

Recomendación CIRSOC 305
Ministerio de Planificación Federal,
Inversión Pública y Servicios
Secretaría de Obras Públicas de la Nación

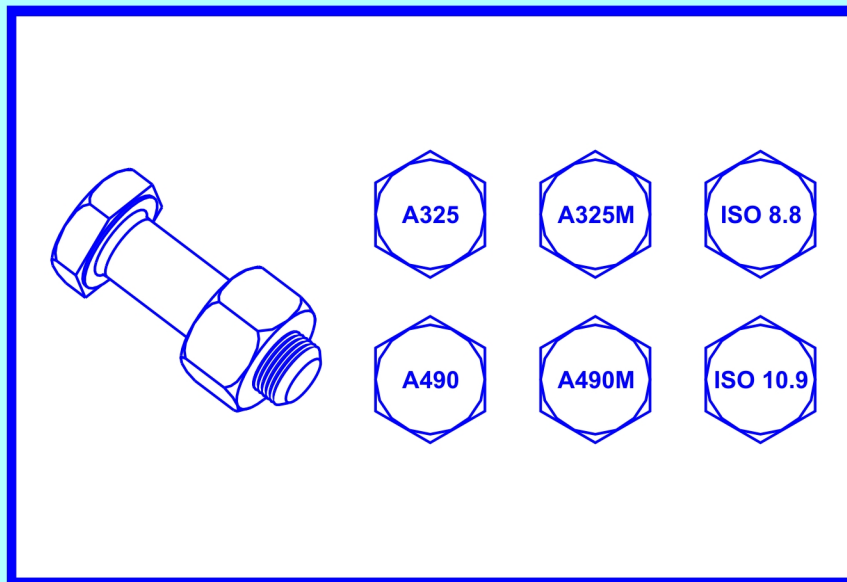
INTI

Instituto Nacional de
Tecnología Industrial



CIRSOC

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



RECOMENDACIÓN PARA
UNIONES ESTRUCTURALES
CON BULONES DE ALTA
RESISTENCIA

Julio 2007

***RECOMENDACIÓN PARA
UNIONES ESTRUCTURALES
CON BULONES DE
ALTA RESISTENCIA***

EDICION JULIO 2007



**Av. Cabildo 65 - Subsuelo Ala Savio
(C1426AAA) Buenos Aires – República Argentina
TELEFAX. (54 11) 4779-5271 / 4779-5273**

**E-mail: cirsoc@inti.gob.ar
cirsoc@ffmm.gov.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 Administración, Finanzas y Promoción: **Lic. Mónica B. Krotz***

*Área Venta de Publicaciones: **Sr. Néstor D. Corti***

© 2009

Editado por INTI

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

Av. Leandro N. Alem 1067 – 7° piso - Buenos Aires. Tel. 4515-5000 / 5001

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



ORGANISMOS PROMOTORES

Secretaría de Obras Públicas de la Nación
Subsecretaría 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
Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires
Dirección Nacional de Vialidad
Vialidad de la Provincia de Buenos Aires
Consejo Interprovincial de Ministros de Obras Públicas
Cámara Argentina de la Construcción
Consejo Profesional de Ingeniería Civil
Cámara Industrial de Cerámica Roja
Asociación de Fabricantes de Cemento Pórtland
Techint
Acindar
Instituto Argentino de Normalización
Consejo Vial Federal

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 Argentina de Empresas de Fundaciones de Ingeniería Civil
Centro Argentino de Ingenieros
Instituto Argentino de Siderurgia
Telefónica de Argentina
Transportadora Gas del Sur
Sociedad Central de Arquitectos
Sociedad Argentina de Ingeniería Geotécnica
Quasdam Ingeniería
Colegio de Ingenieros de la Provincia de Buenos Aires
Cámara Argentina del Aluminio y Metales Afines

RECONOCIMIENTO ESPECIAL

El ***INTI-CIRSOC*** agradece muy especialmente a las Autoridades del ***Research Council on Structural Connections (RCSC)*** por habernos permitido adoptar como base para el desarrollo de esta Recomendación el documento "*Specification for the Structural Joints using ASTM A 325 or A 490 Bolts*", editado el 23 de junio de 2000.

ASESORES QUE INTERVINIERON EN LA REDACCIÓN DE LA

***RECOMENDACIÓN PARA
UNIONES ESTRUCTURALES
CON BULONES DE
ALTA RESISTENCIA***

CIRSOC 305

***Ing. Nora E. Moncada
Ing. Antonio D. L. Coloccini
Ing. Juan Carlos Martínez
Ing. Bruno A. Coloccini
Ing. Nuria Ferrero***

COMISION PERMANENTE DE ESTRUCTURAS DE ACERO DE INTI-CIRSOC

Coordinador

Ing. Gabriel R. Troglia	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA, DEPARTAMENTO ESTRUCTURAS, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FISICAS Y NATURALES
	DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA, FACULTAD DE ARQUITECTURA URBANISMO Y DISEÑO

Integrantes:

Ing. Francisco Pedrazzi	INSTITUTO ARGENTINO DE SIDERURGIA
Ing. Horacio Rezk	UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES, FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. Arnaldo Mallamaci	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN, FACULTAD DE INGENIERIA
Ing. Alejandro Sesin	TECHINT S.A.
Ing. Gustavo Darin	UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES, FACULTAD DE INGENIERÍA - U.T.N. FACULTAD REGIONAL BS. AS. - ASOCIACIÓN DE INGENIEROS ESTRUCTURALES
Ing. Juan C. Reimundin	UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGIA
Inga. Nora Moncada	UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERIA Y AGRIM., PROFESORA TITULAR CONSTRUCCIONES METÁLICAS II
Ing. Juan Carlos Piter	UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL, FACULTAD REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
Ing. Hector Auad	UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍA
Ing. Alejandro Giuliano	INPRES - INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA
Ing. Fructuoso Berganza	CÁMARA DE FABRICANTES DE CAÑOS Y TUBOS DE ACERO
Ing. Adrián Puente Vergara	
Ing. Osvaldo R. Arario	ACINDAR S. A.
Ing. Faustino Amelong	

COMISION PERMANENTE DE ESTRUCTURAS DE ACERO DE INTI-CIRSOC

(*continuación*)

Ing. Daniel García Gei	UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL, FACULTAD REGIONAL MENDOZA
Ing. Pablo Alra	TENARIS-SIDERCA
Ing. Raul Cardoso	MARBY S.A.
Ing. Pablo Ruival	M. ROYO S.A.
Ing. Heriberto Martin	TUBOS ARGENTINOS S.A.
Ing. Oliva Hernández	IRAM
Ing. Oscar Troviano	MINISTERIO DE HACIENDA, FINANZAS Y OBRAS PÚBLICAS DE LA PROVINCIA DEL NEUQUÉN, SUBSECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS PÚBLICOS
Ing. Enrique Trivelli	TUBHIER S.A.
Ing. Francisco Crisafulli	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO, FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. José M Vidmar	INVITADO ESPECIAL
Ing. Antonio Coloccini	INVITADO ESPECIAL
Ing. Bruno Coloccini	INVITADO ESPECIAL
Ing. Eduardo Asta	INVITADO ESPECIAL

PRÓLOGO

Esta Recomendación CIRSOC ha sido desarrollada en base a la Especificación para Uniones Estructurales con Bulones ASTM A325 ó A490, editada el 23 de Junio de 2000 por el Research Council on Structural Connections (RCSC), considerando las calidades de bulones disponibles en el país y sus aplicaciones en las estructuras.

En el texto de esta Recomendación se hace referencia a especificaciones y códigos internacionales vigentes al momento de desarrollar este documento (año 2007), advirtiendo a los profesionales usuarios de su contenido que dichos documentos pueden tener actualizaciones y correcciones posteriores a la publicación de esta edición.

Por este motivo, el INTI-CIRSOC no asume responsabilidad alguna en relación con dicho material, salvo la de hacer referencia a él e incorporarlo como referencia al momento de la publicación de esta Recomendación CIRSOC 305-2007.

Se advierte a los Proyectistas o Diseñadores Estructurales que en esta Recomendación CIRSOC 305 se adoptan como unidades de medidas de longitud **el milímetro (mm)** y de superficie **el milímetro al cuadrado (mm²)**, lo que difiere del Reglamento CIRSOC 301-2005, donde se adopta el **centímetro (cm)** y el **centímetro al cuadrado (cm²)** respectivamente.

ÍNDICE

SÍMBOLOGIA	I
GLOSARIO	I
CAPÍTULO 1. REQUISITOS GENERALES	1
1.1. CAMPO DE VALIDEZ	1
1.2. ACCIONES, FACTORES DE CARGA Y COMBINACIONES DE ACCIONES	1
1.3. NORMAS Y ESPECIFICACIONES DE REFERENCIA	1
1.4. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA	4
CAPÍTULO 2. COMPONENTES DE LOS PASADORES	5
2.1. CERTIFICACIÓN DEL FABRICANTE DE LOS COMPONENTES DE LOS PASADORES	5
2.2. ALMACENAMIENTO DE LOS COMPONENTES DE LOS PASADORES	5
2.3. BULONES ESTRUCTURALES DE CABEZA HEXAGONAL	5
2.3.1. Especificaciones	5
2.3.2. Geometría	7
2.3.3. Reutilización	7
2.4. TUERCAS DE CABEZA HEXAGONAL	7
2.4.1. Especificaciones	7
2.4.2. Geometría	7
2.5. ARANDELAS	7
2.6. DISPOSITIVOS INDICADORES TIPO ARANDELA	8
2.6.1. Indicadores directos de tensión tipo arandela compresible	8
2.6.2. Dispositivos indicadores tipo arandela alternativos	8
2.7. BULONES DE TORQUE CONTROLADO POR CORTE DE BULÓN	9
2.8. PASADORES DE DISEÑO ALTERNATIVO	9
CAPÍTULO 3. ELEMENTOS ABULONADOS	11
3.1. CHAPAS CONECTADAS	11
3.2. SUPERFICIES DE CONTACTO	11
3.3. AGUJEROS PARA BULONES	12
3.3.1. Agujeros normales	12

3.3.2.	Agujeros holgados	12
3.3.3.	Agujeros ovalados cortos	12
3.3.4.	Agujeros ovalados largos	13
3.4.	REBABAS	14
CAPÍTULO 4. TIPOS DE UNIÓN		15
4.1.	UNIONES CON AJUSTE SIN JUEGO	16
4.2.	UNIONES PRETENSADAS	16
4.3.	UNIONES DE DESLIZAMIENTO CRÍTICO	16
CAPÍTULO 5. ESTADOS LÍMITES EN UNIONES ABULONADAS		19
5.1.	RESISTENCIAS DE DISEÑO AL CORTE Y A LA TRACCIÓN	19
5.2.	COMBINACIÓN DE CORTE Y TRACCIÓN	21
5.3.	RESISTENCIA DE DISEÑO AL APLASTAMIENTO DE LA CHAPA EN LOS AGUJEROS PARA BULONES	21
5.4.	RESISTENCIA DE DISEÑO AL DESLIZAMIENTO	22
5.4.1.	A nivel de acciones mayoradas	22
5.4.2.	A nivel de acciones de servicio	23
5.5.	FATIGA POR TRACCIÓN	24
CAPÍTULO 6. USO DE ARANDELAS		25
6.1.	UNIONES CON AJUSTE SIN JUEGO	25
6.1.1.	Superficies inclinadas	25
6.1.2.	Agujero ovalado	25
6.2.	UNIONES PRETENSADAS Y UNIONES DE DESLIZAMIENTO CRÍTICO	25
6.2.1.	Tensión de fluencia mínima especificad del material inferior a 275 MPa	25
6.2.2.	Pretensado con llave calibrada	25
6.2.3.	Pretensado con indicador directo de la tensión	25
6.2.4.	Agujeros holgados u ovalados	26
CAPÍTULO 7. VERIFICACIÓN PREVIA A LA INSTALACIÓN		27
7.1.	CALIBRADOR DE LA TENSIÓN	27
7.2.	ENSAYOS REQUERIDOS	27

CAPÍTULO 8. INSTALACIÓN	29
8.1. UNIONES CON AJUSTE SIN JUEGO	29
8.2. UNIONES PRETENSADAS	30
8.2.1. Pretensado con giro de tuerca	30
8.2.2. Pretensado con llave calibrada	31
8.2.3. Pretensado con indicador directo de la tensión	31
CAPÍTULO 9. INSPECCIÓN	33
9.1. UNIONES CON AJUSTE SIN JUEGO	33
9.2. UNIONES PRETENSADAS	33
9.2.1. Pretensado con giro de tuerca	34
9.2.2. Pretensado con llave calibrada	34
9.2.3. Pretensado con indicador directo de la tensión	34
9.3. UNIONES DE DESLIZAMIENTO CRÍTICO	34
CAPÍTULO 10. ARBITRAJE	35
APÉNDICE A. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS UTILIZADOS EN LAS UNIONES ABULONADAS	A1-1
APÉNDICE A1. REQUISITOS GENERALES	A1-1
A1.1. PRÓPOSITO Y ALCANCE	A1-1
A1.2. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES ESENCIALES	A1-1
A1.2.1. Intervalo de tiempo	A1-1
A1.2.2. Espesor del recubrimiento	A1-1
A1.2.3. Composición del recubrimiento y método de fabricación	A1-1
A1.3. REPETICIÓN DE LOS ENSAYOS	A1-1
APÉNDICE A2. CHAPAS PARA ENSAYO Y RECUBRIMIENTO DE LAS PROBETAS	A2-3
A2.1. CHAPAS PARA ENSAYO	A2-3
A2.2. RECUBRIMIENTO DE LAS PROBETAS	A2-3

APÉNDICE A3. ENSAYOS DE DESLIZAMIENTO	A3-5
A3.1. EQUIPO PARA EL ENSAYO DE COMPRESIÓN	A3-5
A3.1.1. Sistema para la aplicación de la fuerza de apriete	A3-5
A3.1.2. Sistema para la aplicación de la carga de compresión	A3-5
A3.2. INSTRUMENTACIÓN	A3-6
A3.2.1. Fuerza de apriete	A3-6
A3.2.2. Carga de compresión	A3-6
A3.2.3. Deformación por deslizamiento	A3-6
A3.3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	A3-7
A3.4. CARGA DE DESLIZAMIENTO	A3-7
A3.5. COEFICIENTE DE FRICCIÓN	A3-8
A3.6. MÉTODOS DE ENSAYO ALTERNATIVOS	A3-9
APÉNDICE A4. ENSAYO DE FLUENCIA LENTA EN TRACCIÓN	A4-11
A4.1. EQUIPO PARA EL ENSAYO	A4-11
A4.2. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	A4-11
BIBLIOGRAFÍA	13

SIMBOLOGÍA

En esta Recomendación se utilizan los siguientes símbolos.

