilizando una barra guía más ancha. Si se utilizan bulones de alta resistencia, el orificio roscado en la placa debe ser lo suficientemente profundo para desarrollar toda la resistencia de tracción del bulón.

En el uso común se ha comprobado que algunos detalles de barras guía ajustadas a presión no son satisfactorios para resistir cargas horizontales. Cuando se analizan tales diseños, se debe considerar la posibilidad de que la barra se meta en la ranura (SCEF, 1991).

Cuando las barras guías se introducen dentro de ranuras maquinadas, se deben especificar tolerancias para proporcionar un ajuste bajo presión. La barra guía también se debe soldar o abulonon para resistir el vuelco.

Terremotos pasados han demostrado que las barras guías y los anillos o tuercas de guarda en los extremos de los pasadores y otros dispositivos guía han fallado, incluso bajo cargas sísmicas moderadas. En una investigación experimental de las características de resistencia y deformación de apoyos tipo Rocker (balancines) (Mander et al., 1993), se

encontró que los pivotes adecuadamente dimensionados son a veces capaces de proporcionar la resistencia necesaria ante cargas sísmicas.

C 14.7.9.5.2. Esfuerzo de contacto

El fabricante debe desarrollar los esfuerzos adecuados de compresión para los materiales patentados y el Proyectista Estructural debe aprobarlos sobre la base de pruebas de ensayo. Se debe tener en cuenta la resistencia, el flujo en frío, el desgaste, y el coeficiente de fricción. Sobre materiales convencionales, se permiten esfuerzos mayores para carga de corta duración porque las limitaciones de la Tabla 14.7.2.4-1 se basan parcialmente en consideraciones de fluencia lenta. Las cargas de corta duración incluyen viento, sismo, etc., pero no efectos térmicos ni gravitacionales.

C 14.7.9.6. Fijación del material de baja fricción

Se han experimentado algunas dificultades cuando el PTFE se fija a las placas metálicas de respaldo por medio de adhesivo solamente. La luz ultravioleta ataca la superficie de PTFE que se graba antes de la unión, y esta ha generado fallas en los enlaces. Por consiguiente, se requieren por lo menos dos métodos separados de fijación. Las fijaciones mecánicas deben ser embutidas para evitar el raspado de la superficie de unión.

C 14.7.10. Otros sistemas de apoyo

Los ensayos no se pueden prescribir a menos que se conozca la naturaleza del apoyo. Al evaluar un sistema alternativo de apoyo, el Proyectista Estructural debe planear cuidadosamente el programa de ensayo, porque los ensayos constituyen una gran parte del programa de garantía de calidad, como es el caso de los apoyos más ampliamente utilizados.

En apoyos que dependen de componentes elastoméricos, se deben analizar aspectos del comportamiento, tales como los efectos en función del tiempo, respuesta ante cargas cíclicas, sensibilidad a la temperatura, etc.

Algunos ensayos de apoyos son muy costosos de realizar. Otros ensayos de apoyos no se pueden realizar porque no hay equipo de ensayo disponible. Actualmente, una de las instalaciones más grandes del mundo para el ensayo de apoyos a carga axial y corte combinados es el Laboratorio de Ensayos de Dispositivos de Modificación de la Respuesta Sísmica de la Universidad de California, en San Diego construido por Caltrans. Este laboratorio puede ensayar apoyos de toda clase con una capacidad de hasta **53400 kN** de carga axial y **8900 kN** de carga transversal (HITEC, 2002). No obstante, se deben considerar cuidadosamente los siguientes requisitos de ensayo antes de especificarlos (SCEF, 1991):

- Cargas verticales que excedan **22000 kN**,
- Cargas horizontales que excedan **2200 kN**,
- La aplicación simultánea de cargas horizontales y verticales, donde la carga horizontal excede el **75 por ciento** de la carga vertical,
- Ensayo de carga triaxial,

- El requisito para rotación dinámica del apoyo de prueba mientras está sometido a carga vertical, y
- Movimientos del ensayo de coeficiente de fricción con cargas normales mayores de **1100 kN**.

C 14.8. PLACAS DE CARGA Y ANCLAJES PARA APOYOS

C 14.8.1. Placas para distribución de carga

Grandes fuerzas se pueden concentrar en un apoyo y que se deben distribuir para no dañar la estructura de soporte. En general, los apoyos metálicos tipo rocker y roller (balancines y rodillos) causan las mayores cargas concentradas, seguidos de los apoyos tipo Pot, los de disco, y los esféricos, mientras que los apoyos elastoméricos causan las menores cargas concentradas. Se pueden necesitar placas de mampostería para prevenir el daño en las superficies de hormigón o mortero.

Se han utilizado muchos métodos simplificados para diseñar placas de mampostería, algunos basados en resistencia y otros en rigidez. Varios estudios han indicado que las placas de mampostería son menos efectivas en la distribución de la carga de lo que sugieren estos métodos simplificados, pero el costo de las placas de distribución de carga pesada sería considerable (McEwen and Spencer, 1981; Saxena and McEwen, 1986). Las presentes reglas de diseño representan un intento de proporcionar una base uniforme para el diseño que se encuentra dentro del rango de los métodos tradicionales. Es preferible el diseño basado en información más precisa, tal como el análisis de elementos finitos, pero puede no ser práctico en muchos casos.

Algunos tipos de apoyos sólo se desarrollaron en los últimos **20 o 30 años**, de manera que su longevidad aún no se ha demostrado en el campo. Por ende, se especifican los requisitos para su reemplazo.

Una manera común de proporcionar para el reemplazo es usar una placa de mampostería, fijada a la pila de hormigón por medio de anclajes embebidos o bulones de anclaje. El apoyo puede entonces, fijarse a la placa de mampostería asentándolo en un rebaje maquinado y abulonándolo. Entonces sólo se necesita levantar el puente una altura igual a la profundidad del rebaje con el fin de reemplazar el apoyo. Se deben considerar la tolerancia de deformación de juntas y sellos, así como los esfuerzos en la estructura, al determinar la altura permitida de gateo.

C 14.8.2. Placas de espesor variable

Se pueden utilizar placas de espesor variable para contrarrestar los efectos de la pendiente en el extremo de una viga. En todos los puentes, excepto en los de tramos cortos, la carga permanente domina las fuerzas sobre el apoyo, de manera que la placa de espesor variable se debe diseñar para proporcionar rotación nula de la viga bajo esta condición. El límite de **0,01 rad** de desnivel corresponde al **0,01 rad** del componente, el cual se requiere en la rotación de diseño del artículo 14.4.

C 14.8.3. Anclaje y bulones de anclaje

C 14.8.3.1. General

Los apoyos se deben anclar de forma segura a la subestructura para prevenir que se salgan de su sitio durante la construcción o a lo largo de la vida del puente. Los apoyos elastoméricos se pueden dejar sin anclajes si se dispone de fricción adecuada. Se puede suponer un coeficiente de fricción de diseño de **0,2** entre el elastómero y la superficie limpia del hormigón o acero.

Las vigas pueden estar situadas sobre apoyos por medio de bulones o pivotes. Los últimos no proveen ninguna capacidad contra el levantamiento. Se puede utilizar soldadura, siempre y cuando no cause daños al apoyo ni dificultades con el reemplazo.

Se debe prevenir el levantamiento tanto en los elementos principales, tales como la viga, el apoyo, el soporte, como entre los componentes individuales del apoyo. Si ocurre levantamiento, algunas partes de la estructura se pueden desalinear cuando se recupere el contacto, causando daños.

Los bulones de anclaje son muy susceptibles a falla frágil durante sismos u otros eventos extremos. Para incrementar la ductilidad, se ha recomendado en Astaneh-Asl et al. (1994) el uso de bulones de anclaje afectados, colocados dentro de tubos de manguitos huecos y agujeros sobredimensionados en la placa de mampostería. Así, los apoyos de tipo deformable pueden utilizar los bulones de anclaje como elementos dúctiles (Cook and Klingner, 1992).

Los apoyos diseñados para la transferencia rígida de carga, especialmente en el estado límite de evento extremo, no se deben asentar en almohadillas de mortero u otros materiales de asiento que puedan crear una superficie de deslizamiento y reducir la resistencia horizontal.

La carga sísmica sobre los bulones de anclaje a menudo ha generado daños en el hormigón, especialmente cuando los mismos estaban muy cerca del borde del asiento del apoyo. Directrices para evaluar los efectos de distancia al borde y los requisitos de resistencia del hormigón se pueden encontrar en Ueda et al. (1990), entre otros.

Para el diseño global de anclajes al hormigón, referirse al Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón (CIRSOC 201-05), Apéndice D.

Como una aproximación, el esfuerzo de aplastamiento se puede suponer que varía linealmente desde cero en el extremo de la longitud embebida hasta su máximo valor en la superficie superior del hormigón.

C 14.8.3.2. Eventos sísmicos y otros eventos extremos — Requisitos de diseño y detallado (Este artículo no tiene comentario)

C 14.9. PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

El uso de acero inoxidable es la protección más confiable contra la corrosión porque los revestimientos de cualquier otro tipo están sujetos a daños por desgaste o impacto mecánico. Esto es particularmente importante en apoyos donde el contacto metal con metal es inevitable, tal como los apoyos tipo rocker y roller (balancines y rodillos). El acero intemperizado está excluido porque forma una capa de óxido que puede inhibir el correcto funcionamiento del apoyo.