- A_b** área de la sección transversal en base al diámetro nominal del bulón, en mm².
- D** factor de probabilidad de deslizamiento como se describe en el artículo 5.4.2.
- D_u** factor que refleja la relación entre la pretensión media del bulón instalado y la pretensión mínima especificada para el bulón T_b como se describe en el artículo 5.4.1.
- F_n** resistencia nominal (por unidad de superficie), en MPa.
- F_u** resistencia a la tracción mínima especificada (por unidad de superficie), en MPa.
- F_y** tensión de fluencia especificada para el acero que se está utilizando .El término "tensión de fluencia" se refiere en esta Recomendación, al punto mínimo de fluencia (para aquellos aceros que presentan un punto de fluencia), o a la tensión de fluencia especificada (para aquellos aceros que no presentan un punto de fluencia), en MPa.
- I** momento de inercia del miembro armado respecto al eje de pandeo (ver el comentario al artículo 5.4.), en mm⁴.
- L** longitud total del elemento armado (ver el Comentario al artículo 5.4.), en mm.
- L_c** distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o el borde del material, en mm.
- N_b** número de bulones en la unión.
- P_u** resistencia axial requerida a la compresión, en kN; fuerza de compresión axial en el miembro armado debida a acciones mayoradas (ver el comentario al artículo 5.4.), en kN.
- Q** momento estático de un componente respecto al eje de pandeo del elemento armado (ver el comentario al artículo 5.4.), en mm³.
- R_n** resistencia nominal, (N o kN según se indique en cada caso).
- R_s** resistencia al deslizamiento bajo acción de servicio, en kN.
- T** fuerza de tracción aplicada en servicio, en kN.
- T_b** pretensión mínima especificada para el bulón (para uniones pretensadas como se especifica en la Tabla 8.1), en kN.
- T_u** resistencia requerida a la tracción debida a acciones mayoradas, (en N o kN según se indique en cada caso).
- V_u** resistencia requerida al corte debida a acciones mayoradas, (en N o kN según se

indique en cada caso).

- d*** diámetro nominal del bulón, (en mm o pulg según se indique en cada caso).
- t*** espesor del material conectado, en mm.
- t'*** espesor total de los suplementos (ver el artículo 5.1.), en mm.
- k_s*** coeficiente de fricción para una muestra individual determinado conforme al Apéndice A.
- φ*** factor de resistencia
- φR_n*** resistencia de diseño, (en N o kN según se indique en cada caso).
- μ*** coeficiente medio de fricción.

Equivalencia de unidades:

$$1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 10 \text{ Kg/ cm}^2$$

GLOSARIO

A continuación se definen los términos más utilizados en esta Recomendación, los que aparecen en el texto con letra cursiva cada vez que se los utiliza con el fin de advertirle al usuario que dicho término está definido en este Glosario.

Coefficiente medio de fricción, μ . Relación entre la carga de corte friccional en la **superficie de contacto** y la fuerza normal total cuando se produce el deslizamiento.

Conexión. Conjunto de una o más *uniones* que se utilizan para transmitir fuerzas entre dos o más miembros.

Contacto firme. Condición que existe en una **superficie de contacto** cuando las chapas están sólidamente asentadas una contra otra, pero no necesariamente en contacto continuo.

Contratista. Persona o personas responsables de proveer, preparar y ensamblar los componentes de los pasadores y las partes conectadas descriptas en esta Recomendación.

Director Técnico. Persona responsable de garantizar que el **contratista** haya cumplido los requisitos de esta Recomendación en sus trabajos.

Fabricante. Persona o personas que producen los componentes del **medio de unión**.

Guía. Hace referencia al documento *Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints* (Guía de Criterios de Diseño para Uniones Abulonadas y Remachadas), 2° Edición (Kulak y otros., 1987).

Inicio de las tareas. Cualquier momento anterior a la instalación de los *bulones de alta resistencia* en una **conexión** estructural, de acuerdo con el Capítulo 8.

Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings (LRFD): Criterio de diseño por factores de carga y resistencia en base a los estados límites de resistencia y de servicio; adoptado por el American Institute of Steel Construction (AISC)

Longitud de apriete. Espesor total de las chapas de una **unión** que atraviesa el bulón, excluyendo arandelas o indicadores directos de la tensión.

Lote. En esta Recomendación el término **lote** se debe utilizar como se indica en cada norma IRAM que se señala en la siguiente Tabla.

Producto	Norma (*)	Ver definición de lote en el artículo (*)
Bulones	IRAM 5453 (ASTM A325)	(9.4)
	IRAM correspondiente (ASTM A325M)	(9.4)
	IRAM 5464 (ISO 8.8)	
	IRAM 5455 (ASTM A490)	(11.3.2 ó 11.4.2)
	IRAM correspondiente (ASTM A490M)	
	IRAM 5464 (ISO 10.9)	
Tuercas	IRAM 5456 (ASTM A563)	(9.2)
	IRAM correspondiente (ASTM A563M)	(9.2)
	IRAM 5465 (ISO 4775)	
Arandelas	IRAM 5457 (ASTM F436)	(9.2)
	IRAM correspondiente (ASTM F436M)	
Indicadores directos de la tensión tipo arandela compresible	IRAM correspondiente (ASTM F959)	(10.2.2)
	IRAM correspondiente (ASTM F959M)	(10.2.2)
(*) Las normas mencionadas se encuentran en redacción en base a los documentos internacionales que se señalan entre paréntesis, los que se podrán utilizar hasta que las mencionadas normas IRAM estén vigentes. En la columna "Ver definición de lote", el número entre paréntesis corresponde al artículo de la norma ASTM mencionada en la 2° columna dado que aún no se dispone de número de artículo de las normas IRAM.		

Medio de unión. Conjunto formado por los componentes de un pasador que se entregan, ensayan e instalan como una unidad.

Observación de rutina. Monitoreo periódico del trabajo en progreso.

Pasador. Conjunto formado por bulón, arandela y tuerca que sirve para transmitir fuerzas.

Proveedor. Parte que suministra los componentes de los pasadores a la parte que los empleará.

Proyectista Estructural. Profesional responsable del Proyecto y cálculo de la estructura y de las autorizaciones requeridas en esta Recomendación (ver el artículo 1.4 y el Comentario correspondiente).

Resistencia de diseño. ϕR_n , resistencia proporcionada por un elemento o conexión; producto entre la resistencia nominal R_n y el factor de resistencia ϕ .

Resistencia nominal. Capacidad de una estructura o componente de resistir los efectos de las cargas, de acuerdo con lo calculado empleando las resistencias especificadas de los materiales y sus dimensiones y ecuaciones derivadas a partir de principios aceptados de la mecánica estructural, o mediante ensayos en obra o en laboratorio de modelos a

escala, considerando adecuadamente los efectos del modelado y las diferencias entre las condiciones en el laboratorio y en la obra.

Resistencia requerida. Efecto de las acciones que actúan sobre un elemento o *conexión* determinado mediante análisis estructural a partir de las acciones mayoradas utilizando la combinación crítica de acciones.

Suficiente acoplamiento de la rosca. Prolongándose el extremo del bulón más allá de la superficie exterior de la tuerca, o al menos hasta estar en el mismo plano que la misma; condición que desarrolla la resistencia del bulón.

Superficie de contacto. Plano de contacto entre dos chapas de una *unión*.

Superficie de contacto galvanizada. *Superficie de contacto* que se ha galvanizado por inmersión en caliente.

Superficie de contacto no recubierta. Superficie de contacto que no ha sido imprimada, pintada ni galvanizada y que está libre de laminillo, suciedad y otros materiales extraños.

Superficie de contacto recubierta. *Superficie de contacto* que ha sido imprimada, imprimada y pintada o protegida contra la corrosión, excepto mediante galvanizado por inmersión en caliente.

Unión. Conjunto abulonado con o sin cubrejuntas que se utiliza para unir dos elementos estructurales.

Unión con ajuste sin juego. *Unión* en la cual los bulones se han instalado de acuerdo con el artículo 8.1. La condición de ajuste sin juego es la más ajustada que se logra con unos pocos golpes de una llave de impacto o mediante el máximo esfuerzo de un trabajador utilizando una llave de cola (tuerca) común para poner las chapas en **contacto firme**.

Unión de Deslizamiento Crítico. *Unión* que transmite fuerzas de corte o fuerzas de tracción en combinación con fuerzas de tracción, en las cuales los bulones se han instalado de acuerdo con el artículo 8.2., de manera que haya una pretensión en el bulón instalado (fuerza de apriete sobre las *superficies de contacto*) y en las cuales las **superficies de contacto** se han preparado adecuadamente de manera de proporcionar una resistencia al deslizamiento calculable.

Unión Pretensada. *Unión* que transmite fuerzas de corte y/o de tracción en la cual los bulones se han instalado de acuerdo con el artículo 8.2 a fin de aplicar una pretensión al bulón instalado.

Unión sometida a corte y aplastamiento. *Unión con ajuste sin juego o unión pretensada* con bulones que transmiten fuerzas de corte y para las cuales los criterios de diseño se basan en la resistencia al corte de los bulones y la resistencia al aplastamiento de los materiales conectados.

CAPÍTULO 1. REQUISITOS GENERALES

1.1. CAMPO DE VALIDEZ

Esta Recomendación se aplica al diseño de las **uniones** abulonadas y a la instalación e inspección de los componentes de los **medios de unión** especificados en el artículo 1.3. al uso de pasadores de diseño alternativo de acuerdo con lo permitido en el artículo 2.8. y a los dispositivos indicadores alternativos tipo arandela de acuerdo con lo permitido en el artículo 2.6.2., en **uniones** estructurales de acero. Esta Recomendación se refiere sólo a aquellos aspectos de los materiales conectados que influyen en el comportamiento de los componentes de los pasadores. Los Capítulos correspondientes a Simbología, Glosario y Apéndices forman parte de esta Recomendación.

En esta Recomendación se consideran los **bulones de alta resistencia** de dos niveles de resistencia:

- Nivel 1:

- norma IRAM 5453 (en redacción en base al documento ASTM A325),
- norma IRAM a redactar en base al documento ASTM A325M,
- norma IRAM 5464-Clase 8.8 (en redacción en base al documento ISO 7412 C8.8).

- Nivel 2:

- norma IRAM 5455 (en redacción en base al documento ASTM A490),
- norma IRAM a redactar en base al documento ASTM A490M,
- norma IRAM 5464-Clase ISO 10.9 (en redacción en base al documento ISO 7412 C10.9).

1.2. ACCIONES, FACTORES DE CARGA Y COMBINACIONES DE ACCIONES

El diseño y la construcción de la estructura se deben realizar de acuerdo con el **Reglamento CIRSOC 301-2005 Reglamento Argentino de Estructuras de Acero para Edificios**. Debido a que las combinaciones de acciones mayoradas toman en cuenta la baja probabilidad de que las cargas máximas actúen simultáneamente, las **resistencias de diseño** dadas en esta Recomendación no se deben incrementar.

1.3. NORMAS Y ESPECIFICACIONES DE REFERENCIA

Las siguientes normas y especificaciones fueron adoptadas como referencia para la redacción de esta Recomendación. Teniendo en cuenta que el cuerpo de normas IRAM mencionado en esta Recomendación y en el Reglamento CIRSOC 301-2005 aún se encuentra en etapa de redacción, se ha decidido incluir en el listado que se desarrolla a continuación, las normas mencionadas en la "Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts", que diera origen a la presente Recomendación, además de

otras normas internacionales de reconocido prestigio como las ISO. El **Proyectista o Diseñador Estructural** podrá recurrir a ellas cuando deba resolver situaciones no específicamente tratadas en los Reglamentos CIRSOC o INPRES-CIRSOC, en las normas IRAM, o cuando las correspondientes normas IRAM no estuvieran redactadas o vigentes a la fecha de vigencia legal de esta Recomendación.

a) Reglamento y normas nacionales

Reglamento CIRSOC 301-2005 *Reglamento Argentino de Estructuras de Acero para Edificios.*

IRAM 5464 (ISO 7412) *Bulones estructurales de cabeza hexagonal de alta resistencia- Clases ISO 8.8 y 10.9.*

IRAM 5465 (ISO 4775) *Tuercas hexagonales para bulones estructurales de alta resistencia- clases ISO 8.8 y 10.9.*

IRAM 5466 (ISO 7415) *Arandelas planas para bulones estructurales de alta resistencia, endurecidas y templadas.*

IRAM 5467 (ISO 7416) *Arandelas planas para bulones estructurales de alta resistencia, biseladas, endurecidas y templadas.*

IRAM 5453 (ASTM A325) *Bulones estructurales de acero con tratamiento térmico Fu mínimo: 825 – 725 MPa - Tipo A 325.*

IRAM 5455 (ASTM A490) *Bulones estructurales de acero con tratamiento térmico Fu mínimo: 1035 MPa - Tipo A 490.*

IRAM 5456 (ASTM A563) *Tuercas de aceros al carbono y aleados.*

IRAM 5457 (ASTM F436) *Arandelas de acero endurecidas.*

IRAM 5451 (ASTM A194/A194M) *Tuercas de aceros al carbono y aleadas para bulones en servicio bajo alta presión y altas temperaturas.*

IRAM a redactar en base al documento ASTM A123/A123M.

IRAM a redactar en base al documento ASTM A153/A153M.

IRAM a redactar en base al documento ASTM A325M.

IRAM a redactar en base al documento ASTM A490M.

IRAM a redactar en base al documento ASTM A563M.

IRAM a redactar en base al documento ASTM B695.

IRAM a redactar en base al documento ASTM F436M.

IRAM a redactar en base al documento ASTM F959.

IRAM a redactar en base al documento ASTM F959M.

IRAM a redactar en base al documento ANSI/ASME B18.2.3.7M.

IRAM a redactar en base al documento ANSI/ASME B18.2.6.

b) Documentos internacionales mencionados en la *Especificación para Uniones Estructurales con Bulones ASTM A325 o A490* (adoptada de base para el desarrollo de esta Recomendación CIRSOC 305)

b.1) American Institute of Steel Construction

Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings, Diciembre 27, 1999.

b.2) American National Standards Institute

ANSI/ASME B18.2.6-96 *Fasteners for Use in Structural Applications*.

b.3) American Society for Testing and Materials

ASTM A123-97a *Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products*.

ASTM A153-09 *Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware*.

ASTM A194-98b *Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts for Bolts for High Pressure or High-Temperature Service*.

ASTM A325-97 *Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength*.

ASTM A490-97 *Standard Specification for Heat-Treated Steel Structural Bolts, 150 ksi Minimum Tensile Strength*.

ASTM A563-97 *Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts*.

ASTM B695-91¹ *Standard Specification for Coatings of Zinc Mechanically Deposited on Iron and Steel*.

ASTM F436-93 *Standard Specification for Hardened Steel Washers*.

ASTM F959-99a *Standard Specification for Compressible-Washer-Type Direct Tension Indicators for Use with Structural Fasteners*.

ASTM F1852-98 *"Twist off" Type Tension Control Structural Bolt/Nut/ Washer Assemblies, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength*.

¹ *Aprobada nuevamente en 1997.*

b.4) American Society of Civil Engineers

ASCE 7-98 *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*.

b.5) SSPC: The Society for Protective Coatings

SSPC-PA2-96 *Measurement of Dry Coating Thickness with Magnetic Gages*.

c) Normas ISO

ISO 898-1:1999 *Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel - Part 1: Bolts, screws and studs*.

ISO 898-2:1992 *Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel - Part 2: Nuts with specified proof load values -- Coarse thread*.

ISO 7412:1984 *Hexagon bolts for high-strength structural bolting with large width across flats (short thread length) — Product grade C — Property classes 8.8 and 10.9*.

ISO 4775:1984 *Hexagon nuts for high-strength structural bolting with large width across flats — Product grade B — Property classes 8 and 10*.

1.4. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

El **Proyectista o Diseñador Estructural** deberá especificar la siguiente información en la documentación técnica:

- (1) Designación y tipo (Capítulo 2) de bulones a utilizar;
- (2) Tipo de **unión** (Capítulo 4);
- (3) Si se especifican **uniones de deslizamiento crítico**, la clase de resistencia al deslizamiento requerida (Capítulo 4); y
- (4) Si se especifican **uniones de deslizamiento crítico**, definir si el deslizamiento se verifica para acciones mayoradas o para acciones de servicio (Capítulo 5).

CAPÍTULO 2. COMPONENTES DE LOS PASADORES

2.1. CERTIFICACIÓN DEL *FABRICANTE* DE LOS COMPONENTES DE LOS PASADORES

Antes del armado o montaje de las estructuras de acero, el **Proyectista o Diseñador Estructural** y el **Director Técnico** deberán tener acceso a las certificaciones emitidas por el **Fabricante** que documenten el cumplimiento de las especificaciones aplicables requeridas en los artículos 2.3. a 2.8., de todos los componentes utilizados en los **medios de unión**.

2.2. ALMACENAMIENTO DE LOS COMPONENTES DE LOS PASADORES

Los componentes de los pasadores deberán estar protegidos de la suciedad y la humedad, almacenados en recipientes cerrados en el sitio de instalación. De este **almacenamiento protegido** sólo se deberá retirar el número de componentes a utilizar durante el turno de trabajo. Los componentes que no sean incorporados a las obras se deberán regresar al **almacenamiento protegido**, al finalizar el turno de trabajo. Los componentes de los pasadores no se deben limpiar ni se debe modificar su condición "tal como son entregados".

Los componentes de los pasadores que hayan acumulado herrumbre o suciedad no se deben incorporar a las obras a menos que se los recalifique como se especifica en el Capítulo 7. Los pasadores de diseño alternativo, que cumplen con los requisitos del artículo 2.8. no se deben volver a lubricar, a menos que lo haga el **Fabricante**.

2.3. BULONES ESTRUCTURALES DE CABEZA HEXAGONAL

2.3.1. Especificaciones

Los bulones estructurales de cabeza hexagonal deberán cumplir con los requisitos de alguna de las siguientes normas IRAM:

Para Nivel 1:

- norma IRAM 5453 (en redacción en base al documento ASTM A325),
- norma IRAM a redactar en base al documento ASTM A325M,
- norma IRAM 5464-Clase 8.8 (en redacción en base al documento ISO 7412 C8.8).

Para Nivel 2:

- norma IRAM 5455 (en redacción en base al documento ASTM A490),
- norma IRAM a redactar en base al documento ASTM A490M,
- norma IRAM 5464-Clase ISO 10.9 (en redacción en base al documento ISO 7412 C10.9).

El **Proyectista o Diseñador Estructural** deberá especificar la designación y el tipo de bulón a utilizar (ver la Tabla 2.1.).

Tabla 2.1. Grados y acabados aceptables para las tuercas especificadas en la norma IRAM 5456 (ASTM A563), (ASTM A563M) o en la norma IRAM 5465 (ISO 4775) y tipos y acabados aceptables para las arandelas especificadas en la norma IRAM 5457 (ASTM F436) o en la norma IRAM correspondiente (base ASTM F436M) ^(*)

Clase de Bulón		Tipo de bulón	Acabado del Bulón ^{c)}	Grado y acabado de las tuercas IRAM 5456 (ASTM A563) ^{c)}		Tipo y acabado de las arandelas IRAM 5457 (ASTM F436) ^{a,c)}	
				Grado	Acabado	Tipo	Acabado
IRAM (ASTM) ^(*)	A325	1	Simple (No recubierto)	C, C3, D, DH ^{b)} y DH3	simple	1	simple
			Galvanizado	DH ^{b)}	galvanizado y lubricado	1	galvanizado
	3	Simple	C3 y DH3	simple	3	simple	
	A490	1	Simple	DH ^{b)} y DH3	simple	1	simple
		3	Simple	DH3	simple	3	simple
Clase de Bulón		Tipo de Bulón	Acabado del Bulón ^{c)}	Clase de las tuercas IRAM correspondiente (ASTM 563M) ^{c)}	Tipo y acabado de las arandelas IRAM correspondiente (ASTM F436M) ^{a,c)}		
					Tipo	Acabado	
IRAM (ASTM) ^(*)	A325M	1	Simple (No recubierto)	8S, 8S3 ^{d)} , 10S ^{d)} , 10S3 ^{d)}	1	simple	
			Galvanizado	10S galvanizado y lubricado	1	galvanizado	
	3	Simple	8S3, 10S3 ^{d)}	3	simple		
	A490M	1	Simple	10S, 10S3 ^{d)}	1	simple	
		3	Simple	10S3	3	simple	
Clase de Bulón		Acabado del Bulón ^{c)}	Clase de las tuercas IRAM 5465 (ISO 4775) ^{c)}	Tipo y acabado de las arandelas (ASTM F436M) ^{a,c)}			
				Tipo	Acabado		
IRAM (ISO)	C 8.8	Simple (No recubierto)	Grado B clase 8	1	simple		
		Galvanizado	Grado B clase 10 galvanizado y lubricado	1	galvanizado		
	C10.9	Simple	Grado B clase 10	1	simple		

a) Aplicable solamente si el Capítulo 6 requiere arandela.
b) Está permitido reemplazar con tuercas IRAM 5451 (ASTM A194/A194M) de grado 2H las tuercas IRAM 5456 (ASTM A563) de grado DH.
c) Tal como se lo utiliza en esta Tabla, el término "galvanizado" se refiere a galvanizado por inmersión en caliente de acuerdo con la norma IRAM correspondiente (ASTM A153/A153M) o galvanizado mecánico de acuerdo con la norma IRAM correspondiente (ASTM B695).
d) Clase de Tuerca Conveniente.

2.3.2. Geometría

Las dimensiones de los bulones estructurales de cabeza hexagonal deberán cumplir con los requisitos de las normas IRAM correspondientes.

Para los bulones según la norma IRAM 5453 (en redacción en base al documento ASTM A325) y la norma IRAM 5455 (en redacción en base al documento ASTM A490) se deberá cumplir la norma IRAM que se redactará en base al documento ANSI/ASME B18.2.6.

Para los bulones según normas IRAM a desarrollar en base a los documentos ASTM A 325M y ASTM A490M, se deberá cumplir con la norma IRAM que se redactará en base al documento ANSI/ASME B18.2.3.7M.

Para los bulones según la norma IRAM 5464 (ISO CLASES 8.8 y 10.9) se deberá cumplir la IRAM 5464 (base ISO 7412).

La longitud del bulón utilizado debe ser tal que, cuando esté correctamente instalado, el extremo del bulón se extienda más allá de la superficie exterior de la tuerca o al menos esté en el mismo plano que dicha superficie.

2.3.3. Reutilización

Los bulones **Nivel 2** y los bulones **Nivel 1** galvanizados **no se deben reutilizar**. Si el **Proyectista o Diseñador Estructural** lo autoriza, estará permitido reutilizar los bulones **Nivel 1** no galvanizados. Retocar o reajustar los bulones que se han aflojado durante la instalación de los bulones adyacentes no se considera una forma de reutilización.

2.4. TUERCAS DE CABEZA HEXAGONAL

2.4.1. Especificaciones

Las tuercas de cabeza hexagonal deben cumplir con los requisitos de las normas IRAM correspondientes, ya sea la norma IRAM 5456 (base ASTM A563), (base ASTM A563M) o la norma IRAM 5465 (base ISO 4775). El grado y acabado de estas tuercas deben ser los especificados en la Tabla 2.1.

2.4.2. Geometría

Las dimensiones de las tuercas de cabeza hexagonal deberán cumplir con los requisitos de las normas IRAM correspondientes. Para tuercas cubiertas por la norma IRAM 5456 (base ASTM A563) la norma IRAM correspondiente será desarrollada en base al documento ANSI/ASME B18.2.6 y para tuercas especificadas en ASTM A563M o en la norma IRAM 5465 (ISO 4775) la norma IRAM correspondiente será desarrollada en base al documento ANSI/ASME B 18.2.4.6M.

2.5. ARANDELAS

Las arandelas planas circulares y las arandelas biseladas cuadradas o rectangulares deben cumplir con los requisitos de la norma IRAM 5457 (base ASTM F436) o de la norma IRAM correspondiente (base ASTM F436M), con las excepciones indicadas en la Tabla

6.1. El tipo y el acabado de estas arandelas deben ser los que se establecen en la Tabla 2.1.

2.6. DISPOSITIVOS INDICADORES TIPO ARANDELA

El uso de dispositivos indicadores tipo arandela está permitido de acuerdo con las especificaciones de los artículos 2.6.1. y 2.6.2.

2.6.1. Indicadores directos de tensión tipo arandela compresible

Los indicadores directos de tensión tipo arandela compresible deben cumplir los requisitos de la norma IRAM correspondiente (base ASTM F959) o de la norma IRAM correspondiente (base ASTM F959M).

2.6.2. Dispositivos indicadores tipo arandela alternativos

Cuando el **Proyectista o Diseñador Estructural** lo autorice, estará permitido utilizar dispositivos indicadores tipo arandela, diferentes de aquellos que cumplen con los requisitos de esta Recomendación.

El **Fabricante** deberá preparar instrucciones detalladas para su instalación, incluidas en una especificación suplementaria aprobada por el **Proyectista o Diseñador Estructural**, las cuales deben especificar:

- (1) El carácter y la frecuencia de verificación requerida previa a la instalación;
- (2) La alineación de los agujeros para los bulones para permitir la inserción del pasador sin dañar indebidamente la rosca;
- (3) La colocación de **los medios de unión** en todos los tipos y tamaños de agujeros, incluyendo la colocación y orientación de las arandelas normales y alternativas;
- (4) El montaje sistemático de la **unión**, progresando a partir de la parte más rígida de la **unión** hasta que las chapas conectadas estén en **contacto firme**; y
- (5) El posterior pretensado sistemático de todos los bulones de la **unión**, progresando a partir de la parte más rígida de la **unión** de manera de minimizar la relajación de los bulones pretensados anteriormente.

El **Fabricante** debe preparar instrucciones detalladas para la inspección, incluidas en una especificación suplementaria aprobada por el **Proyectista o Diseñador Estructural**, las cuales deben especificar:

- (1) Observación del ensayo de verificación requerido previo a la instalación; y
- (2) **Observaciones de rutina** posteriores para garantizar el correcto empleo del dispositivo indicador alternativo tipo arandela.

2.7. BULONES DE TORQUE CONTROLADO POR CORTE DE BULÓN

2.7.1. El bulón de torque controlado por corte de bulón, se considera como bulón de diseño alternativo.

2.8. PASADORES DE DISEÑO ALTERNATIVO

Si el **Proyectista o Diseñador Estructural** lo autoriza, está permitido utilizar pasadores de diseño alternativo cuando:

- (1) Los pasadores cumplen los requisitos sobre materiales, fabricación y composición química de las normas y Especificaciones aceptadas por esta Recomendación;
- (2) Los pasadores cumplen los requisitos sobre propiedades mecánicas establecidos en las normas y Especificaciones de los ensayos a escala real;
- (3) El diámetro del vástago y la superficie de apoyo debajo de la cabeza del bulón y la tuerca son mayores o iguales que los de un bulón y tuerca de las mismas dimensiones nominales especificadas en los artículos 2.3. y 2.4.; y
- (4) Los pasadores se entregan como un **medio de unión** y como tal se utilizan en la obra.

Está Recomendación permite que las demás dimensiones de estos pasadores de diseño alternativo difieran de las de los **bulones de alta resistencia** y tuercas especificadas.

El **Fabricante** debe preparar instrucciones detalladas para su instalación, incluidas en una especificación suplementaria aprobada por el **Proyectista o Diseñador Estructural**, las cuales deben especificar:

- (1) El carácter y la frecuencia de la verificación requerida previa a la instalación;
- (2) La alineación de los agujeros para los bulones para permitir la inserción del pasador de diseño alternativo sin dañar indebidamente la rosca;
- (3) La colocación de los **medios de unión** en todos los agujeros, incluyendo cualquier arandela requerida;
- (4) El montaje sistemático de la **unión**, progresando a partir de la parte más rígida de la **unión** hasta que las chapas conectadas estén en **contacto firme**; y
- (5) El posterior pretensado sistemático de todos los **medios de unión** de la **unión**, progresando a partir de la parte más rígida de la **unión** de manera de minimizar la relajación de los bulones pretensados anteriormente.

El **Fabricante** debe preparar instrucciones detalladas para la inspección, incluidas en una especificación suplementaria aprobada por el **Proyectista o Diseñador Estructural**, las cuales deben especificar:

- (1) Observación del ensayo de verificación requerido previo a la instalación; y
- (2) **Observaciones de rutina** posteriores para garantizar el correcto empleo del pasador de diseño alternativo.

CAPÍTULO 3. ELEMENTOS ABULONADOS

3.1. CHAPAS CONECTADAS

Todas las chapas conectadas que están dentro de la **longitud de apriete** del bulón y cualquier material que se utilice debajo de la cabeza o la tuerca deben ser de acero (sin recubrimiento, recubierto o galvanizado) como se define en la Sección 3.2. No se deben colocar materiales compresibles dentro de la **longitud de apriete** del bulón. La pendiente de las superficies de los elementos en contacto con la cabeza del bulón y la tuerca debe ser menor o igual que **1:20** con respecto a un plano perpendicular al eje del bulón.