Cuando se usa galvanizado por inmersión en caliente para protección contra la corrosión, se deben considerar varios factores. La fragilización de los sujetadores de muy alta resistencia, tal como los bulones de AASHTO M 253 (ASTM A490), puede ocurrir debido a la limpieza con ácido (decapado) antes del galvanizado, y el material templado y revenido, tal como el de Grado 70W y 100W, pueden experimentar cambios en las propiedades mecánicas, por lo que se debe evitar galvanizarlos (ver ASTM A143 sobre evitar la fragilización). Con buenas prácticas, los aceros comúnmente utilizados, tales como los de Grados 36, 50, y 50W, no deben ser afectados negativamente si su composición química y los detalles del conjunto son compatibles (ver ASTM A385 sobre garantizar un recubrimiento de alta calidad). Ciertos tipos de apoyos, tales como los apoyos complejos tipo Pot o esféricos, no son adecuados para el galvanizado por inmersión en caliente.

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

Se respeta la numeración de los artículos de dicho documento, para facilitar su seguimiento, y se aclara que cuando se hace referencia a artículos, tablas, figuras, etc, los mismos corresponden a ese mismo documento.

A.18.1. GENERAL

Este trabajo deberá consistir en el suministro e instalación de apoyos para puentes y en la estratificación de los materiales utilizados debajo de las placas de mampostería.

Los apoyos deberán ser construidos de acuerdo con los detalles mostrados en las especificaciones técnicas. Cuando no se proporcionen detalles completos, los apoyos deberán ser suministrados conforme a los limitados detalles mostrados en las especificaciones técnicas y deberán proporcionar la capacidad de diseño para cargas y movimientos indicados o especificados y las características especificadas de comportamiento.

C. A.18.1

Los tipos de apoyo incluyen, pero no están limitados a, almohadillas elastoméricas, balancín, rodillo, pot, apoyos esféricos, de discos y placas deslizantes. Como componentes de los apoyos se incluyen: mampostería, placas de cuña y asiento, apoyos de bronce u aleaciones de cobre, y placas de expansión, bulones de anclaje, dispositivos guía, superficies o láminas de politetrafluoretileno (PTFE), lubricantes y adhesivos.

El Proyectista y el Contratista deben proporcionar la información suficiente para permitir la fabricación y certificación del apoyo. Esto requiere información adicional cuando se requiere un nivel de certificación más alto. Se requiere la carga de diseño porque se necesita para algunos de los procedimientos de prueba.

Es importante el diseño de apoyos para reemplazo porque es sabido que aún los apoyos de alta calidad han fallado a causa de fuerzas imprevistas u otras condiciones. Una manera simple de facilitar el reemplazo, es colocar el apoyo en un rebaje superficial en las placas de mampostería.

Las piezas de unión de cada apoyo, especialmente los apoyos fabricados de metal tal como los apoyos de bronce autolubricantes, deben ser suministrados por un único Fabricante a fin de asegurar el adecuado ajuste de las superficies de unión.

A.18.1.1. Planos de ejecución

Cuando en las especificaciones técnicas no figuren detalles completos para los apoyos y los anclajes, el Contratista deberá preparar y entregar planos de ejecución para los apoyos. Dichos planos deberán mostrar todos los detalles de los apoyos y de los materiales propuestos para su uso, y deberán ser aprobados por el Proyectista Estructural antes de la fabricación de los apoyos. Dicha autorización no releva al Contratista de cualquier responsabilidad para la finalización exitosa del trabajo de acuerdo con las especificaciones técnicas.

En los planos de ejecución se debe especificar lo siguiente:

- Cantidad total de cada clase de apoyo requerido (fijos, de expansión guiada o no guiada), agrupados en primer lugar de acuerdo al tipo (rango de carga), y luego por la capacidad actual de diseño.

- La vista en planta y la vista en corte muestran todas las dimensiones relativas de cada tipo de apoyo.
- El máximo coeficiente de fricción de diseño de acuerdo con las especificaciones técnicas.
- El tipo de material a ser utilizado en todos los elementos de los apoyos.
- Si fuera aplicable, una clara descripción y detalles para cualquier proceso de soldadura utilizado en la fabricación del apoyo que no esté conforme a los procesos autorizados por el AASHTO/AWS D1.5M/D1.5 Bridge Welding Code (“Código de Soldadura de Puentes”).
- La carga vertical y horizontal, rotación y capacidad de movimiento.
- Requerimientos de pintura o revestimiento.
- Planes de alineación.
- Esquema de instalación.
- Cálculos completos de diseño verificando la conformidad con estas Especificaciones, si son requeridos por el Proyectista Estructural.
- Detalles de anclaje.
- Detalles programados de apoyo, si fueran aplicables.
- La ubicación de la planta de fabricación.
- El nombre del fabricante y el nombre del representante quien será responsable de la coordinación de la producción, inspección, muestreo y testeo.

A.18.1.2. Materiales

A.18.1.2.1. Acero laminado

El acero laminado será del tipo especificado en las especificaciones técnicas y deberá satisfacer los requisitos de ensayo de la norma al cual se ajusta. A menos que se especifique lo contrario, el acero deberá ajustarse al AASHTO M 270M/M 270 (ASTM A709/A709M), Grado 36 (Grado 250), y no deberá causar ninguna reacción electrolítica ni química adversa con otros componentes del apoyo y deberá estar libre de óxido y cascarilla de laminación.

A.18.1.2.2. Laminados de acero

Los laminados de acero deben cumplir los requisitos del AASHTO M 251.

A.18.1.2.3. Acero fundido

El acero fundido deberá satisfacer los requisitos del ASTM A802/A802M y estar libre de toda sopladura e impurezas mayores a **3 mm**. La pared interior del cilindro de confinamiento en los apoyos tipo Pot y la superficie de contacto de metal de los apoyos tipo rocker o roller (balancines o rodillos) deben estar libres de sopladura o impurezas de cualquier tamaño.

A.18.1.2.4. Acero forjado

El acero forjado deberá satisfacer los requisitos del ASTM A788.

A.18.1.2.5. Acero inoxidable

El acero inoxidable se ajustará a los requisitos del ASTM A167, Tipo 304 o ASTM A240/A240M, Tipo 304 y deberá tener un espesor mínimo de **0,91 mm (20 gage)** y un acabado de la superficie en el apoyo terminado mejor o igual a **0,2 μ m (8,0 μ in)**. El acero inoxidable en contacto con la lámina de PTFE será pulido para un acabado no menor a **0,51 μ m (20 μ in)**.

C. A.18.1.2.5

La soldadura de acero inoxidable a veces es utilizada para crear una sobrecapa continua sobre la placa de acero al carbono, por ejemplo en los apoyos esféricos deslizantes. La capa de acero inoxidable creada de esta forma es luego mecanizada para permitir una superficie suave.

A.18.1.3. Embalaje, manipulación y almacenamiento

Antes del embarque desde el lugar de fábrica, los apoyos deben estar embalados de forma tal que se pueda asegurar que, durante el embarque y el almacenamiento, los mismos estarán protegidos contra daños por manipuleo, clima, o cualquier otro riesgo ordinario. Cada apoyo completo debe tener sus componentes claramente identificados, estar atornillados de forma segura, atado, o ajustado para prevenir cualquier movimiento relativo, y marcar en su parte superior la ubicación y orientación en cada estructura del proyecto de acuerdo con las especificaciones técnicas.

Todos los dispositivos y componentes de los apoyos deben ser almacenados en los sitios de trabajo en un área protegida de daños físicos y ambientales. Al instalarse, los apoyos deben estar limpios y libres de toda sustancia extraña.

No se debe realizar el desarme de los apoyos en el lugar de trabajo, a menos que sea absolutamente necesario para una inspección o instalación. Los apoyos no deben ser abiertos o desmantelados en el lugar excepto bajo la supervisión directa o con la autorización del Fabricante.

C. A.18.1.3

Pequeñas cantidades de arena, suciedad, o cualquier otra contaminación pueden seriamente restar valor al buen comportamiento que podría ser obtenido de un apoyo. Es, por lo tanto, muy importante que el apoyo no se abra en el lugar de trabajo, excepto bajo la supervisión del Fabricante o su agente.

A.18.1.4. Manufactura o fabricación

A.18.1.4.1. General

El Fabricante debe certificar que cada apoyo satisface los requisitos de las especificaciones técnicas y de estas Especificaciones, y debe proveer al Proyectista Estructural una copia certificada de los resultados de la prueba de materiales. Cada apoyo reforzado debe ser marcado con tinta indeleble o pintura flexible. El marcado debe contener la orientación, número de orden, número de lote, número de identificación del apoyo, y el tipo de elastómero y número de grado. A menos que se especifique lo contrario en las especificaciones técnicas, el marcado se debe realizar en la cara visible luego del montaje del puente.

A menos que se especifique lo contrario en las especificaciones técnicas, el acabado de la superficie de los componentes del apoyo que entran en contacto con otros o con el hormigón, pero que no están incrustados en hormigón, se deben adecuar a los requisitos de la Sección 11, "Estructuras de Acero".

Los conjuntos de apoyos deben estar preensamblados por el proveedor en el negocio, y se deben controlar sus geometrías y que estén completos antes del embarque al sitio de trabajo.

A menos que se especifique lo contrario en las especificaciones técnicas, los componentes de los apoyos de acero, con excepción del acero inoxidable, incluyendo los bulones de anclaje, deben ser galvanizados de acuerdo con el artículo 11.3.7, "Galvanización".

C. A.18.1.4.1

En el corto plazo, el marcado simplifica la identificación de los apoyos correctos y establece la manera en que deben ser ubicados en el sitio de trabajo. A largo plazo, puede permitir la remoción de los apoyos luego de un número de años de servicio para controlar el cambio en las propiedades del material a lo largo del tiempo. También ayuda en la resolución de disputas.

A.18.1.4.2. Tolerancias en la fabricación

Los apoyos laminados y los de almohadillas elastoméricas planas se deben construir tal como se indican en las especificaciones técnicas dentro de las tolerancias dadas en AASHTO M 251.

Otras tolerancias de fabricación se indican en la Tabla A.18.1.4.2-1.

Tabla A.18.1.4.2-1. Tolerancias en la fabricación

Apoyos		Tolerancia en el espesor [mm]	Tolerancia en la dimensión [mm]	Tolerancia en la planitud o fuera de la horizontalidad [mm]	Acabado de la superficie [μm]
Apoyos metálicos tipo Rocker y Roller (balancines y rodillos)		—			
Rodillo simple	Diámetro	—	-1,6 ; +1,6	-0,03 ; +0,03	1,6
Rodillo anidado	Diámetro	—	-0,05 ; +0,05	-0,03 ; +0,03	1,6
Balancines	Diámetro	—	-3,17 ; +3,17	-0,03 ; +0,03	3,17
Pasadores	Diámetro	—	-0,13 ; +0,0	-0,05 ; +0,05	0,81
Casquillos	Diámetro	—	-0,0 ; +0,13	-0,05 ; +0,05	0,81
Apoyos tipo Pot					
Dimensiones globales		-0,0 ; +6,35	-0,0 ; +3,17	—	—
Altura del cilindro de confinamiento (interior)		—	-0,0 ; +0,64	—	—
Pared del cilindro de confinamiento: Espesor y diámetro interior promedio		-0,0 ; +3,17	-0,08 ; +0,08	-0,03 ; +0,03	0,81
Base del cilindro de confinamiento: superficies superior e inferior		-0,0 ; +0,64	—	Clase C	1,6
Pistón: ala del pistón		-0,0 ; +1,6	-0,08 ; +0,08	-0,03 ; +0,03	0,81
Pistón: Superficies superior e inferior		-0,0 ; +0,64	—	Clase C	1,6
Disco elastomérico (sin esfuerzo)		-0,0 ; +3,17	-0,0 ; +1,6	—	—
Apoyos de Disco					
Dimensiones globales		-0,0 ; +6,35	-0,0 ; +3,17	—	—
Elemento de restricción al corte		—	-0,0 ; +0,13	Clase A	0,81
Otras piezas mecanizadas		-0,0 ; +1,6	-0,0 ; +1,6	Clase B	1,6
Disco de uretano		-0,0 ; +1,6	-0,0 ; +3,17	Clase B	1,6
Apoyos deslizantes planos de PTFE					
PTFE		-0,0 ; +1,6	-0,0 ; +0,76	Clase A	—
Acero inoxidable		-0,0 ; +1,6	-0,0 ; +3,17	Clase A	#8 Mirror
Apoyos deslizantes planos de bronce y de aleación de cobre					
Superficies deslizantes		-0,0 ; +3,17	-0,0 ; +3,17	Clase A	0,81
Apoyos deslizantes curvos de PTFE					
Radio convexo		—	-0,25 ; +0,0	-0,05 ; +0,05	#8 Mirror
Radio cóncavo		—	-0,0 ; +0,25	-0,05 ; +0,05	3,17
Apoyos deslizantes curvos de bronce y de aleación de cobre					
Radio convexo		—	-0,25 ; +0,0	-0,05 ; +0,05	0,81
Radio cóncavo		—	-0,0 ; +0,25	-0,05 ; +0,05	0,81
Guías					
Superficie de contacto		—	-0,0 ; +3,17	Clase A	0,81
Distancia entre guías		—	-0,0 ; +0,76	—	—
Paralelismo de guías		—	±0,005 rad	—	—
Placas de carga					
Dimensiones globales		-1,6 ; +1,6	-6,35 ; +6,35	Clase A	3,17
Inclinación de bisel		±0,002 rad	—	—	—

A.18.1.5. Prueba y aceptación

A.18.1.5.1. General

A.18.1.5.1.1. Alcance

El criterio de pruebas y aceptación para los apoyos se debe ajustar a los requisitos mínimos especificados en el artículo A.18.1.5.2. El Proyectista Estructural puede requerir estándares más rigurosos.

Cuando los apoyos son fabricados a partir de un número de componentes, cada componente debe satisfacer los requisitos de testeo a partir del artículo aplicable.

El Proyectista Estructural debe tener libre acceso para inspeccionar en cualquier momento la fabricación de apoyos.

C. A.18.1.5.1.1

El propósito de las pruebas es asegurar una buena calidad del apoyo terminado. La manera más evidente de lograr este objetivo es hacer rigurosas pruebas en cada apoyo. Sin embargo, esto no es económicamente factible y podría ser necesario recurrir a otros métodos para ciertas pruebas.

A.18.1.5.1.2. Placas adaptadoras y fijaciones

Cada apoyo que se toma como muestra para una prueba con una placa de solado de espesor variable u otra fijación que impida la aplicación de una carga perpendicular al dispositivo del apoyo, debe ser entregado al sitio de prueba acompañado por una placa adaptadora con o sin fijación. Para los apoyos con una placa de solado de espesor variable, la placa adaptadora deberá tener un único bisel y estar construida de tal forma que, cuando se ponga en contacto con la placa de solado de espesor variable, ambos deberán formar un único cuerpo, de forma rectangular y espesor uniforme. Para los apoyos con otras fijaciones, la placa adaptadora o fijación deberá ser construida de forma tal que permita la correcta aplicación de la carga perpendicular al dispositivo del apoyo.

A.18.1.5.2. Pruebas

A.18.1.5.2.1. General

Las pruebas aquí especificadas se deben llevar a cabo a expensas del Fabricante. A menos que el Proyectista Estructural acuerde otra cosa, las mismas deben ser supervisadas por una agencia de testeo independiente.

También se deben llevar a cabo pruebas adicionales para tipos específicos de apoyos, tal como se especifican en otros artículos de estas Especificaciones.

A.18.1.5.2.2. Pruebas de certificación de materiales

Las pruebas de certificación de materiales para determinar las propiedades físicas y químicas de todos los materiales deben ser conducidas de acuerdo con las especificaciones apropiadas que controlan el material. Los certificados de prueba deberán ser puestos a disposición del Proyectista Estructural.

A.18.1.5.2.3. Pruebas de fricción del material – Solo superficies deslizantes

El coeficiente de fricción entre dos superficies de unión debe ser medido. Las pruebas se deben realizar en muestras tomadas de la misma partida de materiales que los utilizados en los apoyos. Solo se deben utilizar materiales nuevos, no se debe utilizar material que ya ha sido previamente ensayado.

Las superficies se deben limpiar exhaustivamente con un solvente desengrasante. No se debe utilizar ninguna otra lubricación que aquella especificada para los apoyos. Las

superficies de unión para las piezas de ensayo deberán tener un área común no menor al menor valor entre el área del apoyo y **4500 mm² (45 cm²)**.

Las piezas de ensayo deben ser cargadas en compresión a una tensión correspondiente a la capacidad de diseño de los apoyos en el estado límite de servicio, la cual se debe mantener constante por **1 hora** antes y durante toda la duración de la prueba de deslizamiento. Al menos **100 ciclos** de deslizamiento, cada uno consistiendo de al menos **±25 mm** de movimiento, deben ser luego aplicados a una temperatura de **20°C ± 1,1°C**. La velocidad uniforme de deslizamiento debe ser de **63 mm por minuto**.

El coeficiente de fricción de deslizamiento debe ser calculado para cada dirección de cada ciclo. El coeficiente de fricción estático inicial de arranque para el primer ciclo no debe exceder el doble del coeficiente de fricción de diseño. El máximo coeficiente de fricción de deslizamiento para todos los ciclos subsecuentes no debe exceder el coeficiente de fricción de diseño. La falla de una sola muestra resultará en el rechazo de todo el lote.

Siguiendo los **100 ciclos** de ensayo, el coeficiente de fricción de deslizamiento debe estar determinado nuevamente y no debe exceder el valor inicial. El apoyo o muestra no deberá mostrar signos considerables de desgaste, fallas de enlace, u otros defectos.

C. A.18.1.5.2.3

Es importante que el material aquí ensayado sea idéntico al utilizado en el apoyo terminado. En particular, no se debe aplicar ningún lubricante durante el ensayo a menos que este también se requiera en el apoyo terminado y la superficie de unión de acero inoxidable debe ser nueva para cada pieza de material ensayado. Así, la misma pieza de acero inoxidable no se debe utilizar para más de una muestra de PTFE en los ensayos de material de PTFE. Los coeficientes de fricción que constituyen el criterio de comportamiento para las pruebas están directamente relacionados con los valores utilizados en el diseño.

El coeficiente de fricción disminuye con el incremento de la tensión de compresión, mientras que se incrementa con la velocidad. Como tal, los ensayos en la capacidad de diseño (el cual es típicamente mayor que la carga de diseño y proporcionada por el Propietario) tenderá a subestimar el coeficiente de fricción. Una velocidad de ensayo de **63 mm por minuto** es más rápida de lo que se podría esperar en servicio. En consecuencia, las influencias generadas por la tensión de compresión y la velocidad a las cuales se lleva a cabo este ensayo pueden ser de alguna manera compensadas.