3.2. SUPERFICIES DE CONTACTO

Las **superficies de contacto** y las superficies adyacentes a la cabeza del bulón y la tuerca deben estar libres de suciedad y demás materiales extraños. Además, las **superficies de contacto** deben cumplir con los requisitos de los artículos 3.2.1. ó 3.2.2.

3.2.1. Uniones con ajuste sin juego y uniones pretensadas

Las **superficies de contacto** de las **uniones con ajuste sin juego** y de las **uniones pretensadas** como se definen en los artículos 4.1. y 4.2. pueden no estar recubiertas, estar recubiertas con un recubrimiento de cualquier formulación o estar galvanizadas.

3.2.2. Uniones de deslizamiento crítico

Las **superficies de contacto** de las **uniones de deslizamiento crítico** como se definen en el artículo 4.3., incluyendo aquellas con chapas de relleno o suplementos tipo peine, deben cumplir con los siguientes requisitos:

- (a) **Superficies de contacto no recubiertas:** Las **superficies de contacto no recubiertas** deben estar libres de laminillo, excepto el laminillo compacto de laminación, y libres de recubrimientos, incluyendo las excesivas pulverizaciones accidentales, en las zonas ubicadas a menos de un diámetro de bulón (pero no menos de 25 mm) del borde de cualquier agujero y en todas las zonas dentro del área donde se ubican los bulones.
- (b) **Superficies de contacto recubiertas:** En primer lugar las **superficies de contacto recubiertas** se deben limpiar con chorro y luego recubrir con un recubrimiento que se pueda clasificar como recubrimiento Clase A o Clase B de acuerdo con los requisitos del Apéndice A, como se define en el artículo 5.4. Alternativamente, cuando el **Proyectista Estructural** lo autorice, estarán permitidos los recubrimientos que proporcionan un **coeficiente medio de fricción** diferente al de las Clases A o B si:

- (1) El **coeficiente medio de fricción** μ se establece mediante ensayos de acuerdo con los requisitos del Apéndice A y

- (2) La **resistencia de diseño** al deslizamiento se determina de acuerdo con el artículo 5.4. utilizando este coeficiente, excepto que, a los fines del cálculo, no se debe utilizar un valor de μ mayor que **0,50**.

Las chapas de las **uniones de deslizamiento crítico** con **superficies de contacto recubiertas** no se deben armar antes que el recubrimiento se haya curado durante el tiempo mínimo utilizado en los ensayos de calificación.

- (c) **Superficies de contacto galvanizadas**: En primer lugar *las superficies de contacto galvanizadas* se deben galvanizar mediante inmersión en caliente de acuerdo con los requisitos de la norma IRAM correspondiente (en redacción en base al documento ASTM A123/A123M) y posteriormente se deben rascar mediante cepillado manual con cepillo de alambre. No está permitido rascar con cepillo de alambre mecánico. Si la **superficie de contacto galvanizada** ha sido rascada, a los fines del cálculo se la deberá considerar Clase C.

3.3. AGUJEROS PARA BULONES

Las dimensiones nominales de los agujeros normales, holgados, ovalados cortos y ovalados largos, para **bulones de alta resistencia** deben ser menores o iguales que los valores indicados en la Tabla 3.1. Se permiten los agujeros para bulones cortados térmicamente si el **Proyectista o Diseñador Estructural** lo autoriza. En las **uniones** sometidas a cargas estáticas no es necesario pulir las superficies cortadas térmicamente. En las **uniones** sometidas a cargas cíclicas las superficies cortadas térmicamente se deben pulir hasta estar lisas.

3.3.1. Agujeros normales

Cuando no exista la autorización por parte del **Proyectista o Diseñador Estructural** para utilizar otros tipos de agujeros, en todas las chapas de las **uniones** abulonadas se deben utilizar agujeros normales.

3.3.2. Agujeros holgados

Si el **Proyectista o Diseñador Estructural** lo autoriza, está permitido utilizar agujeros holgados en cualquiera de las chapas de una **unión de deslizamiento crítico** como se define en el artículo 4.3., o en todas las chapas de la misma.

3.3.3. Agujeros ovalados cortos

Si el **Proyectista o Diseñador Estructural** lo autoriza, está permitido utilizar agujeros ovalados cortos en cualquiera de las chapas de una **unión con ajuste sin juego** como se define en el artículo 4.1. y en las **uniones pretensadas** como se define en el artículo 4.2., o en todas las chapas de las mismas, siempre que la carga aplicada sea aproximadamente perpendicular (entre 80 y 100 grados) al eje mayor del agujero ovalado. Si el **Proyectista o Diseñador Estructural** lo autoriza, está permitido utilizar agujeros ovalados cortos en cualquiera de las chapas de una **unión de deslizamiento crítico** como se define en el artículo 4.3., o en todas las chapas de la misma, independientemente de la dirección de la carga aplicada.

3.3.4. Agujeros ovalados largos

Si el **Proyectista o Diseñador Estructural** lo autoriza, está permitido utilizar agujeros ovalados largos solamente en una chapa en cualquier **superficie de contacto** individual de las **uniones con ajuste sin juego** como se define en el artículo 4.1., y **uniones pretensadas** como se define en el artículo 4.2., siempre que la carga aplicada sea aproximadamente perpendicular (entre 80 y 100 grados) al eje mayor del agujero ovalado. Si el **Proyectista o Diseñador Estructural** lo autoriza, está permitido utilizar agujeros ovalados largos solamente en una chapa en cualquier **superficie de contacto** individual de las **uniones de deslizamiento crítico** como se define en el artículo 4.3., independientemente de la dirección de la carga aplicada. Los suplementos tipo peine totalmente insertados entre las **superficies de contacto** de los elementos transmisores de carga de las **uniones** abulonadas no se consideran elementos ovalados largos de una **unión**; tampoco se las considera chapas en ninguna **superficie de contacto** individual.

Tabla 3.1.a). Dimensiones nominales de los agujeros para bulones A325 y A490

Diámetro nominal del bulón, d		Dimensiones nominales de los agujeros para bulones ^{a,b)}					
		Normal (diámetro)		Holgado (diámetro)		Ovalado corto (ancho x longitud)	Ovalado largo (ancho x longitud)
mm	(pulg)	mm	(pulg)	mm	(pulg)	mm	mm
12,7	(1/2)	14,3	(9/16)	15,9	(5/8)	14,3 x 17,5	14,3 x 31,8
15,9	(5/8)	17,5	(11/16)	20,6	(13/16)	17,5 x 22,2	17,5 x 39,7
19,1	(3/4)	20,6	(13/16)	23,8	(15/16)	20,6 x 25,4	20,6 x 47,6
22,2	(7/8)	23,8	(15/16)	27,0	(1 1/16)	23,8 x 28,6	23,8 x 55,6
25,4	(1)	27,0	(1 1/16)	31,8	(1 1/4)	27,0 x 33,3	27,0 x 63,5
≥ 28,6	≥ (1 1/8)	d + 1,6		d + 7,9		(d + 1,6)x(d + 9,5)	(d + 1,6)x(2,5d)

^{a)} La tolerancia por exceso de las dimensiones nominales tabuladas no debe ser mayor que 0,8 mm (1/32pulg). Excepción: En el ancho de los agujeros ovalados, están permitidas las imperfecciones de no más de 1,6 mm (1/16 pulg).

^{b)} Los agujeros ligeramente cónicos que son el resultado natural de las operaciones de perforación con punzón y matriz correspondientes son aceptables.

Tabla 3.1.b). Dimensiones nominales de los agujeros para bulones A325M, A490M, ISO 8.8 y 10.9

Diámetro nominal del bulón, d, mm	Dimensiones nominales de los agujeros para bulones ^{a,b)} , mm			
	Normal (diámetro)	Holgado (diámetro)	Ovalado corto (ancho x longitud)	Ovalado largo (ancho x longitud)
12	14	16	14 x 18	14 x 30
16	18	20	18 x 22	18 x 40
20	22	24	22 x 26	22 x 50
22	24	28	24 x 30	24 x 55
24	27	30	27 x 32	27 x 60
27	30	35	30 x 37	30 x 67
≥ 30	d + 3	d + 8	(d + 3) x (d+10)	(d +3)x(2,5 x d)

^{a)} La tolerancia por exceso de las dimensiones nominales tabuladas no debe ser mayor que 0,8 mm (1/32pulg). Excepción: En el ancho de los agujeros ovalados, están permitidas las imperfecciones de no más de 1,6 mm (1/16 pulg).

^{b)} Los agujeros ligeramente cónicos que son el resultado natural de las operaciones de perforación con punzón y matriz correspondientes son aceptables.

3.4. REBABAS

Está permitido que las rebabas que sobresalen 1,6 mm o menos por encima de la superficie, permanezcan sobre las **superficies de contacto** de las **uniones con ajuste sin juego** como se define en el artículo 4.1. y sobre las **uniones pretensadas** como se define en el artículo 4.2. En todas las **uniones** se deben eliminar las rebabas que sobresalen más de 1,6 mm por encima de la superficie. Se deben eliminar las rebabas que impedirían asentar sólidamente las chapas conectadas antes del pretensado de las **uniones de deslizamiento crítico** como se describe en el artículo 4.3.

CAPÍTULO 4. TIPOS DE UNIÓN

El **Proyectista o Diseñador Estructural** debe especificar en la documentación técnica el tipo de **unión**, que puede ser **unión con ajuste sin juego**, **unión pretensada** o **unión de deslizamiento crítico**. En el caso de las **uniones de deslizamiento crítico** también se debe especificar la clase de resistencia al deslizamiento requerida de acuerdo con el artículo 5.4. Para las uniones en las cuales los pasadores sólo están solicitados a tracción, en la documentación técnica el **Proyectista o Diseñador Estructural** debe especificar el tipo de **unión**, que puede ser **unión con ajuste sin juego** o **unión pretensada**. La Tabla 4.1. resume las aplicaciones y los requisitos para cada uno de los tres tipos de **unión**.

Tabla 4.1. Resumen de las aplicaciones y requisitos para uniones abulonadas

Transferencia de carga	Aplicación	Tipo de unión ^{a,b)}	Superficie de contacto preparada?	Instalac. de acuerdo con el artículo	Inspección de acuerdo con el artículo	Arbitraje de acuerdo con el Capítulo 10?
Sólo corte	Resistencia al corte por corte/aplastamiento	SH	No	8.1	9.1	No
	Resistencia al corte por corte/ aplastamiento. Se requiere pretensar el bulón, pero no por motivos de resistencia al deslizamiento	PT	No	8.2	9.2	No
	Se requiere resistencia al corte por fricción en las superficies de contacto	DC	Sí ^{d)}	8.2	9.3	Si se requiere para resolver una disputa
Combinación de corte y tracción	Resistencia al corte por corte/aplastamiento. La carga de tracción sólo es estática. ^{c)}	SH	No	8.1	9.1	No
	Resistencia al corte por corte/ aplastamiento. Se requiere pretensar el bulón, pero no por motivos de resistencia al deslizamiento	PT	No	8.2	9.2	Si se requiere para resolver una disputa
	Se requiere resistencia al corte por fricción en las superficies de contacto	DC	Sí ^{d)}	8.2	9.3	Si se requiere para resolver una disputa
Sólo tracción	Sólo carga estática ^{o)}	SH	No	8.1	9.1	No
	Todas las demás condiciones de carga que sólo provocan tracción	PT	No	8.2	9.2	Si se requiere para resolver una disputa

a) Tipo de uniones: SH = con ajuste sin juego, PT = pretensada y DC = de deslizamiento crítico; ver Capítulo 4.
b) Ver Capítulos 4 y 5 para los requisitos de diseño para cada tipo de **unión**.
c) De acuerdo con el artículo 4.2., no está permitido utilizar bulones **Nivel 2** en uniones con ajuste sin juego con cargas de tracción.
d) Ver el artículo 3.2.2.

4.1. UNIONES CON AJUSTE SIN JUEGO

A excepción de lo requerido en los artículos 4.2. y 4.3., están permitidas las **uniones con ajuste sin juego**.

Los bulones de las **uniones con ajuste sin juego** se deben diseñar de acuerdo con los requisitos aplicables de los artículos 5.1., 5.2. y 5.3., instalar de acuerdo con el artículo 8.1. e inspeccionar de acuerdo con el artículo 9.1. Como se indica en el Capítulo 4 y en la Tabla 4.1, los requisitos sobre la condición de las **superficies de contacto** no se aplican a las **uniones con ajuste sin juego**.

4.2. UNIONES PRETENSADAS

Sólo se requieren **uniones pretensadas** en las siguientes aplicaciones:

- (1) **Uniones** en las cuales las especificaciones invocadas por esta Recomendación requieren el pretensado de los bulones;
- (2) **Uniones** que están sometidas a importantes inversiones de las cargas sin efecto de fatiga;
- (3) **Uniones** que están sometidas a efectos de fatiga sin inversión del sentido de las cargas;
- (4) **Uniones** con bulones **Nivel 1** que están sujetas a fatiga por tracción; y
- (5) **Uniones** con bulones **Nivel 2** que están sometidas a tracción o a una combinación de corte y tracción, con o sin fatiga.

Los bulones de las **uniones pretensadas** sometidas a corte se deben diseñar de acuerdo con los requisitos aplicables de los artículos 5.1. y 5.3., instalar de acuerdo con el artículo 8.2. e inspeccionar de acuerdo con el artículo 9.2. Los bulones de las **uniones pretensadas** sometidas a tracción o a una combinación de corte y tracción se deben diseñar de acuerdo con los requisitos aplicables de los artículos 5.1., 5.2., 5.3. y 5.5., instalar de acuerdo con el artículo 8.2. e inspeccionar de acuerdo con el artículo 9.2. Como se indica en el Capítulo 4 y la Tabla 4.1, los requisitos para la condición de las **superficies de contacto** no se aplican a las **uniones pretensadas**.

4.3. UNIONES DE DESLIZAMIENTO CRÍTICO

Sólo se requieren **uniones de deslizamiento crítico** en las siguientes aplicaciones que involucran corte o combinación de corte y tracción:

- (1) **Uniones** sometidas a cargas de fatiga con inversión de la dirección de las cargas;
- (2) **Uniones** que utilizan agujeros holgados;
- (3) **Uniones** que utilizan agujeros ovalados, excepto aquellas con la carga aplicada de forma aproximadamente perpendicular (entre 80 y 100 grados) a la dirección de la dimensión mayor del agujero ovalado; y

- (4) **Uniones** en las cuales el deslizamiento en las **superficies de contacto** resultaría perjudicial para el comportamiento de la estructura.