La fricción estática es más grande que la fricción dinámica o de deslizamiento, y el coeficiente de fricción dinámico es más grande para el primer ciclo de movimiento que para los últimos ciclos.

A.18.1.5.2.4. Control de dimensión

Las dimensiones de todos los apoyos deben ser controladas por el Fabricante y se deben registrar y proporcionar al Proyectista Estructural. La falla en la dimensión de un apoyo para satisfacer cualquier tolerancia dimensional será causa, según discreción del Proyectista Estructural, de rechazo del apoyo o del lote. La planitud será controlada mediante la colocación de una regla de precisión en la superficie a ser verificada e insertando medidores de sonda entre ambos. La regla se debe ubicar en diferentes orientaciones y se deben establecer las peores condiciones. No se deben apilar más de tres medidores de sonda, uno encima del otro. La regla debe ser tan larga como la dimensión más larga de la superficie plana.

Todos los controles de dimensión deben satisfacer las tolerancias del artículo A.18.1.4.2.

C. A.18.1.5.2.4

Una acumulación de tolerancias dimensionales puede dar como resultado que un apoyo no funcione correctamente. La prueba de holgura, según lo dispuesto en el artículo A.18.1.5.2.5, proporciona un resguardo adicional para estos casos.

A.18.1.5.2.5. Prueba de holgura

Los componentes del apoyo se moverán a través de sus desplazamientos o rotaciones de diseño para verificar que existan los espacios libres requeridos. Si la prueba se realiza sobre un componente rotacional que no está bajo la acción simultánea de una carga vertical completa, se debe tener en cuenta los desplazamientos que generaría esa carga.

A.18.1.5.2.6. Pruebas de fricción en apoyos - Solo superficies deslizantes

No se aplicará lubricación, excepto la utilizada para todo el lote de apoyos. El apoyo se cargará en compresión en su capacidad de diseño en el estado límite de servicio, que se mantendrá constante durante **1 hora** antes, y durante toda la duración de la prueba de deslizamiento. Se aplicarán al menos **12 ciclos** de deslizamiento, cada uno consiste del más pequeño de los desplazamientos de diseño y **$\pm 25 \text{ mm}$** de movimiento. La velocidad de deslizamiento promedio debe estar entre **2,5 y 25 mm por minuto**. Cuando la prueba se aplica a apoyos con deslizamientos curvos, se debe utilizar la rotación de diseño en lugar del desplazamiento.

Para los apoyos deslizantes planos, el coeficiente de fricción deslizante se calculará para cada dirección de cada ciclo, y su desviación media y estándar se calculará para los ciclos sexto a duodécimo. Ni el coeficiente de fricción para el primer movimiento ni la media más dos desviaciones estándar para los ciclos sexto a duodécimo excederán el valor utilizado en el diseño, y el valor medio para los ciclos sexto a duodécimo no excederá de dos tercios del valor utilizado en el diseño.

En las superficies deslizantes curvas, el momento correspondiente a la rotación de diseño se debe establecer en cada pico de movimiento (positivo y negativo) durante los primeros y últimos seis ciclos completos de prueba. La excentricidad de carga correspondiente se calculará dividiendo el momento por la carga de compresión total que actúa. La excentricidad debe ser lo suficientemente pequeña para que no afecte las tensiones admisibles en el PTFE utilizadas en el diseño.

C. A.18.1.5.2.6

El propósito de la prueba de fricción del apoyo es verificar que los valores de fricción alcanzados en las pruebas de fricción del material sean predictores adecuados de la fricción en el apoyo terminado.

Debido a que esta prueba se realiza con la capacidad de diseño en el estado límite de servicio a velocidades más lentas que las especificadas en el artículo A.18.1.5.2.3, el coeficiente de fricción medido puede ser menor. Por cuanto, los criterios de aprobado / reprobado para esta prueba pueden ser más refinados que los dados en el artículo A.18.1.5.2.3. Ver también el artículo C. A.18.1.5.2.3 para más información.

A.18.1.5.2.7. Prueba de deterioro a largo plazo

A discreción del Propietario, las especificaciones técnicas deberán especificar si la prueba de deterioro a largo plazo se realizará por lote o si la prueba se satisface por precalificación. Los criterios de precalificación del Propietario o las especificaciones

técnicas, según corresponda, deberán especificar si la prueba se realizará en apoyos de tamaño real, versiones reducidas de los apoyos, componentes de apoyos, muestras de los materiales utilizados en los apoyos, o una combinación de estos. Otros criterios de precalificación asociados con la prueba de deterioro a largo plazo serán los especificados por el Propietario.

Las muestras deben tener un área no menor que **4500 mm² (45 cm²)**. La pieza de prueba se cargará primero en compresión a una tensión correspondiente a la capacidad de diseño de los apoyos en el estado límite de servicio. Los sistemas de deslizamiento plano se deben desplazar a través de al menos **1000 ciclos** con una amplitud de al menos **± 25 mm (50 mm** de pico a pico). Los sistemas de deslizamientos curvos y los sistemas de rotación que dependen de la deformación de un elemento elastomérico estarán sujetos a **5000 ciclos** o desplazamientos correspondientes a una rotación de más o menos la amplitud de diseño. El deslizamiento puede tener lugar a una velocidad de hasta **250 mm por minuto**, excepto cuando se toman lecturas del coeficiente de fricción, momento en el que la velocidad de deslizamiento debe ser de **63 mm por minuto**.

Lo siguiente será causa de rechazo del apoyo:

- Daño visible a simple vista al desmontar el apoyo, tal como desgaste excesivo, fisuras, o grietas en el material.
- Un coeficiente de fricción que excede el valor utilizado en el diseño.

C. A.18.1.5.2.7

El propósito de la prueba de deterioro a largo plazo es verificar la resistencia de los materiales a la fluencia lenta, al desgaste, y al deterioro. La prueba de deterioro a largo plazo se puede realizar sobre un par de apoyos colocados uno detrás del otro. Debido a que las pruebas a largo plazo requieren maquinaria de prueba más compleja y un tiempo de prueba más largo, son inevitablemente más costosas que las de corto plazo. Por lo tanto, la frecuencia y la manera en que se realizan cada una de estas pruebas se pueden determinar separadamente por el Propietario. Las consideraciones que los propietarios deben tener en cuenta incluyen, entre otras, las siguientes:

- Programa del proyecto,
- Precalificación, y
- Configuración de prueba apropiada del apoyo.

Los cambios en la configuración de diseño de un apoyo precalificado requerirán una recalificación a través de una nueva prueba. Sin embargo, a criterio del Propietario, el requisito de repetir la prueba puede no aplicarse si el cambio o los cambios en un diseño de apoyo precalificado no pueden alterar su comportamiento fundamentalmente a largo plazo.

A.18.1.5.2.8. Capacidad de fuerza horizontal del apoyo – Solamente apoyos fijos o guiados

Se seleccionarán una o más combinaciones de carga, que consisten de una carga de servicio horizontal y vertical que podrían existir simultáneamente en la estructura. La carga vertical se aplicará primero, en **1,0 vez** su valor nominal. La carga horizontal se aplicará en

etapas, hasta **1,5 veces** su valor nominal. La falla o flecha excesiva de cualquiera de los componentes será causa de rechazo.

C. A.18.1.5.2.8

Este ensayo es solo para apoyos que deben resistir fuerzas horizontales establecidas. El objetivo de la prueba es verificar que el apoyo sea estable y que la guía o sistema de retención tenga la resistencia adecuada bajo la combinación realista más severa de cargas horizontales y verticales. La selección de una imposible combinación de carga puede provocar un rechazo injustificado del apoyo. Los apoyos que deben soportar una gran relación entre fuerza horizontal y vertical son frecuentemente un indicador de un sistema de apoyo poco pensado.

A.18.1.6. Criterios de comportamiento

Si un apoyo de la muestra falla, todos los apoyos de ese lote serán rechazados, a menos que el fabricante opte por probar cada apoyo del lote a su costa. En lugar de este procedimiento, el Proyectista Estructural puede requerir que cada apoyo del lote sea ensayado.

A.18.1.7. Construcción e instalación

Los apoyos deben ser instalados por personal calificado en las posiciones que se indican en las especificaciones técnicas. Los apoyos se fijarán al momento de la instalación a las dimensiones y compensaciones prescritas por el fabricante, por el Proyectista Estructural, y como se indican en las especificaciones técnicas y se ajustarán según sea necesario para tener en cuenta la temperatura y los movimientos futuros del puente debido a los cambios de temperatura, liberación del apuntalamiento y acortamiento debido al pretensado.

Cada apoyo de puente debe estar ubicado dentro de $\pm 3 \text{ mm}$ de su correcta posición en el plano horizontal y orientado dentro de una tolerancia angular de **0,02 rad**. Los apoyos guiados y los apoyos que giran alrededor de un solo eje se orientarán en la dirección indicada en las especificaciones técnicas dentro de una tolerancia de **0,005 rad**. Todos los apoyos, excepto los que se colocan en pares opuestos, se deben fijar horizontalmente dentro de una tolerancia angular de **0,005 rad**, y deben tener un contacto pleno y uniforme con las placas de carga, cuando existan. La superestructura soportada por el apoyo se debe colocar de modo que, bajo carga permanente total, su pendiente se encuentre dentro de una tolerancia angular de **0,005 rad** del valor de diseño. Cualquier desviación de esta tolerancia se deberá corregir mediante una placa de espesor variable o por otros medios aprobados por el Proyectista Estructural. Si se necesitan calces apilados para nivelar el apoyo, se los deberán remover después de la lechada de cemento y antes de que el peso de la superestructura actúe sobre el apoyo.