Los bulones de las **uniones de deslizamiento crítico** se deben diseñar de acuerdo con los requisitos aplicables de los artículos 5.1., 5.2., 5.3., 5.4. y 5.5., instalar de acuerdo con el artículo 8.2. e inspeccionar de acuerdo con el artículo 9.3.

CAPÍTULO 5. ESTADOS LÍMITES EN UNIONES ABULONADAS

La **resistencia de diseño** al corte y la **resistencia de diseño** a la tracción de los bulones se deben determinar de acuerdo con el artículo 5.1. La interacción de corte y tracción en los bulones se debe limitar de acuerdo con el artículo 5.2. La **resistencia de diseño** al aplastamiento de las partes conectadas en los agujeros para bulones se debe determinar de acuerdo con el artículo 5.3. Cada una de estas **resistencias de diseño** debe ser mayor o igual que la **resistencia requerida**. La carga axil en los bulones sometidos a tracción o a una combinación de corte y tracción, se debe calcular considerando los efectos de la carga de tracción aplicada externamente y cualquier tracción adicional provocada por la **acción de palanca**, producida por la deformación de las partes conectadas.

Cuando se requiere resistencia al deslizamiento en las **superficies de contacto**, sometidas a corte o a una combinación de corte y tracción, la resistencia al deslizamiento se debe verificar ya sea al nivel de las acciones mayoradas o bien al nivel de las acciones de servicio, a opción del **Proyectista o Diseñador Estructural**. Si el deslizamiento de la **unión** bajo acciones mayoradas afectara la capacidad de la estructura de soportar las acciones mayoradas, la **resistencia de diseño** determinada de acuerdo con el artículo 5.4.1. debe ser mayor o igual que la **resistencia requerida**. Si la resistencia al deslizamiento bajo acciones de servicio constituye el criterio de diseño, la resistencia determinada de acuerdo con el artículo 5.4.2. debe ser mayor o igual que el efecto de las acciones de servicio. Además, también se deben cumplir los requisitos de resistencia establecidos en los artículos 5.1., 5.2. y 5.3.

Si los bulones están sujetos a la aplicación cíclica de tracción axil, la tensión determinada de acuerdo con el artículo 5.5. debe ser mayor o igual que la tensión debida al efecto de las acciones de servicio, incluyendo cualquier tracción adicional, provocada por la **acción de palanca** producida por la deformación de las partes conectadas. Además, también se deben cumplir los requisitos de resistencia de los artículos 5.1., 5.2. y 5.3.

5.1. RESISTENCIAS DE DISEÑO AL CORTE Y A LA TRACCIÓN

Las resistencias de diseño al corte y a la tracción no se deben reducir por la tensión de pretensado del bulón instalado. Para las **uniones** las resistencias de diseño al corte y a la tracción se deberán considerar como la sumatoria de las resistencias de los bulones individuales.

La **resistencia de diseño** al corte o a la tracción de un bulón **Nivel 1** o **Nivel 2**, será igual a:

$$\phi R_n$$

$$R_n = F_n A_b \quad (5-1)$$

siendo:

$$\phi = 0,75$$

R_n la **resistencia nominal** (resistencia al corte por plano de corte o resistencia a la tracción) de un bulón, en N.

F_n la **resistencia nominal** por unidad de superficie especificada en la Tabla 5.1. para las condiciones de carga aplicadas, en MPa, ajustada por la presencia de rellenos como se indica a continuación; y

A_b el área de la sección transversal en base al diámetro nominal del bulón, en mm^2 .

Cuando en un plano de corte, un bulón que soporta carga atraviesa rellenos o suplementos que tienen un espesor menor o igual que **6,4 mm**, se deberá utilizar el valor de F_n indicado en la Tabla 5.1. sin ninguna reducción. Cuando un bulón que soporta carga atraviesa rellenos o empaques de más de **6,4 mm** de espesor, éste se debe diseñar de acuerdo con alguno de los procedimientos siguientes:

Tabla 5.1. Resistencia nominal de los bulones, por unidad de superficie

Condición de carga aplicada		Resistencia nominal por unidad de superficie F_n (MPa)	
		Nivel 1	Nivel 2
Tracción ^{a)}	Estática	620	778
	Fatiga	Ver el artículo 5.5.	
Corte ^{a,b)}	Filetes incluidos en el plano de corte	330	414
	Filetes excluidos del plano de corte	414	517

a) Excepto cuando se aplica el artículo 5.2.
b) En las **conexiones** sometidas a corte que transmiten esfuerzos axiales y poseen una longitud entre bulones extremos, medida en forma paralela a la línea de fuerza, mayor que **1300 mm**, los valores tabulados se deben reducir en un **20 %**.

(1) Para rellenos o suplementos cuyo espesor es menor o igual que **19 mm**, el valor de F_n de la Tabla 5.1 se debe multiplicar por el factor $[1-0,0154(t'-6)]$ siendo t' el espesor total de los rellenos o suplementos, hasta **19 mm**;
(2) Los rellenos o suplementos se deben extender más allá de la **unión**, y la extensión de los mismos se debe asegurar con una cantidad suficiente de bulones, para distribuir uniformemente la fuerza total en el elemento conectado, sobre la sección transversal combinada del elemento conectado y los rellenos o suplementos;
(3) Se debe incrementar el tamaño de la **unión** para acomodar un número de bulones equivalente al número total requerido en el ítem (2) anterior; o
(4) La unión se debe diseñar como una **unión de deslizamiento crítico**. La resistencia al deslizamiento de la **unión** no se debe reducir por la presencia de rellenos o suplementos.

5.2. COMBINACIÓN DE CORTE Y TRACCIÓN

Cuando un bulón **Nivel 1 o Nivel 2** transmite una combinación de cargas de corte y tracción, la interacción en el estado límite último se deberá verificar según lo establecido en la sección J.3.7. del Reglamento CIRSOC 301-2005.

Alternativamente la interacción en el estado límite último se podrá verificar con la expresión:

$$\left[\frac{T_u}{(\phi R_n)_t} \right]^2 + \left[\frac{V_u}{(\phi R_n)_v} \right]^2 \leq 1 \quad (5-2)$$

siendo:

T_u la **resistencia requerida** a la tracción (carga de tracción mayorada) por bulón, en N.

V_u la **resistencia requerida** al corte (carga de corte mayorada) por bulón, en N.

$(\phi R_n)_t$ la **resistencia de diseño** a la tracción, determinada de acuerdo con el artículo 5.1., en N.

5.3. RESISTENCIA DE DISEÑO AL APLASTAMIENTO DE LA CHAPA EN LOS AGUJEROS PARA BULONES

En las **uniones** la resistencia de diseño al aplastamiento de la chapa se debe adoptar como la sumatoria de las resistencias del material conectado en los agujeros individuales.

La resistencia de diseño al aplastamiento del material conectado en un agujero normal, agujero holgado, agujero ovalado corto (independientemente de la dirección de la carga) o agujero ovalado largo paralelo a la dirección de la carga que produce el aplastamiento es igual a:

$$\phi R_n$$

siendo:

$$\phi = 0,75$$

- (1) si la deformación del agujero del bulón bajo acciones de servicio constituye una consideración de diseño:

$$R_n = 1,2 L_c t F_u \leq 2,4 d t F_u \quad (5-3)$$

- (2) si la deformación del agujero del bulón bajo acciones de servicio no constituye una consideración de diseño:

$$R_n = 1,5 L_c t F_u \leq 3 d t F_u \quad (5-4)$$

La resistencia de diseño al aplastamiento del material conectado en un agujero ovalado largo perpendicular a la dirección de la carga que produce el aplastamiento es igual a:

$$\phi R_n$$

siendo:

$$\phi = 0,75$$

$$R_n = L_c t F_u \leq 2 d t F_u \quad (5-5)$$

En las expresiones (5-3), (5-4) y (5-5) la simbología utilizada es la siguiente:

R_n la **resistencia nominal** (resistencia al aplastamiento del material conectado), en N.

F_u la resistencia a la tracción mínima especificada (por unidad de superficie) del material conectado, en MPa.

L_c la distancia libre, en la dirección de la carga, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o el borde del material, en mm.

d diámetro nominal del bulón, en mm.

t espesor del material conectado, en mm.

5.4. RESISTENCIA DE DISEÑO AL DESLIZAMIENTO

5.4.1. A nivel de acciones mayoradas

La resistencia de diseño al deslizamiento es:

$$\phi R_n$$

$$R_n = \mu D_u T_b N_b \left(1 - \frac{T_u}{D_u T_b N_b} \right) \quad (5-6)$$

siendo:

- $\phi = 1,0$ para agujeros normales
- $= 0,85$ para agujeros holgados y ovalados cortos
- $= 0,70$ para agujeros ovalados largos perpendiculares a la dirección de carga
- $= 0,60$ para agujeros ovalados largos paralelos a la dirección de carga.

R_n la **resistencia nominal** (resistencia al deslizamiento) de un plano de deslizamiento, en kN.

- μ el **coeficiente medio de fricción** para **superficies de contacto Clase A, B o C**, según corresponda, o determinado mediante ensayos de acuerdo con el Apéndice A (ver el artículo 3.2.2(b)).
- = **0,33** para **superficies de contacto Clase A** (superficies de acero libres de laminillo no recubiertas o superficies con recubrimientos Clase A sobre acero limpiado con chorro).
 - = **0,50** para superficies **Clase B** (superficies de acero limpiadas con chorro no recubiertas o superficies con recubrimientos Clase B sobre acero limpiado con chorro).
 - = **0,35** para superficies **Clase C** (superficies rascadas galvanizadas por inmersión en caliente);
- $D_u = 1,13$; factor que refleja la relación entre la pretensión media de los bulones instalados y la pretensión mínima especificada para los bulones, T_b ; el uso de otros valores de D_u debe ser aprobado por el **Proyectista o Diseñador Estructural**.
- T_b la pretensión mínima especificada para los bulones (para *uniones pretensadas* conforme a lo especificado en la Tabla 8.1), en kN.
- N_b el número de bulones en la **unión**; y
- T_u la **resistencia requerida** en tracción (componente de tracción de la acción mayorada aplicada para combinación de cargas de corte y tracción), en kN. T_u es igual a cero si la **unión** está sometida **exclusivamente a corte**.

5.4.2. A nivel de acciones de servicio

La resistencia al deslizamiento correspondiente a acciones de servicio es:

$$\phi R_s$$

$$R_s = \mu D T_b N_b \left(1 - \frac{T}{D T_b N_b} \right) \quad (5-7)$$

siendo:

- ϕ como se define en el artículo 5.4.1.
- $D = 0,80$; factor de probabilidad de deslizamiento que refleja la distribución de los valores reales del coeficiente de fricción alrededor del promedio, la relación entre la pretensión media de los bulones instalados y la pretensión mínima especificada para los bulones, T_b , y un nivel de probabilidad de deslizamiento; el uso de valores de D diferentes debe ser aprobado por el **Proyectista o Diseñador Estructural**.
- T la acción de servicio aplicada en tracción (componente de tracción de la acción de servicio aplicada para combinación de cargas de corte y tracción), en kN. T es igual a cero si la **unión** está sometida **exclusivamente a corte**.

Todas las demás variables corresponden a lo definido para la expresión 5-6.

5.5. FATIGA POR TRACCIÓN

Se aplicarán las especificaciones de la sección A-K.3.4 del Reglamento CIRSOC 301-2005.

Alternativamente se podrá utilizar el siguiente procedimiento:

En el bulón la tensión de tracción que se produce como resultado de la aplicación cíclica de las acciones de servicio aplicadas externamente y la fuerza de palanca, si corresponde, (pero excluyendo la pretensión) no debe ser mayor que las tensiones dadas en la Tabla 5.2.

Para calcular la tensión de los bulones se debe utilizar el diámetro nominal de los mismos. Las partes conectadas se deben dimensionar de manera tal que la fuerza de palanca calculada no supere el **30 %** de la carga externa aplicada. Las **uniones** que están sujetas a cargas de fatiga por tracción se deben especificar como pretensadas de acuerdo con el artículo 4.2. ó de deslizamiento crítico de acuerdo con el artículo 4.3.

Tabla 5.2. Máxima tensión de tracción para carga de fatiga

Número de ciclos	Máxima tensión en el bulón para diseño con acciones de servicio ^{a)} , MPa	
	Bulón Nivel 1	Bulón Nivel 2
No más de 20.000	303	372
Entre 20.000 y 500.000	276	338
Más de 500.000	214	262
^{a)} Incluyendo los efectos de la acción de palanca , si corresponde, pero excluyendo la pretensión.		

CAPÍTULO 6. USO DE ARANDELAS

6.1. UNIONES CON AJUSTE SIN JUEGO

En las **uniones con ajuste sin juego** no se requieren arandelas, excepto las requeridas en los artículos 6.1.1. y 6.1.2.

6.1.1. Superficies inclinadas

Cuando la cara exterior de la **unión** tenga una pendiente mayor que 1:20 con respecto a un plano perpendicular al eje del bulón se deberá utilizar una arandela biselada que cumpla la norma IRAM 5457 (base ASTM F436) o la norma IRAM correspondiente (base ASTM F436M) para compensar la falta de paralelismo.

6.1.2. Agujero ovalado

Cuando hay un agujero ovalado en una chapa exterior se debe utilizar una arandela que cumpla la norma IRAM 5457 (base ASTM F436) o la norma IRAM correspondiente (base ASTM F436M) o una arandela de chapa común de **8 mm** de espesor para cubrir el agujero.

6.2. UNIONES PRETENSADAS Y UNIONES DE DESLIZAMIENTO CRÍTICO

En las **uniones pretensadas y de deslizamiento crítico** no se requieren arandelas, excepto las requeridas en los artículos 6.1.1., 6.1.2., 6.2.1., 6.2.2., 6.2.3., 6.2.4. y 6.2.5.

6.2.1. Tensión de fluencia mínima especificada del material inferior a 275 MPa

Cuando se pretensen bulones **Nivel 2** en un material conectado cuya tensión de fluencia mínima especificada, sea inferior a **275 MPa** se deberán utilizar arandelas que cumplan la norma IRAM 5457 (base ASTM F436) o la norma IRAM correspondiente (base ASTM F436M) tanto debajo de la cabeza del bulón como debajo de la tuerca.

6.2.2. Pretensado con llave calibrada

Cuando se utilice el método de pretensado con llave calibrada se debe colocar una arandela que cumpla la norma IRAM 5457 (base ASTM F436) o la norma IRAM correspondiente (base ASTM F436M), debajo del elemento girado.

6.2.3. Pretensado con indicador directo de la tensión

Cuando se utilice el método de pretensado con indicador directo de la tensión se deberá colocar una arandela que cumpla la norma IRAM 5457 (base ASTM F436) o la norma IRAM correspondiente (base ASTM F436M) de la siguiente manera:

- (1) Si se hace girar la tuerca y el indicador directo de la tensión se ubica debajo de la cabeza del bulón, se deberá colocar la arandela debajo de la tuerca;
- (2) Si se hace girar la tuerca y el indicador directo de la tensión se ubica debajo de la tuerca se deberá colocar la arandela entre la tuerca y el indicador directo de la tensión;
- (3) Si se hace girar la cabeza del bulón y el indicador directo de la tensión se ubica debajo de la tuerca se deberá colocar la arandela debajo de la cabeza del bulón; y
- (4) Si se hace girar la cabeza del bulón y el indicador directo de la tensión se ubica debajo de la cabeza del bulón se deberá colocar la arandela entre la cabeza del bulón y el indicador directo de la tensión.

6.2.4. Agujeros holgados u ovalados

Si en una chapa exterior hay un agujero holgado u ovalado, los requisitos para las arandelas serán los indicados en la Tabla 6.1. La arandela utilizada debe tener un tamaño suficiente para cubrir el agujero completamente.

Tabla 6.1. Requisitos para las arandelas en uniones abulonadas con agujeros holgados y ovalados en la chapa exterior

Clase de bulón	Diámetro nominal del bulón d ,	Tipo de agujero en la chapa exterior		
		Holgado	Ovalado corto	Ovalado largo
A325	12,7 a 38,1 mm (½ a 1 ½ pulg.)	norma IRAM 5457 (base ASTM F436)	Arandela de chapa de 8 mm. de espesor o planchuela continua ^{a,b)}	
A490	≤ 25,4 mm (1 pulg)			
		> 25,4 mm (1 pulg)	norma IRAM 5457 (base ASTM F436) de 8 mm-espesor ^{a)}	Arandela de chapa endurecida de 8 mm de espesor o planchuela continua endurecida ^{a)}
A325M ó ISO 8.8	12 a 36 mm	norma IRAM correspondiente (base ASTM F436M)	Arandela de chapa de 8 mm. de espesor o planchuela continua ^{a,b)}	
A490M ó ISO 10.9	≤ 25 mm			
		> 25 mm	norma IRAM correspondiente (base ASTM F436M) de 8 mm-espesor ^{a)}	Arandela de chapa endurecida de 8 mm de espesor o planchuela continua endurecida ^{a)}
^{a)} Las arandelas múltiples con un espesor combinado de 8 mm o más no satisfacen este requisito. ^{b)} La arandela de chapa o la planchuela deben ser de acero de grado estructural, pero no es necesario que sean endurecidas.				

CAPÍTULO 7. VERIFICACIÓN PREVIA A LA INSTALACIÓN

Los requisitos de este Capítulo se deben aplicar exclusivamente conforme a lo indicado en el artículo 8.2. para verificar que los **medios de unión** y procedimientos de instalación y pretensado cumplan con lo requerido antes de su instalación.

7.1. CALIBRADOR DE LA TENSIÓN

Se debe utilizar un **calibrador de la tensión** cuando los bulones se deban instalar en una **unión pretensada** o en una **unión de deslizamiento crítico** a fin de:

- (1) Confirmar que la totalidad del **medio de unión** es adecuado, incluyendo la lubricación, para su instalación pretensada; y
- (2) Confirmar que los trabajadores que instalan los bulones conocen y aplican correctamente el método de pretensado a utilizar.

La precisión del **calibrador de la tensión** se deberá confirmar realizando al menos una calibración anual.

7.2. ENSAYOS REQUERIDOS

Se debe ensayar una muestra representativa de no menos de tres **medios de unión** de cada una de las combinaciones de diámetro, longitud, grado y **lote** a utilizar en la obra utilizando un **calibrador de la tensión** en el sitio de instalación para verificar que el método de pretensado desarrolla una tensión de pretensado mayor o igual que **1,05 veces** la especificada en la Tabla 8.1. para instalación e inspección. En la verificación previa a la instalación se deben utilizar las mismas arandelas requeridas para la obra conforme a los requisitos del artículo 6.2.

Si la tensión de pretensado real desarrollada en cualquiera de los **medios de unión** es menor que **1,05 veces** la especificada en la Tabla 8.1. para instalación e inspección, antes de utilizar los **medios de unión** en la obra se deberán determinar y solucionar las causas que provocan la diferencia. Está permitido limpiar, volver a lubricar y volver a ensayar estos elementos, siempre y cuando todos los **medios de unión** reciban el mismo tratamiento.

CAPÍTULO 8. INSTALACIÓN

Antes de su instalación, los componentes del pasador se deben almacenar de acuerdo con el artículo 2.2. Los bulones de las **uniones** que en la documentación contractual figuran como **uniones con ajuste sin juego** se deben instalar de acuerdo con el artículo 8.1. Los bulones de las **uniones** que en la documentación contractual figuran como pretensadas o de deslizamiento crítico se deben instalar de acuerdo con el artículo 8.2.

8.1. UNIONES CON AJUSTE SIN JUEGO

Todos los agujeros para los bulones deben estar alineados para permitir la inserción de los bulones sin que se produzcan daños indebidos en su rosca. Se deben colocar bulones en todos los agujeros colocando arandelas tal como se requiere en el artículo 6.1. y tuercas roscadas para completar el conjunto. El apriete de la **unión** hasta llegar a la condición de ajuste sin juego debe progresar sistemáticamente a partir de la parte más rígida de la **unión**. La condición de ajuste sin juego es la más apretada que se logra con unos pocos impactos de una llave de impacto o el esfuerzo total de un trabajador que utiliza una llave de cola común para hacer que las chapas conectadas estén en **contacto firme**.

Tabla 8.1. Tensión de pretensado mínima de los bulones en uniones pretensadas y de deslizamiento crítico ^(a)

Bulones milimétricos. Rosca Gruesa			Bulones. Rosca UNC			
Díámetro nominal del bulón	A325M ó ISO 8.8	A490M ó ISO 10.9	Díámetro nominal del bulón		A325	A490
(mm)	(kN)	(kN)	mm	pulg	(kN)	(kN)
12	48	61	12,7	1/2	53	66
16	91	114	15,9	5/8	84	105
20	142	178	19,1	3/4	125	156
22	176	220	22,2	7/8	172	215
24	205	257	25,4	1	226	283
27	267	334	28,6	1 1/8	249	356
30	326	408	31,8	1 1/4	317	453
36	475	594	34,9	1 3/8	377	539
			38,1	1 1/2	459	656

^(a) Igual a **0,70** de la resistencia mínima a la tracción especificada para los bulones según las normas IRAM para los ensayos a escala real, cargados en tracción axil, redondeado a la unidad más cercana.

8.2. UNIONES PRETENSADAS

Se debe utilizar uno de los métodos de pretensado indicado en los artículos 8.2.1. a 8.2.3., excepto cuando se utilicen pasadores de diseño alternativo que satisfagan los requisitos del artículo 2.8. o dispositivos indicadores alternativos tipo arandela que cumplan los requisitos del artículo 2.6.2., en cuyo caso se deberán seguir las instrucciones de instalación provistas por el **Fabricante** y aprobadas por el **Proyectista o Diseñador Estructural**. Si no resulta práctico girar la tuerca está permitido pretensar girando la cabeza del bulón impidiendo la rotación de la tuerca, siempre y cuando se satisfagan los requisitos del artículo 6.2. Se debe proveer una tensión de pretensado mayor o igual que el valor dado en la Tabla 8.1. Los procedimientos de verificación previa a la instalación especificados en el Capítulo 7 se deben llevar a cabo utilizando **medios de unión** representativos de los que se pretensarán en obra.

8.2.1. Pretensado con giro de tuerca

Todos los bulones se deben instalar de acuerdo con los requisitos del artículo 8.1, colocando arandelas de acuerdo con los requisitos del artículo 6.2. Luego se debe aplicar la rotación de la tuerca o la cabeza especificada en la Tabla 8.2., a todos los **medios de unión** de la **unión**, progresando sistemáticamente a partir de la parte más rígida de la **unión** de manera de minimizar la relajación de los bulones previamente pretensados. Durante esta operación se debe impedir la rotación de la pieza que no es girada por la llave.

Tabla 8.2. Rotación de la tuerca a partir de la condición de ajuste sin juego para el pretensado con giro de tuerca^{a,b)}

Longitud del bulón ^{c)}	Disposición de la cara externa de las piezas abulonadas		
	Ambas caras normales al eje del bulón	Una cara normal al eje del bulón, la otra con una inclinación de no más de 1:20 ^{d)}	Ambas caras inclinadas no más de 1:20 con respecto a la normal al eje del bulón ^{d)}
$\leq 4d$	1/3 giro	1/2 giro	2/3 giro
$> 4d$ pero $\leq 8d$	1/2 giro	2/3 giro	5/6 giro
$> 8d$ pero $\leq 12d$	2/3 giro	5/6 giro	1 giro

^{a)} La rotación de la tuerca es en relación con el bulón, independientemente del elemento girado (tuerca o bulón). Para rotaciones requeridas de **1/2 giro** o inferiores, la tolerancia es **±30 grados**; para rotaciones requeridas de **2/3 de giro** o superiores la tolerancia es **±45 grados**.

^{b)} Aplicable solamente en las uniones en las cuales el único material dentro de la **longitud de apriete** es acero.

^{c)} Si la longitud del bulón es mayor que **12 d**, la rotación requerida para la tuerca se determinará realizando ensayos en un calibrador de la tensión adecuado que simule las condiciones del acero con ajuste sólido.

^{d)} No se utilizan arandelas biseladas.

8.2.2. Pretensado con llave calibrada

Los procedimientos de verificación previa a la instalación especificados en el Capítulo 7 se deben llevar a cabo diariamente para la calibración de la llave utilizada para la instalación. No se deben utilizar valores de par torsor determinados a partir de tablas o a partir de ecuaciones que pretenden relacionar el par torsor con la tensión de pretensado.

Todos los bulones se deben instalar de acuerdo con los requisitos del artículo 8.1, colocando arandelas de acuerdo con los requisitos del artículo 6.2. Luego a todos los bulones de la **unión** se les debe aplicar el par torsor de instalación determinado en la verificación previa a la instalación del **medio de unión** (Capítulo 7), progresando sistemáticamente a partir de la parte más rígida de la **unión** de manera de minimizar la relajación de los bulones previamente pretensados. Durante esta operación se debe impedir la rotación de la pieza que no es girada por la llave. La aplicación del par torsor de instalación no debe provocar una rotación relativa entre el bulón y la tuerca superior a la rotación especificada en la Tabla 8.2.

8.2.3. Pretensado con indicador directo de la tensión

Se deben utilizar indicadores directos de la tensión que cumplan los requisitos de la norma IRAM correspondiente (base ASTM F959) o norma IRAM correspondiente (base ASTM F959M). Los procedimientos de verificación previa a la instalación especificados en el Capítulo 7 deben demostrar que, cuando en el bulón la tensión de pretensado llega a **1,05 veces** la especificada en la Tabla 8.1 para instalación y verificación, la luz no es menor que la luz de inspección de trabajos de acuerdo con la norma IRAM correspondiente (base ASTM F959) o norma IRAM correspondiente (base ASTM F959M).

Todos los bulones se deben instalar de acuerdo con los requisitos del artículo 8.1., colocando arandelas de acuerdo con el artículo 6.2. El instalador debe verificar que durante esta operación las salientes del indicador directo de la tensión no se hayan comprimido hasta una luz menor que la luz de inspección de trabajos, y si esto hubiera ocurrido, se debe retirar y reemplazar el indicador directo de la tensión. Luego se deben pretensar todos los bulones de la **unión**, progresando sistemáticamente a partir de la parte más rígida de la **unión** de modo de minimizar la relajación de los bulones pretensados previamente. El instalador debe verificar que las salientes del indicador directo de la tensión se hayan comprimido hasta una luz que sea inferior a la luz de inspección de tareas.

CAPÍTULO 9. INSPECCIÓN

Cuando en los documentos contractuales se requiere inspección, mientras la obra esté en construcción el **Director Técnico** deberá garantizar que se cumplan los requisitos de esta Recomendación. Cuando en los documentos contractuales no se requiere inspección, mientras la obra esté en construcción, el **Contratista** deberá ser quien garantice que se cumplan los requisitos de esta Recomendación.

La inspección de las **uniones** que en los documentos contractuales se especifican como **uniones con ajuste sin juego** se debe realizar de acuerdo con el artículo 9.1. La inspección de las **uniones** que en los documentos contractuales se especifican como pretensadas se deberán realizar de acuerdo con el artículo 9.2. La Inspección de las **uniones** que en los documentos contractuales se especifican como de deslizamiento crítico se deberán realizar de acuerdo con el artículo 9.3.

9.1. UNIONES CON AJUSTE SIN JUEGO

Antes del **inicio de las tareas** se deberá verificar que todos los componentes de los pasadores a utilizar en la obra cumplen los requisitos del Capítulo 2. Luego se deberá verificar que todas las chapas conectadas cumplen los requisitos del artículo 3.1. y que todos los agujeros para los bulones cumplen los requisitos de los artículos 3.3. y 3.4. Una vez que se han armado las **conexiones**, se debe verificar visualmente que las chapas de los elementos conectados estén en **contacto firme** y que se hayan colocado arandelas de acuerdo con los requisitos del Capítulo 6. Para las **uniones con ajuste sin juego** no se requiere ninguna otra evidencia de cumplimiento. La magnitud de la fuerza de apriete que existe en una **unión con ajuste sin juego** no constituye un problema.

9.2. UNIONES PRETENSADAS

En las **uniones pretensadas** además de satisfacer lo requerido en el artículo 9.1. se deben realizar las siguientes inspecciones:

- (1) Cuando para la instalación se utilice el método de pretensado con giro de tuerca, la inspección se debe realizar de acuerdo con el artículo 9.2.1.
- (2) Cuando para la instalación se utilice el método de pretensado con llave calibrada, la inspección se debe realizar de acuerdo con el artículo 9.2.2.
- (3) Cuando para la instalación se utilice el método de pretensado con indicador directo de la tensión, la inspección se debe realizar de acuerdo con el artículo 9.2.3.
- (4) Cuando se utilicen dispositivos de diseño alternativo que cumplan los requisitos del artículo 2.8. o dispositivos indicadores alternativos tipo arandela que cumplan los requisitos del artículo 2.6.2., la inspección se deberá realizar de acuerdo con las instrucciones proporcionadas por el **Fabricante** y aprobadas por el **Proyectista o Diseñador Estructural**.