El montaje de apoyos metálicos no embebidos en hormigón será asentándolos en un relleno o material de tela sobre el hormigón conforme al artículo 18.10, "Asiento de placas de mampostería".

Si los apoyos se asientan directamente sobre el acero, la superficie de soporte se mecanizará de modo que proporcione una superficie nivelada y plana sobre el cual se coloca el apoyo.

Los apoyos o placas de mampostería que se apoyan sobre soportes de acero pueden instalarse directamente sobre los soportes, siempre que el soporte sea plano dentro de una tolerancia de **0,002 veces** la dimensión nominal y sea lo suficientemente rígido como para no deformarse bajo las cargas especificadas.

C. A.18.1.7

Los apoyos de puente son productos diseñados con precisión y se deben tratar como tales cuando se instalan. Con frecuencia, el apoyo tiene un perfil relativamente bajo que se obtiene al proporcionar solo la capacidad de rotación mínima requerida. Por lo tanto, es crucial que el apoyo se instale a nivel y que la viga que se asentará en él también esté nivelada en su parte inferior. Además, los apoyos guiados deben estar orientados correctamente o de otro modo se pueden introducir grandes fuerzas horizontales.

A.18.2. APOYOS ELASTOMÉRICOS

A.18.2.1. Alcance

Los apoyos elastoméricos, tal como se definen en el presente documento, incluirán almohadillas no reforzadas (que consisten únicamente de elastómeros) y apoyos reforzados con láminas de acero o de tela.

A.18.2.2. Requisitos generales

Los apoyos deberán estar provistos de las dimensiones, propiedades de los materiales, grado de elastómero, y tipo de laminados indicados en las especificaciones técnicas. La carga de diseño se indicará en dichas especificaciones técnicas y los ensayos se realizarán en consecuencia. A menos que se especifique lo contrario en las especificaciones técnicas, los apoyos serán de Grado **3**, elastómero de dureza **60**, y reforzados con acero, y estarán sujetos a los requisitos de ensayos de carga aquí especificados.

A.18.2.3. Materiales

El elastómero en bruto deberá ser de Neopreno virgen (policloropreno) o de caucho natural virgen (poliisopreno). El compuesto de elastómero será clasificado como de baja temperatura, Grado **0**, **2**, **3**, **4** o **5**. Los grados y otras propiedades del material se definen en el Proyecto del Reglamento CIRSOC 804, Capítulo 14 y en AASHTO M 251. Un grado más alto de elastómero puede ser sustituido por un grado más bajo.

C. A.18.2.3

En la actualidad, sólo se permiten caucho natural (poliisopreno) y Neopreno (policloropreno). Esto se debe a que ambos tienen una extensa historia de uso satisfactorio. Además, existe mucha más experiencia en campo con estos dos materiales que con cualquier otro y casi todo es satisfactorio.

El sistema de clasificación a baja temperatura aborda el problema de endurecimiento del elastómero a bajas temperaturas. Para evitar el problema son necesarios compuestos y curados especiales, pero aumentan el costo y, en casos extremos, pueden afectar negativamente a algunas otras propiedades. Estos efectos adversos se pueden minimizar eligiendo un grado de elastómero apropiado para las condiciones que prevalecen en el sitio. Las clasificaciones siguen el enfoque de AASHTO M 251 con algunos criterios estrictos de prueba de baja temperatura para grados superiores.

A.18.2.4. Fabricación

Los apoyos cumplirán los requisitos de fabricación de AASHTO M 251.

A.18.2.5. Ensayos

Los materiales para los apoyos elastoméricos y los apoyos terminados, se someterán a los ensayos descritos en el documento AASHTO M 251.

C. A.18.2.5

Los requisitos de los ensayos se dividen en dos categorías principales: ensayos de control de calidad de materiales y pruebas de carga en los apoyos terminados para detectar la fabricación deficiente.

Se pueden ensayar los apoyos completos y esto se hace más fácilmente utilizando dos apoyos idénticos uno encima del otro con una placa de carga de corte entre ellos. Sin embargo, en apoyos con más de dos o tres capas, los efectos de flexión y de pandeo pueden reducir la rigidez al corte del apoyo completo por debajo del valor GA/h_t dado por el modelo de corte simple. Es importante distinguir entre el material inaceptable y la falla para analizar el comportamiento bastante complicado con suficiente precisión.

A.18.2.6. Instalación

Los apoyos elastoméricos sin placas de carga externas se pueden colocar directamente sobre una superficie de hormigón o de acero, siempre que se encuentre plano dentro de una tolerancia de **0,005 de la dimensión nominal** para apoyos reforzados con acero y **0,01 de la dimensión nominal** para otros apoyos. Los apoyos se colocarán sobre superficies que son horizontales hasta dentro de **0,01 rad**. Cualquier falta de paralelismo entre la parte superior del apoyo y la parte inferior de la viga que supere los **0,01 rad** se corregirá mediante lechada o según lo indique el Proyectista Estructural.

Las placas exteriores del apoyo no deben ser soldadas a menos que exista entre la soldadura y el elastómero por lo menos **38 mm** de acero. En ningún caso se debe someter al elastómero o la unión a una temperatura superior a **200°C**.

C. A.18.2.6

Si el asiento del apoyo no está horizontal, las cargas gravitatorias generarán corte en el elastómero. La parte inferior de la viga y la superficie superior del apoyo también deben ser paralelas para evitar la imposición de una rotación excesiva y las tensiones que se generan en el apoyo.

De ser posible, se debe evitar la soldadura en las placas de carga. Si se la debe realizar, se deben tomar las precauciones necesarias para evitar dañar la unión por el calor.

A.18.3. APOYOS TIPO POT Y DISCO

A.18.3.1. General

Apoyos tipo Pot y disco:

- será adecuado para las cargas y los movimientos de diseño que se indican en las especificaciones técnicas, y
- será ensayado en el nivel apropiado.

A.18.3.2. Materiales

A.18.3.2.1. General

Todos los materiales deben ser nuevos y no utilizados, sin material recuperado incorporado en el apoyo terminado.

A.18.3.2.2. Acero

Todos los aceros excepto los componentes de acero inoxidable del apoyo tipo Pot y disco, deberán cumplir con los requisitos del artículo 11.3, "Materiales", para el acero al carbono o de alta resistencia, acero estructural de baja aleación para soldar.

A.18.3.2.3. Acero inoxidable

El acero inoxidable debe cumplir con los requisitos del artículo A.18.1.2.5.

A.18.3.2.4. Elemento rotatorio elastomérico para apoyos tipo Pot

El elemento rotatorio elastomérico utilizado en la construcción de los apoyos tipo Pot deberá contener únicamente policloropreno virgen, resistente a la cristalización (Neopreno), AASHTO M 251 (ASTM D4014) o poliisopreno natural virgen (caucho natural), AASHTO M 251 como polímero en bruto. Las propiedades físicas del Neopreno y caucho natural deberán cumplir con las especificaciones citadas con las siguientes modificaciones:

- El Durómetro de dureza Shore, escala **A**, debe ser de **50 ± 10 puntos**.
- Las muestras para ensayos de compresión deben ser preparados utilizando un troquel de tipo **2**.

A.18.3.2.5. Sellador para apoyos tipo Pot

El elastómero debe ser lubricado entre el cilindro de confinamiento de acero y la parte superior de la placa base de acero con una grasa de silicio que no reacciona químicamente con el elastómero y no altera sus propiedades dentro del rango de las condiciones ambientales esperadas en el sitio o según lo recomendado por el fabricante.

A.18.3.2.6. Anillos de sellado para apoyos tipo Pot

Los anillos de sellado entre el pistón de acero y el elemento rotatorio elastomérico de los apoyos tipo Pot deben ser de latón conforme a ASTM B36/B36M para anillos de sección transversal rectangular y ASTM B121/B121M para secciones circulares. El Proyectista Estructural puede aprobar otro material de anillo de sellado sobre la base de prueba de ensayo conforme al artículo 14.7.4.5 del Proyecto de Reglamento CIRSOC 804.

C. A.18.3.2.6

Ver el artículo 14.7.4.5, "Anillos de sellado", del Proyecto de Reglamento CIRSOC 804, para los requisitos de los anillos de sellado.

A.18.3.2.7. Lámina y faja de politetrafluoretileno (PTFE)

Los requisitos de la lámina y la faja de PTFE, para los apoyos tipo Pot y disco, deben cumplir con las disposiciones del artículo A.18.8.1, que se transcribe a continuación:

A.18.8. Superficies de polietrafluoroetileno (PTFE) para apoyos**A.18.8.1. General**

*La lámina y la faja de PTFE se deben fabricar ya sea de resina virgen pura (no reprocesada), PTFE sin relleno; de resina de PTFE uniformemente mezclada con **15 por ciento** de fibra de vidrio o **25 por ciento** de carbono (máximo relleno, porcentaje en peso (masa)); o de tejido que contiene fibras de PTFE.*

*La lámina de PTFE instalada horizontalmente debe estar unida y empotrada en su sustrato de acero. La lámina de PTFE instalada verticalmente debe estar unida y empotrada, o unida y fijada mecánicamente, a su sustrato de acero. La lámina de PTFE debe tener un espesor mínimo de **3 mm** y debe estar empotrada por al menos la mitad de su espesor en su sustrato de acero.*

*El acabado de la lámina y faja de PTFE debe ser resistente a todos los ácidos, álcalis y productos derivados del petróleo; estable a temperaturas entre **-220 °C** y **260 °C**; no inflamable; y no absorbente de agua. El epoxi utilizado para unir el PTFE a su sustrato de acero debe ser curado por calor, epoxi de alta temperatura capaz de resistir temperaturas entre **-200 °C** y **260 °C**.*

A.18.3.2.8. Elemento estructural de poliuretano para apoyos de Disco

El elemento estructural de poliuretano utilizado en la construcción de los apoyos de disco se moldeará a partir de un compuesto de poliuretano monolítico. Las propiedades físicas del poliuretano deben cumplir con los requisitos mínimos listados en la Tabla A.18.3.2.8-1.