9.2.1. Pretensado con giro de tuerca

El **Director Técnico** deberá observar los ensayos de verificación previos a la instalación requeridos en el artículo 8.2.1. Luego se deberá verificar mediante **observación de rutina** que los trabajadores roten el elemento girado de manera adecuada con relación al elemento fijo y que la magnitud del giro es la indicada en la Tabla 8.2. Alternativamente, si a los **medios de unión** se les han colocado marcas concordantes luego del armado inicial de la **unión** pero antes de su pretensado, se permite realizar una inspección visual luego del pretensado en reemplazo de la **observación de rutina**. No se requiere ninguna otra evidencia de cumplimiento. Una tensión de pretensado mayor que el valor especificado en la Tabla 8.1. no constituye causal de rechazo.

9.2.2. Pretensado con llave calibrada

El **Director Técnico** deberá observar los ensayos de verificación previos a la instalación requeridos en el artículo 8.2.2. Luego se deberá verificar mediante **observación de rutina** que los trabajadores aplican la llave calibrada al elemento girado de manera correcta. No se requiere ninguna otra evidencia de cumplimiento. Una tensión de pretensado mayor que el valor especificado en la Tabla 8.1. no constituye causal de rechazo.

9.2.3. Pretensado con indicador directo de la tensión

El **Director Técnico** deberá observar los ensayos de verificación requeridos, antes de la instalación en el artículo 8.2.3. Posteriormente, pero antes del pretensado, se deberá verificar mediante **observaciones de rutina** que el calibrador de espesor correspondiente quepa en al menos la mitad de los espacios entre las salientes del indicador directo de la tensión, y que las salientes estén orientadas adecuadamente, hacia el exterior con respecto al trabajo. Si el calibrador de espesor correspondiente cabe en menos de la mitad de los espacios, se deberá retirar y reemplazar el indicador directo de la tensión. Luego del pretensado, se deberá verificar mediante **observaciones de rutina** que el calibrador de espesor correspondiente no cabe en al menos la mitad de los espacios entre las salientes. No se requiere ninguna otra evidencia de cumplimiento. Una tensión de pretensado mayor que la especificada en la Tabla 8.1. no será causal de rechazo.

9.3. UNIONES DE DESLIZAMIENTO CRÍTICO

Antes de su armado, se debe verificar visualmente que las **superficies de contacto** de las **uniones de deslizamiento crítico** satisfacen los requisitos del artículo 3.2.2. Luego se debe llevar a cabo la inspección requerida en el artículo 9.2.

CAPÍTULO 10. ARBITRAJE

Esta Recomendación permite utilizar el siguiente procedimiento de arbitraje, si luego de llevar a cabo la inspección de acuerdo con los artículos 9.2. ó 9.3. se sospecha que los bulones de las **uniones pretensadas** o de **deslizamiento crítico** no poseen la pretensión adecuada. Si se requiere verificar la pretensión de los bulones luego de transcurrido un determinado período de tiempo durante el cual las **uniones** terminadas han estado expuestas, se debe utilizar un procedimiento de arbitraje alternativo que sea apropiado para dicha situación en particular.

Procedimiento de arbitraje:

- (1) Instalar en un **calibrador de tensión** una muestra representativa de cinco conjuntos de bulón y tuerca de cada una de las combinaciones de diámetro, longitud, grado y *lote* en cuestión. El material debajo del elemento girado debe ser igual al de la instalación real, es decir, acero estructural o una arandela endurecida. Pretensar parcialmente el bulón hasta aproximadamente **15 %** de la tensión de pretensado indicada en la Tabla 8.1. Luego pretensar el bulón hasta el valor mínimo especificado en la Tabla 8.1.
- (2) Aplicar al bulón **pretensado** una llave de torsión manual que indique el par torsor mediante un dial, o una llave que se pueda ajustar de manera que indique que se ha alcanzado un par torsor definido. Determinar el par torsor necesario para rotar la tuerca o la cabeza del bulón cinco grados (aproximadamente **25 mm** para un radio de 300 mm) con respecto al otro elemento en la dirección del ajuste. El par torsor de arbitraje se determina rechazando los valores máximo y mínimo y promediando los tres valores restantes.
- (3) Los bulones representados por la muestra anterior se deben ensayar aplicando, en la dirección del ajuste, el par torsor de arbitraje al **10 %** de los bulones, pero a no menos de dos bulones, seleccionados aleatoriamente en cada una de las **uniones** en cuestión. Si al aplicar el par torsor de arbitraje ninguna tuerca o cabeza de bulón gira con respecto al otro elemento, la **unión** se debe aceptar considerándola adecuadamente pretensada.

Si al intentar aplicar el par torsor de arbitraje alguna tuerca o bulón gira con respecto al otro componente, se deben ensayar todos los bulones de la **unión**. Los bulones cuya tuerca o cabeza gire con respecto al otro componente al aplicar el par torsor de arbitraje deben ser pretensados nuevamente por el **Fabricante** o **Armador** y se debe proceder a una nueva inspección. Alternativamente, el **Fabricante** o **Armador**, a su elección, pueden pretensar nuevamente todos los bulones de la **unión** y posteriormente presentar nuevamente la **unión** para su inspección.

APÉNDICE A.

MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS UTILIZADOS EN UNIONES ABULONADAS

APÉNDICE A1. REQUISITOS GENERALES

A1.1. PROPÓSITO Y ALCANCE

El propósito de este procedimiento de ensayo es determinar el **coeficiente medio de fricción** de un recubrimiento a utilizar en el cálculo de las **uniones de deslizamiento crítico**. Adoptando este método de ensayo, las deformaciones por fluencia lenta del recubrimiento, debido tanto a la fuerza de apriete del bulón como al corte de la **unión** bajo acciones de servicio, son tales que el recubrimiento se comportará satisfactoriamente bajo carga sostenida.

A1.2. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES ESENCIALES

Son variables esenciales aquellas que, cuando son modificadas, hacen que sea necesario ensayar nuevamente el recubrimiento para determinar su **coeficiente medio de fricción**. A continuación se indican las variables esenciales y las relaciones entre dichas variables y las limitaciones de la aplicación del recubrimiento en **uniones** estructurales. Si se produce algún cambio en las variables esenciales se debe repetir el ensayo para determinar el coeficiente de fricción.

A1.2.1. Intervalo de tiempo

El intervalo de tiempo entre la aplicación del recubrimiento y el momento del ensayo es una variable esencial. El intervalo de tiempo se debe registrar en horas, además de detallar cualquier procedimiento especial de curado. El curado de acuerdo con las recomendaciones publicadas del **Fabricante** no se considera un procedimiento especial de curado. Los recubrimientos están calificados para su uso en **conexiones** estructurales que se arman luego que el recubrimiento ha estado presente durante un tiempo igual o mayor que el intervalo utilizado para las muestras de ensayo. Las condiciones especiales de curado utilizadas para las muestras de ensayo también se deben aplicar para el uso del recubrimiento en las **conexiones** estructurales.

A1.2.2. Espesor del recubrimiento

El espesor del recubrimiento es una variable esencial. El máximo espesor promedio del recubrimiento, conforme a SSPC PA2 (SSPC 1993; SSPC 1991), permitido sobre las superficies de contacto es **50 micrones** menos que el espesor promedio del recubrimiento que se utiliza en las muestras de ensayo.

A1.2.3. Composición del recubrimiento y método de fabricación

Tanto la composición del recubrimiento, incluyendo los diluyentes utilizados, como su método de fabricación son variables esenciales.

A1.3. REPETICIÓN DE LOS ENSAYOS

Un recubrimiento que no satisface, con determinado coeficiente de fricción, los requisitos de los ensayos de fluencia lenta o posterior a la fluencia lenta incluidos en el Apéndice A,

Capítulo A4, se puede ensayar nuevamente con un coeficiente de fricción menor sin repetir los ensayos estáticos bajo cargas de corta duración especificados en el Apéndice A, Capítulo A3. Durante la repetición de los ensayos las variables esenciales deben permanecer inalteradas.

APÉNDICE A2. CHAPAS PARA ENSAYO Y RECUBRIMIENTO DE LAS PROBETAS

A2.1. CHAPAS PARA ENSAYO

Las chapas para los ensayos estáticos de corta duración se ilustran en la Figura A-1. Las chapas son de **101,6 mm** por **101,6 mm** por **15,9 mm** (4 por 4 por 5/8 pulg) de espesor, con un agujero de **25,4 mm** (1 pulg) de diámetro perforado a **38,1 mm ± 1,6 mm** de uno de los bordes. Las chapas para los ensayos de fluencia lenta se ilustran en la Figura A-2.

Las chapas son de **101,6 mm** por **177,8 mm** por **15,9 mm** (4 por 7 por 5/8 pulg) de espesor, con dos agujeros de **25,4 mm** (1 pulg) perforados a **38,1 mm ± 1,6 mm** de cada extremo. Los bordes de las chapas pueden no tener tratamiento alguno después del laminado o pueden ser cortados con sierra; no se permiten los bordes cortados por calor.

Las chapas deben ser lo suficientemente planas como para garantizar un contacto razonablemente completo sobre la **superficie de contacto**. Se deben eliminar todas las rebabas, labios, o bordes irregulares. En la Figura A-2 se muestra la disposición de las chapas para el ensayo. Las chapas se deben fabricar con un acero que posea una tensión de fluencia mínima especificada comprendida entre **235** y **345 MPa**.

Si se desean probetas con más de un bulón, la superficie de contacto por bulón debe ser de **101,6 mm** por **76,2 mm** (4 por 3 pulg) como se ilustra para la probeta de un solo bulón en la Figura A1.

A2.2. RECUBRIMIENTO DE LAS PROBETAS

Los recubrimientos se deben aplicar a las probetas de manera que sean consistentes con la aplicación estructural real pretendida. El informe del ensayo debe indicar el método de aplicación del recubrimiento y la preparación de las superficies. Las probetas se deben recubrir hasta lograr un espesor promedio que sea **50 micrones** mayor que el máximo espesor a utilizar en la estructura en ambas superficies de la chapa (las superficies de contacto y exterior). El espesor del recubrimiento total y el imprimador, si es que se utiliza un imprimador, se deben medir de acuerdo con SSPC-PA2 (SSPC, 1993; SSPC, 1991).

Para cada superficie de contacto se deben efectuar dos lecturas puntuales (seis lecturas del indicador). El espesor total promedio de las tres chapas que componen una probeta es el espesor promedio correspondiente a la probeta. Este valor se debe calcular para cada probeta. El espesor promedio de las probetas a utilizar en el ensayo de fluencia lenta se debe calcular e informar.

El tiempo transcurrido entre la aplicación del recubrimiento y el armado de la probeta debe ser igual para todas las probetas, aproximadamente **4 horas**. Se debe calcular e informar el tiempo promedio.

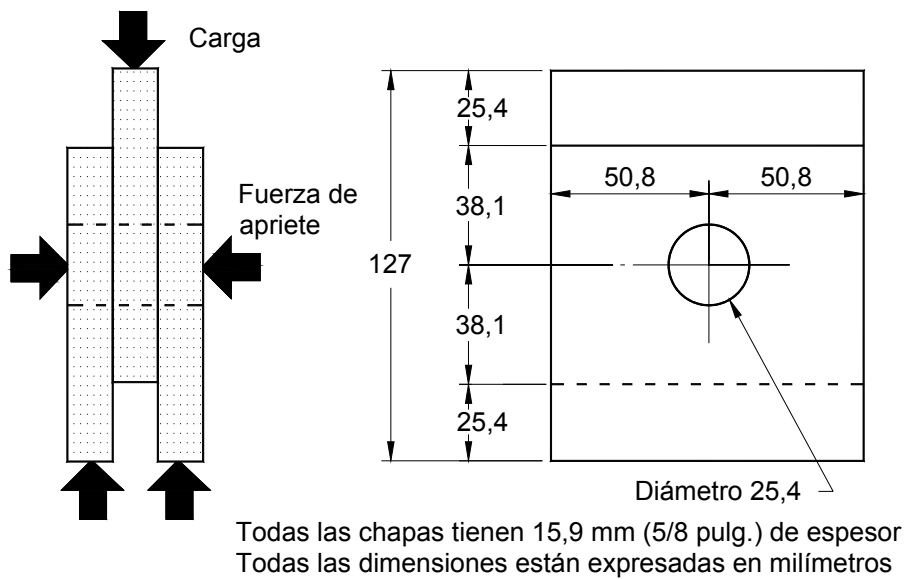


Figura A-1. Probeta para el ensayo de deslizamiento en compresión.

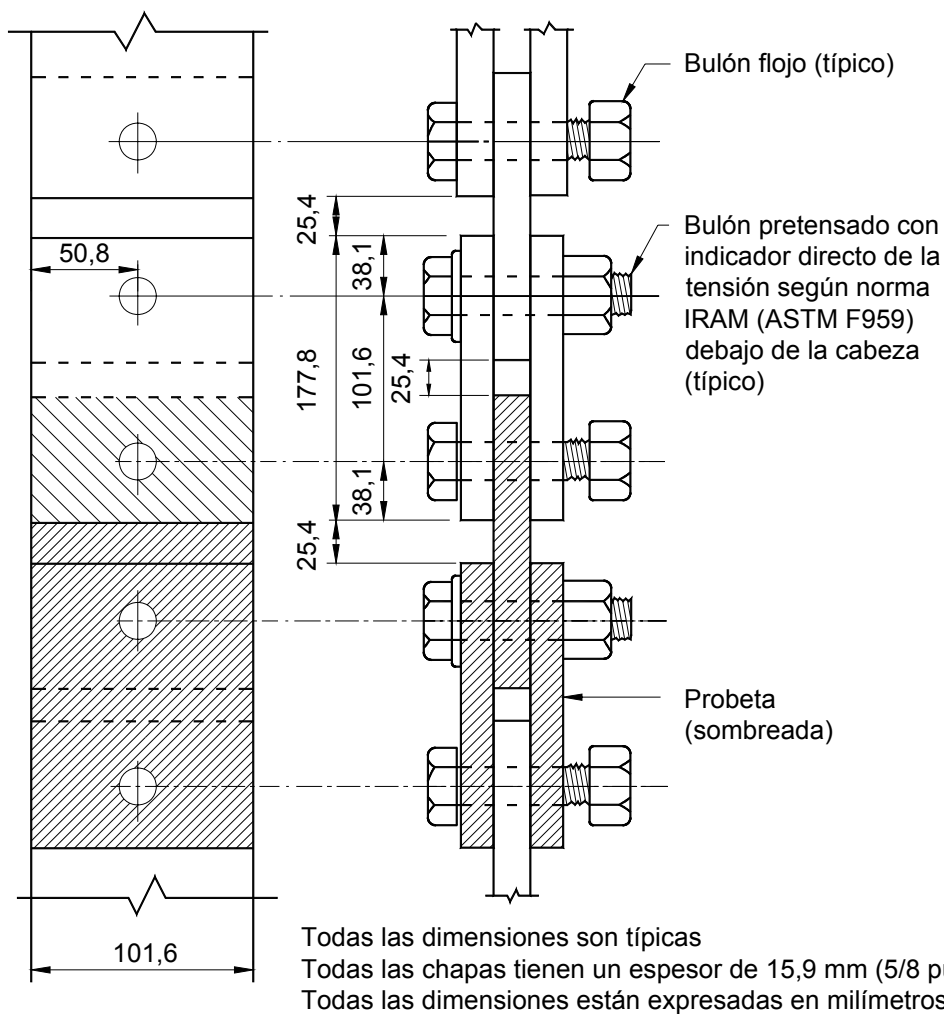


Figura A-2. Conjunto de la probeta para el ensayo de fluencia lenta.