Tabla A.18.3.2.8-1. Propiedades físicas del Poliuretano

Propiedades físicas	Método de Prueba ASTM	Requisitos		
Dureza, Durómetro Tipo D	D2240	45	55	65
Tensión mínima de tracción, MPa	D412	10,3	13,1	15,9
Al 100% de elongación				
Al 200% de elongación	D412	19,3	23,4	27,6
Resistencia mínima de tracción, MPa	D412	27,6	34,5	41,4
Elongación mínima última, %	D412	350	285	220
Conjunto de máxima compresión, 22 hs a 70 °C	D395	40	40	40
Método B, %				

C. A.18.3.2.8

El poliuretano es un material plástico duro y resistente. Sin embargo, su resistencia a la tracción varía significativamente en función del control de calidad ejercido durante

el procesamiento. Las propiedades aquí requeridas están destinadas para garantizar un material de buena calidad.

Los mínimos requeridos para la tensión de tracción en elongaciones específicas, resistencia a la tracción, alargamiento último, y conjunto de compresión pueden interpolarse para valores de dureza del durómetro entre **45 y 55**, y **55 y 65**.

A.18.3.3. Detalles de fabricación

A.18.3.3.1. General

El Contratista deberá proporcionar al Proyectista Estructural una notificación por escrito **30 días** antes del comienzo de la fabricación del apoyo.

El acabado del molde utilizado para producir el elemento rotatorio elastomérico para los apoyos tipo Pot o el elemento estructural de poliuretano para los apoyos de disco será conforme a la buena práctica del taller de máquinas.

La lámina de PTFE se unirá a un sustrato de acero granallado utilizando un adhesivo de resina epoxi bajo las condiciones controladas de fábrica de acuerdo con las instrucciones del fabricante del adhesivo. La lámina de PTFE se debe empotrar en su sustrato de acero por al menos la mitad de su espesor. Si se encuentra sobre una superficie vertical, la lámina de PTFE se puede sujetar mecánicamente al sustrato. La fijación de la lámina de PTFE a su sustrato se realizará de acuerdo con los requisitos de fabricación del artículo 18.8.2, "Materiales".

Después de la fabricación, las superficies de acero expuestas a la atmósfera, excepto las superficies de acero inoxidable, se deben pintar o recubrir para protegerlas contra la corrosión tal como se indique en las especificaciones técnicas. Antes del recubrimiento, las superficies de acero expuestas se limpiarán de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del recubrimiento. Las superficies metálicas a ser soldadas en campo deben recibir una capa de laca transparente u otra capa protectora aprobada por el Proyectista Estructural, si el tiempo de exposición antes de la soldadura es superior a tres meses. El revestimiento de laca se debe eliminar en el momento de la soldadura. La pintura o revestimiento final de estas superficies se realizará una vez terminada la soldadura.

La lámina de acero inoxidable se debe fijar a un sustrato de acero con una soldadura continua.

Toda soldadura debe cumplir, y todos los soldadores deben estar calificados, de acuerdo con los requisitos del Código actual de Soldadura de Puente AASHTO/AWS D1.5M/D1.5 "Bridge Welding Code".

Excepto, como se indicó, todas las superficies de las placas de acero del apoyo deben estar acabadas o mecanizadas de forma plana dentro de **0,0008 mm/mm**. Fuera de la horizontalidad, superior a **0,0008 mm/mm**, en cualquier placa será causa de rechazo. Las superficies inferiores de las placas inferiores del apoyo (placas de mampostería) diseñadas para apoyarse en las almohadillas del apoyo no deben exceder un valor, fuera de la horizontalidad, de **0,005 mm/mm**. Las superficies cortadas con oxígeno no deben exceder un valor de rugosidad de la superficie de **25,4 µm**, como se define en ANSI B46.1. Las dimensiones brutas del apoyo tendrán una tolerancia de acuerdo con la Tabla A.18.1.4.2-1.

Cada apoyo deberá tener el número de identificación del proyecto, el número de lote, y el número de apoyo individual marcado con tinta indeleble sobre el lado que será visible después de la instalación.

C. A.18.3.3.1

El acero inoxidable se debe fijar soldando todo a su alrededor. Esto no solo garantiza una transferencia uniforme de tensión del PTFE a la placa de respaldo, cuando el

acero inoxidable está sometido a corte debido a las fuerzas de deslizamiento, sino que también minimiza la corrosión que puede ocurrir detrás de la placa de acero inoxidable.

A.18.3.3.2. Requisitos de fabricación para apoyos tipo Pot

A.18.3.3.2.1. Cilindro de confinamiento

El cilindro de confinamiento se fabricará mediante soldadura o mecanizado a partir de una sola pieza de placa. En los cilindros de confinamiento hechos al soldar un anillo a una placa base, la soldadura debe ser una soldadura a tope de plena penetración.

El pistón se debe mecanizar a partir de una única pieza de acero. El diámetro externo del pistón será menor que el diámetro interno del cilindro de confinamiento, en el nivel de la interfaz entre el pistón y el elemento rotatorio elastomérico, pero en no más de **0,76 mm**. Los lados del pistón deben ser biselados para facilitar la rotación.

Si se utilizan guías, las mismas se deben fijar al cilindro de confinamiento mediante soldadura o abulonado.

C. A.18.3.3.2.1

La forma más común de fabricar un cilindro de confinamiento es mecanizarla a partir de una sola pieza de placa de acero. Sin embargo, para cilindros de confinamiento muy grandes, esto puede ser antieconómico ya que significa una gran cantidad de mecanizado. En tales casos, es posible la fundición, la forja, o la fabricación mediante soldadura, pero presentan dificultades adicionales más allá de las que se encuentran en los cilindros de confinamiento mecanizados a partir de una sola placa. Si el cilindro de confinamiento se fabrica soldando un anillo a una placa base, la soldadura es de vital importancia. La soldadura se debe realizar tanto en el interior como en el exterior del anillo y luego la soldadura en el interior se debe mecanizar, si es necesario, para obtener el perfil final correcto. Las soldaduras deben ser verificadas mediante métodos adecuados de inspección por ultrasonido o radiografía y se debe garantizar la planitud de las placas después de la soldadura.

A.18.3.3.2.2. Anillos de sellado

Los anillos de sellado deben estar empotrados en el disco de elastómero y deben encajar cómodamente contra la pared del cilindro de confinamiento. Los anillos de sección transversal rectangular se instalarán con sus aberturas igualmente separadas alrededor de la circunferencia. El espacio entre el anillo y la pared no excederá en ningún momento de **0,25 mm**. La abertura entre los extremos cortados del anillo no deberá exceder de **1,25 mm**.

C. A.18.3.3.2.2

Actualmente en los Estados Unidos, los anillos de sellado están hechos de latón. En el pasado se intentaron utilizar PTFE pero no tuvieron éxito porque los anillos de PTFE se escurrían a través del espacio entre el cilindro de confinamiento y el pistón y, posteriormente, fue considerado inefectivo como sello. Sin embargo, ciertos materiales patentados también se han utilizado con éxito en Europa. Se requerirían ensayos de verificación antes de ser aceptados en los Estados Unidos.

A.18.3.3.2.3. Elemento rotacional elastomérico

La almohadilla elastomérica deberá tener el mismo diámetro nominal que el cilindro de confinamiento. Dicha almohadilla será moldeada individualmente o cortada desde una lámina y debe estar hecha de no más de tres capas separadas, de las cuales ninguna puede tener un espesor nominal inferior a **12,5 mm**. La profundidad de empotramiento del anillo de sellado será la misma que la altura total del anillo si se utilizan anillos rectangulares.

C. A.18.3.3.2.3

El elemento rotatorio debe estar hecho de un elastómero flexible. El elastómero está totalmente confinado en el cilindro de confinamiento y, por lo tanto, no puede experimentar grandes deformaciones, por lo que no se gana ninguna ventaja utilizando un elastómero más rígido como podría ser el caso de un apoyo elastomérico laminado.

A.18.3.3.3. Requisitos de fabricación para apoyos de disco

A.18.3.3.3.1. Cubierta de acero

La cubierta de acero se fabricará mediante soldadura o mecanizado desde una sola pieza de placa. El mecanismo de restricción al corte debe estar conectado a la placa de apoyo mediante una fijación mecánica, soldadura u otros medios aprobados por el Proyectista Estructural.

A.18.3.3.3.2. Elemento rotativo de poliuretano

El elemento rotatorio de poliuretano para los apoyos de disco se moldeará en una sola pieza. El acabado del molde será libre de rebabas y será conforme a las buenas prácticas de fabricación.

A.18.3.4. Muestreo y ensayo

A.18.3.4.1. Tamaño del lote

El muestreo, ensayo y la consideración de aceptación se harán sobre la base de un lote. Un lote será el menor número de apoyos según lo determinado por los siguientes criterios:

- No excederá una sola especificación técnica o cantidad del proyecto.
- No debe superar los **25 apoyos**.
- Consistirá de aquellos apoyos del mismo tipo, independientemente de la capacidad de carga. Los tipos de apoyo pueden ser fijos o de expansión. Los apoyos de expansión guiados y no guiados se considerarán como de un solo tipo.

C. A.18.3.4.1

Un lote se puede definir además como aquellos apoyos presentados para su inspección en una fecha u hora específica.

A.18.3.4.2. Muestreo y aceptación

El fabricante deberá muestrear, al azar, un mínimo de **dos (2) apoyos** y, según lo permita o requiera, un mínimo de **dos (2) componentes individuales** del apoyo de cada lote completo de apoyos para la certificación del material y para ensayos de comportamiento por parte del fabricante. El fabricante deberá completar el ensayo requerido y determinar el cumplimiento de esta especificación antes de enviar el(los) lote(s) para la inspección de garantía de calidad, los ensayos y la consideración de aceptación. Los resultados de las pruebas del fabricante se deberán proporcionar al Proyectista Estructural.

C. A.18.3.4.2

Los componentes individuales del apoyo muestreados para la certificación del material o para los ensayos de comportamiento se deben muestrear a partir de los materiales utilizados para fabricar una gran cantidad de apoyos, y no a partir de apoyos completos.

A.18.3.4.3. Pruebas de garantía de calidad por parte del Proyectista Estructural

Cuando las pruebas de garantía de calidad se indican en las especificaciones técnicas, el Fabricante proporcionará al Proyectista Estructural el número requerido de apoyos completos y muestras de componentes para realizar las pruebas de garantía de calidad de acuerdo con la Tabla A.18.3.4.3-1.

Al menos un elemento elastomérico se someterá a prueba por lote de apoyos para apoyos tipo Pot y al menos un conjunto de pruebas de propiedades del material se realizará por lote para apoyos de disco. Todas las superficies exteriores de los apoyos de producción muestreados deben ser lisas y libres de irregularidades o protuberancias que puedan interferir con los procedimientos de ensayo.

Se permitirá un mínimo de **30 días** para la inspección, el muestreo y las pruebas de garantía de calidad de los materiales componentes y los de producción de los apoyos.

Los apoyos con placas de asiento de espesor variable deberán cumplir con las disposiciones del artículo A.18.1.5.1.2.

El Proyectista Estructural puede seleccionar, al azar, el(los) apoyo(s) de muestra requeridos desde los lotes completos de apoyos y muestras de los materiales elastoméricos y de PTFE para las pruebas de garantía de calidad.

El Contratista asumirá el costo de transportar todas las muestras desde el lugar de fabricación al sitio de prueba y viceversa o, si corresponde, al sitio del proyecto.

Tabla A.18.3.4.3-1. Muestreo

Ensayo	Muestras requeridas
Carga de prueba	Un apoyo producido por lote
Coeficiente de fricción	Un apoyo producido por lote
Propiedades físicas del elemento rotacional elastomérico	Un elemento elastomérico por lote
Propiedades físicas de la lámina de PTFE	Una lámina de material PTFE, de 0,25 m por 0,38 m por proyecto
Propiedades físicas del elemento estructural de poliuretano (excepto el conjunto de compresión)	Una lámina de material de poliuretano de 0,25 m por 0,38 m (espesor de 1,6 mm a 3,2 mm) por lote
Conjunto de compresión del elemento estructural de poliuretano	Una lámina de poliuretano de 0,10 m por 0,10 m por lote, moldeada o cortada según los requisitos de espesor de ASTM D395, Método B

A.18.3.4.4. Ensayo de comportamiento

A.18.3.4.4.1. Prueba de certificación de materiales

Las pruebas de certificación de materiales se llevarán a cabo de acuerdo con el artículo A.18.1.5.2.2.

Se deberán proporcionar la certificación para todos los elementos elastoméricos y de poliuretano. Sus propiedades de material deberán cumplir los requisitos indicados en las especificaciones técnicas y los ensayos descritos en el artículo A.18.3.2.4 para los apoyos tipo Pot y en el artículo A.18.3.2.8 para los apoyos de disco. El Proyectista Estructural puede requerir ensayos adicionales.

A.18.3.4.4.2. Verificación de dimensiones y prueba de holgura

Las dimensiones y holguras se deben verificar para todos los apoyos de acuerdo con los artículos A.18.1.5.2.4 y A.18.1.5.2.5.

C. A.18.3.4.4.2

La prueba de holgura entre el pistón y el cilindro de confinamiento en un apoyo tipo Pot y la holgura entre el elemento de restricción al corte y el disco en un apoyo de disco son dos ejemplos de holguras críticas que se verifican a través de dicha prueba, descrita en el artículo A.18.1.5.2.5, para garantizar el correcto funcionamiento del apoyo a través de su total desplazamiento y rotación de diseño.

A.18.3.4.4.3. Prueba de deterioro a largo plazo

La prueba de deterioro a largo plazo deberá cumplir los requisitos del artículo A.18.1.5.2.7. Cuando el Propietario especifique que la prueba sea realizada por lote, la prueba de deterioro a largo plazo se realizará sobre **una (1) muestra** de apoyo de disco de cada lote y **una (1) muestra** de apoyo tipo Pot de cada lote.

A.18.3.4.4.4. Ensayo de prueba de carga

Los apoyos muestreados serán ensayados a corto plazo al **150 por ciento** de la capacidad nominal especificada a **0,02 rad**. Si el tamaño del apoyo prohíbe el ensayo adecuado con el equipo disponible, el Propietario puede especificar una prueba en **un (1) apoyo** de escala reducida con requisitos comparables. La carga se mantendrá durante **5 minutos**, se retirará y se volverá a aplicar durante **5 minutos**. Si la carga cae por debajo del valor requerido durante cualquiera de las aplicaciones, la prueba debe reiniciarse desde el principio.

A discreción del Propietario, un ensayo de carga a largo plazo puede también ser especificada o sustituida por un ensayo de carga a corto plazo. Excepto como se especifica a continuación, la magnitud de la carga, los procedimientos de ensayo, y los criterios de falla para el ensayo a largo plazo serán idénticos a los del ensayo a corto plazo. La primera carga se mantendrá durante **5 minutos** y la segunda carga se mantendrá durante **15 horas**. Si la carga cae por debajo del **90 por ciento** de su valor objetivo durante este tiempo, la carga se incrementará hasta el valor objetivo y la duración del ensayo se incrementará por el período de tiempo por el cual la carga estuvo por debajo del valor requerido.

Durante el ensayo, la placa de apoyo de acero y el pistón de acero deberán mantener un contacto continuo y uniforme.

El apoyo debe ser examinado visualmente durante el ensayo y en el desmontaje luego del ensayo. Cualquier defecto visual resultante, tal como elastómero, poliuretano o PTFE extruido o deformado; sellos o anillos limitadores dañados; evidencia de contacto de metal con metal entre la pared del cilindro de confinamiento y la placa superior; o acero fisurado, será causa de rechazo del lote.

Para los apoyos de disco, se debe mantener durante el ensayo un contacto continuo y uniforme entre el elemento de poliuretano y las placas de apoyo y entre la placa superior de acero deslizante y la placa de apoyo superior. Cualquier despegue observado será causa de rechazo del lote.

C. A.18.3.4.4.4

Para apoyos fabricados, la capacidad nominal especificada es generalmente mayor que la reacción de estado límite de servicio utilizada para el diseño.

Los defectos visuales incluyen, pero no se limitan a, falla de unión, destrucción física, flujo frío de PTFE al punto de despegamiento, o componentes dañados.

A.18.3.4.4.5. Coeficiente de fricción deslizante

Para todos los apoyos de expansión guiados y no guiados, el coeficiente de fricción deslizante se medirá en la capacidad de diseño del apoyo para cada apoyo y componente de apoyo muestreado de acuerdo con los artículos A.18.1.5.2.3 y A.18.1.5.2.6.

El coeficiente de fricción deslizante se calculará como la carga horizontal requerida para mantener el deslizamiento continuo de un apoyo, dividido por la capacidad de diseño vertical del apoyo.

Los resultados del ensayo se evaluarán de la siguiente manera:

- Criterio de aprobación/reprobación descrito en el artículo A.18.1.5.2.3.
- Criterio de aprobación/reprobación descrito en el artículo A.18.1.5.2.6.
- Para apoyos ensayados de acuerdo con el artículo A.18.1.5.2.6, los apoyos serán examinados visualmente durante y después del ensayo. Cualquier defecto visual resultante, tales como falla de adherencia, destrucción física, flujo frío de PTFE al punto de despegamiento, o componentes dañados, será causa de rechazo del lote.

Los apoyos no dañados durante la prueba de características de comportamiento se pueden utilizar en el trabajo.

C. A.18.3.4.4.5

A discreción del Propietario, el requisito de realizar la prueba de acuerdo con el artículo A.18.1.5.2.3 puede no aplicarse. Las pruebas de acuerdo con el artículo A.18.1.5.2.6 verifican que los valores de fricción logrados en los ensayos de fricción del material, conducidos de acuerdo con el artículo A.18.1.5.2.3, son predictores adecuados de la fricción en el apoyo terminado.

Los defectos visuales incluyen, pero no se limitan a, falla de unión, destrucción física, flujo frío de PTFE al punto de despegamiento, o componentes dañados.

A.18.3.5. Instalación

Los apoyos tipo Pot y de disco se instalarán de acuerdo con las especificaciones técnicas y con los planos aprobados de trabajo. Un representante técnico del fabricante del apoyo

debe estar disponible para proporcionar orientación al contratista durante todo el proceso de instalación. Tras la instalación final de los apoyos, el Proyectista Estructural deberá inspeccionar los componentes del apoyo para garantizar que estén nivelados y en paralelo dentro de los **2,60 mm/m**. Cualquier desviación que exceda las tolerancias permitidas será corregida.

C. A.18.3.5

El Propietario puede requerir que un representante técnico del fabricante esté en el lugar durante la instalación de los apoyos. El representante del fabricante debe ser independiente del equipo de trabajo del contratista o mostrar una prueba de certificación para instalar los materiales del fabricante. El contratista debe analizar el trabajo a realizar con el representante del fabricante para revisar los métodos de instalación y el equipo necesario antes de comenzar el trabajo.

El representante del fabricante debe informar al Proyectista Estructural y al Contratista sobre los procedimientos adecuados de instalación para la correcta instalación de los apoyos.

BIBLIOGRAFÍA

En esta versión 2019 del Reglamento CIRSOC 804, se ha incluido la bibliografía original del AASHTO LRFD 2012.

BIBLIOGRAFÍA, CAPITULO 14

AASHTO. 2002. Standard Specifications for Highway Bridges, 17th Edition, HB-17. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

AASHTO. 2010. Guide Specifications for Seismic Isolation Design, Second Edition, GSID-3. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

ACI. 1999. Building Code Requirements for Structural Concrete, 318-99 and Commentary, 318R-99. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.

ACI. 2005. Building Code Requirements for Structural Concrete, 318-05. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.

Astaneh-Asl, A., B. Bolt, K. M. McMullin, R. R. Donikian, D. Modjtahedi, and S. Cho. 1994. Seismic Performance of Steel Bridges during the 1994 Northridge Earthquake, Report No. UCB/CE-STEEL-94/01. Report to the California Department of Transportation, April 1994.

Campbell, T. I., and W. L. Kong. 1987. TFE Sliding Surfaces in Bridge Bearings, Report ME-87-06. Ontario Ministry of Transportation and Communications, Downsview, ON.

Cook, A.R., and R. E. Klingner. 1992. "Ductile Multiple-Anchor Steel-to-Concrete Connections," Journal of Structural Engineering. American Society of Civil Engineers, New York, NY, Vol. 118, No. 6, June 1992, pp. 1645–1665.

Crozier, W. F., J. R. Stoker, V. C. Martin, and E. F. Nordlin. 1979. A Laboratory Evaluation of Full-Size Elastomeric Bridge Bearing Pads, Research Report CA DOT, TL-6574-1-74-26. Highway Research Report, Washington, DC, June 1979.

Dexter, R. J., R. J. Connor, and M. R. Kaczinski. 1997. Fatigue Design of Modular Bridge Joint Systems, NCHRP Report 402. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.

Dexter, R. J., M. J. Mutziger, and C. B. Osberg. 2002. Performance Testing for Modular Bridge Joint Systems, NCHRP Report 467. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.

Gent, A. N. 1964. "Elastic Stability of Rubber Compression Springs," Journal of Mechanical Engineering Science. Abstract, Vol. 86, No. 3, p. 86.

Gilstad, D. E. 1990. "Bridge Bearings and Stability," Journal of Structural Engineering. American Society of Civil Engineers, New York, NY, Vol. 116, No. 5, May 1990.

HITEC. 2002. Guidelines for Testing Large Seismic Isolator and Energy Dissipation Devices, HITEC/CERF Report 40600. American Society of Civil Engineers, Washington, DC.

Jacobsen, F. K., and R. K. Taylor. 1971. TFE Expansion Bearings for Highway Bridges, Report No. RDR-31. Illinois Department of Transportation, Springfield, IL.

Lehman, D. E., C. W. Roeder, R. Larson, and K. Curtin. 2003. Cotton Duck Bearing Pads: Engineering Evaluation and Design Recommendations, Research Report No. WA-RD 569.1. Washington State Department of Transportation, Olympia, WA.

McEwen, E. E., and G. D. Spencer. 1981. "Finite Element Analysis and Experimental Results Concerning Distribution of Stress under Pot Bearings." In Proc., 1st World Congress on Bearings and Sealants, Publication SP-70. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.

Mander, J. B, J. H. Kim, and S. S. Chen. 1993. "Experimental Performance and Modeling Study of a 30-Year-Old Bridge with Steel Bearings," Transportation Research Record 1393. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.

Nordlin, E. F., J. F. Boss, and R. R. Trimble. 1970. "Tetrafluorethylene. TFE as a Bridge Bearing Material," Research Report No. M and R 64642-2. California Department of Transportation, Sacramento, CA.

Nowak, A. S., and J. A. Laman. 1995. "Monitoring Bridge Load Spectra," IABSE Symposium, Extending the Lifespan of Structures. San Francisco, CA.

Pattis, A. 1993. "Dynamische Bemessung von Wasserdichten Fahrbahnuibergangen-Modulsysteme (Dynamic Design of Waterproof Modular Expansion Joints)." Ph.D. Dissertation. Civil Engineering and Architecture, University of Innsbruck, Austria, December 1993.

Roark. R. J., and W. C. Young. 1976. Formulas for Stress and Strain, Fifth Edition. McGraw Hill, New York, NY.

Roeder, C. W. 2000. LRFD Design Criteria for Cotton Duck Pad Bridge Bearing, NCHRP Web Doc 24. Available online: http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_w24.pdf

Roeder, C. W. 2002. Thermal Design Procedure for Steel and Concrete Bridges, Final Report for NCHRP 20-07/106. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

Roeder, C. W., and J. F. Stanton. 1983. "Elastomeric Bearings: A State of the Art," Journal of the Structural Division. American Society of Civil Engineers, New York, NY, Vol. 109, No. 12, December 1983, pp. 2853–2871.

Roeder, C. W., and J. F. Stanton. 1986. "Failure Modes of Elastomeric Bearings and Influence of Manufacturing Methods." In Vol. 1, Proc. of 2nd World Congress on Bearings and Sealants, Publication SP-94-17. 84-AB. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.

Roeder, C. W., and J. F. Stanton. 1991. "State of the Art Elastomeric Bridge Bearing Design," ACI Structural Journal. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, Vol. 88, No. 1, pp. 31–41.

Roeder, C. W., J. F. Stanton, and T. Feller. 1990. "Low Temperature Performance of Elastomers," *Journal of Cold Regions*. American Society of Civil Engineers, New York, NY, Vol. 4, No. 3, September 1990, pp. 113–132.

Roeder, C. W., J. F. Stanton, and A. W. Taylor. 1987. *Performance of Elastomeric Bearings*, NCHRP Report 298. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, October 1987.

Roeder, C. W., J. F. Stanton, and A. W. Taylor. 1990. "Fatigue of Steel-Reinforced Elastomeric Bearings," *Journal of Structural Division*. American Society of Civil Engineers, New York, NY, Vol. 116, No. 2, February 1990.

Saxena, A., and E. E. McEwen. 1986. "Behavior of Masonry Bearing Plates in Highway Bridges." In *Proc. of 2nd World Congress on Bearings and Sealants*, ACI Publication SP-94-31. 84-AB. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.

Schilling, C. G. 1990. *Variable Amplitude Load Fatigue, Task A—Literature Review: Volume I—Traffic Loading and Bridge Response*, FHWA/RD/87-059. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC, July 1990.

Stanton, J. F., and C. W. Roeder. 1982. *Elastomeric Bearings Design, Construction, and Materials*, NCHRP Report 248. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, August 1982.

Stanton, J. F., C. W. Roeder, and T. I. Campbell. 1999. *High-Load Multi-Rotational Bridge Bearings*, NCHRP Report 432. Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC.

Stanton, J. F., G. Scroggins, A. W. Taylor, and C. W. Roeder. 1990. "Stability of Laminated Elastomeric Bearings," *Journal of Engineering Mechanics*. American Society of Civil Engineers, New York, NY, Vol. 116, No. 6, June 1990, pp. 1351–1371.

Stanton, J. F., C. W. Roeder, P. Mackenzie-Helnwein, C. White, C. Kuester, and B. Craig. 2008. *Rotation Limits for Elastomeric Bearings*, NCHRP Report 596. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, February 2008.

Subcommittee for High Load Multi-Rotational Bearings, FHWA Region 3 Structural Committee for Economical Fabrication. 1991. *Structural Bearing Specification*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC, October 1991.

Tschemmernegg, F. 1991. "The Design of Modular Expansion Joints." *Proceedings of the 3rd World Congress on Joint Sealing and Bearing Systems for Concrete Structures*. Toronto, ON.

Tschemmernegg, F., and A. Pattis. 1994. "Using the Concept of Fatigue Test to Design a Modular Expansion Joint." *Transportation Research Board 73rd Annual Meeting*, January 1994.

Ueda, T., S. Kitipornchai, and K. Ling. 1990. "Experimental Investigation of Anchor Bolts under Shear," *Journal of Structural Engineering*. American Society of Civil Engineers, New York, NY, Vol. 116, No. 4, April 1990, pp. 910–924.

U.S. Department of Defense. 1989. Cloth, Duck, Cotton or Cotton-Polyester Blend, Synthetic Rubber, Impregnated, and Laminated, Oil Resistant, Military Specification MIL-C-882E. Available online at: <http://assist.daps.dla.mil>. (Requires site registration.)

INTI

INSTITUTO NACIONAL DE
TECNOLOGÍA INDUSTRIAL



CIRSOC

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