APÉNDICE A3. ENSAYOS DE DESLIZAMIENTO

Los métodos y procedimientos aquí descritos se utilizarán para determinar de manera experimental el **coeficiente medio de fricción** bajo carga estática de corta duración para las **uniones abulonadas de alta resistencia**. El **coeficiente medio de fricción** se debe determinar ensayando un conjunto de cinco probetas.

A3.1. EQUIPO PARA EL ENSAYO DE COMPRESIÓN

El equipo para ensayo ilustrado en la Figura A-3 posee dos componentes principales de carga, uno para aplicar una fuerza de apriete a las chapas que constituyen las probetas de ensayo y otro para aplicar una carga de compresión a la probeta de manera que la carga se transfiera en las **superficies de contacto** por fricción.

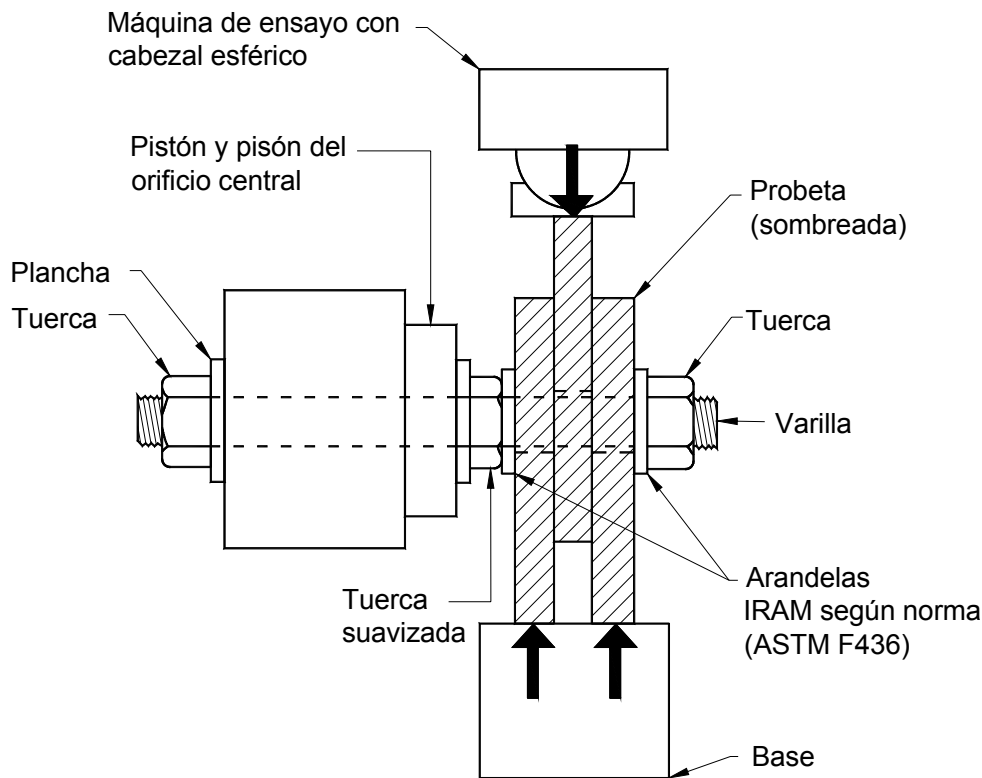
A3.1.1. Sistema para la aplicación de la fuerza de apriete

El sistema que aplica la fuerza de apriete consiste en una varilla roscada de **22,2 mm (7/8 pulg)** de diámetro que atraviesa la probeta y un pisón de compresión a través de un agujero central. En ambos extremos de la varilla se utiliza una tuerca IRAM 5456 (ASTM A563) grado DH y a cada lado de la probeta de ensayo se utiliza una arandela endurecida.

Entre el pisón y la probeta hay una tuerca IRAM 5456 (ASTM A563) grado DH de **22,2 mm (7/8 pulg)** de diámetro especialmente modificada en la cual los filetes de la rosca se han suavizado de manera que se deslice con poca resistencia sobre la varilla. Al bombear aceite hacia el pisón del agujero central, la varilla del pistón se extiende, forzando la tuerca especial contra una de las chapas externas de la probeta. Esta acción tracciona la varilla roscada y aplica una fuerza de apriete a la probeta, simulando el efecto de un bulón pretensado. Si el diámetro del agujero central del pisón es mayor que **25,4 mm (1 pulg)**, será necesario colocar arandelas planas adicionales en los extremos del pisón. El sistema de aplicación de la fuerza de apriete deberá ser capaz de aplicar una carga de al menos **218 MPa** y deberá poder mantener esta carga durante la totalidad del ensayo con una precisión de **2,2 MPa**.

A3.1.2. Sistema para la aplicación de la carga de compresión

Se debe aplicar una carga de compresión a la probeta hasta que se produzca el deslizamiento. Esta carga de compresión se debe aplicar mediante una máquina para ensayo de compresión o un marco de reacción utilizando un dispositivo de carga hidráulico. El dispositivo de carga y los elementos de apoyo necesarios deben ser capaces de soportar una fuerza de **534 kN**. El sistema para la aplicación de la carga de compresión debe tener una precisión mínima igual al **1 %** de la carga de deslizamiento.



La varilla y las tuercas tienen un diámetro de 22,2 mm (7/8 pulg.)

Figura A-3. Equipo para el ensayo de deslizamiento por compresión.

A3.2. INSTRUMENTACIÓN

A3.2.1. Fuerza de apriete

La fuerza de apriete se deberá medir con una precisión menor igual a los **2,2 kN**. Esto se logra midiendo la presión en el pisón calibrado o colocando una celda de carga en serie con el pisón.

A3.2.2. Carga de compresión

Durante el ensayo, la carga de compresión se deberá medir mediante lectura directa de una máquina para ensayo de compresión, una celda de carga en serie con la probeta y el dispositivo para aplicar la carga de compresión o lecturas de la presión en un pisón de compresión calibrado.

A3.2.3. Deformación por deslizamiento

Se deberá medir el desplazamiento de la chapa central con respecto a las dos chapas exteriores. Este desplazamiento, llamado deslizamiento, será el promedio o bien el que se produce en el eje de la probeta. Esto se puede lograr utilizando el promedio de dos indicadores colocados en los dos bordes expuestos de la probeta o bien monitoreando el movimiento del cabezal de carga con respecto a la base. Si se utiliza este último método,

es necesario cuidar que no haya juego en el sistema de carga antes de la aplicación de la carga. Las deflexiones se deben medir mediante indicadores con dial o con cualquier otro dispositivo calibrado que tenga una precisión de al menos **0,025 mm**.

A3.3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

La probeta se deberá instalar en el equipo de ensayo como se ilustra en la Figura A-3. Antes de aplicar la fuerza hidráulica de apriete, cada una de las chapas deberá estar en contacto con la varilla roscada de **22,2 mm (7/8 pulg)**, en una dirección opuesta a la carga de compresión prevista, para garantizar una deformación por deslizamiento. Se deberá posicionar las dos chapas exteriores de manera que la probeta quede perpendicular a la base y con ambas chapas en contacto con dicha base. Una vez posicionadas las chapas, se deberá activar el pisón del agujero central para producir una fuerza de apriete de **218 kN**. Durante el ensayo, la fuerza de apriete aplicada se deberá mantener constante a **218 ± 2,2 kN**, hasta que ocurra el deslizamiento.

Una vez aplicada la fuerza de apriete, el cabezal esférico de la máquina que aplica la carga de compresión se debe poner en contacto con la chapa central de la probeta. El cabezal esférico u otro dispositivo adecuado aseguran que la carga sea concéntrica. Al aplicar una carga de compresión menor o igual que **4,5 kN** se activan o acoplan los indicadores de deslizamiento. El propósito de activar el o los indicadores de deslizamiento después de aplicar una pequeña carga es eliminar de la lectura la deformación inicial debida al acomodamiento de la probeta.

Una vez que los indicadores de deslizamiento estén listos, se deberá aplicar la carga de compresión a una velocidad que no supere los **110 kN** por minuto ni **0,075 mm** de desplazamiento por minuto hasta llegar a la carga de deslizamiento. El ensayo se deberá finalizar cuando se registre un deslizamiento mayor o igual que **1,27 mm (0,05 pulg)**.

Preferentemente la relación entre la carga y el deslizamiento se debería monitorear de manera continua utilizando una graficadora **X-Y** durante todo el ensayo, como alternativa en vez de datos continuos se pueden registrar suficientes pares de datos carga-deslizamiento para evaluar la carga de deslizamiento definida a continuación.

A3.4. CARGA DE DESLIZAMIENTO

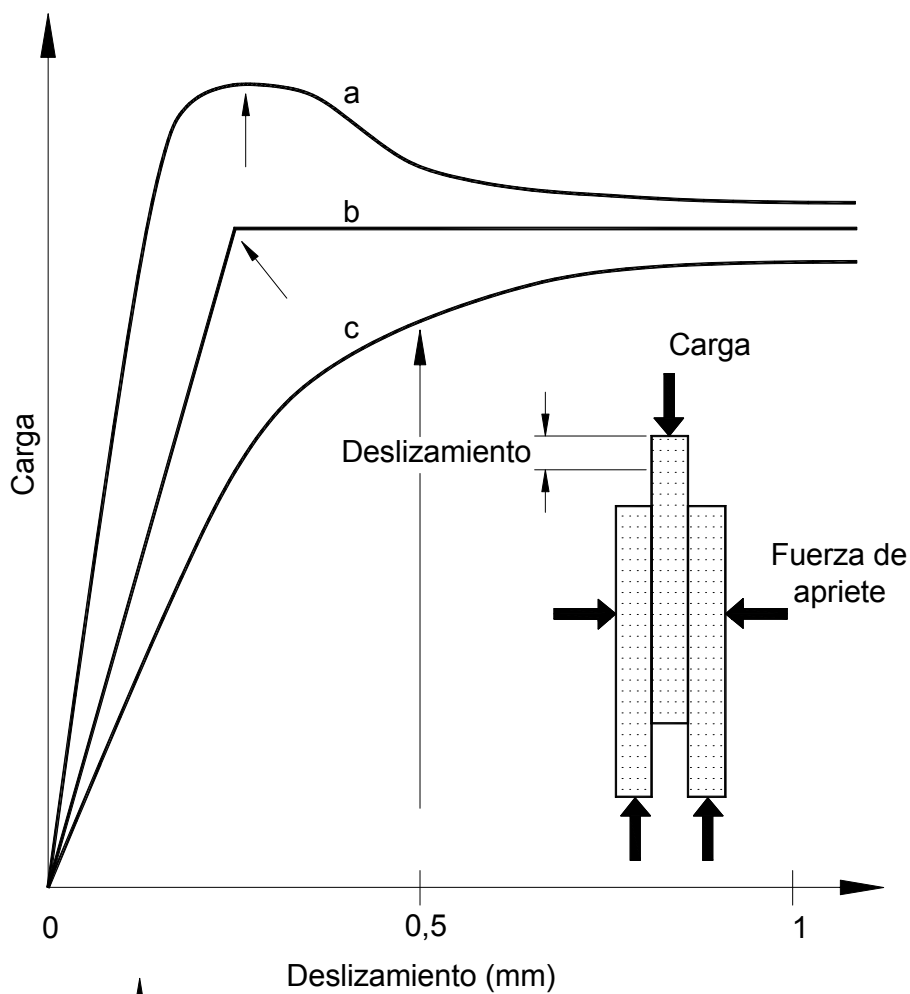
En la Figura A-4 se ilustran relaciones carga-deslizamiento típicas. Generalmente se observan tres tipos de curvas, y la carga de deslizamiento asociada con cada una de ellas se define de la siguiente manera:

- Curva (a):* La carga de deslizamiento es la carga máxima, siempre y cuando este máximo ocurra antes que se registre un deslizamiento de **0,5 mm (0,02 pulg)**.
- Curva (b):* La carga de deslizamiento es la carga a la cual la velocidad de deslizamiento aumenta bruscamente.
- Curva (c)* La carga de deslizamiento es la carga correspondiente a una deformación de **0,5 mm (0,02 pulg)**. Esta definición se aplica cuando la curva carga-deslizamiento indica un cambio de respuesta gradual.

A3.5. COEFICIENTE DE FRICCIÓN

El coeficiente de fricción de una probeta individual, k_s , se debe calcular de la siguiente manera. Se debe informar el **coeficiente medio de fricción** μ para un conjunto de cinco probetas.

$$k_s = \frac{\text{carga de deslizamiento}}{2 \text{ fuerza de apriete}} \quad (\text{A3-1})$$



↑ Indica carga de deslizamiento (típica)

Figura A-4. Definición de carga de deslizamiento.

A3.6. MÉTODOS DE ENSAYO ALTERNATIVOS

Esta Recomendación permite utilizar métodos de ensayo alternativos para determinar el deslizamiento, siempre y cuando la precisión de la medición de las cargas y la fuerza de apriete satisfaga las condiciones presentadas en los capítulos precedentes. Por ejemplo, la carga de deslizamiento se puede determinar mediante un equipo para ensayo de tracción y no mediante un equipo de compresión siempre y cuando la superficie de contacto por bulón de la probeta de ensayo sea la indicada en la Figura A-1. Mientras la fuerza de apriete sea de al menos **218 kN** se puede aplicar de cualquier manera, siempre y cuando se pueda establecer con una precisión de $\pm 1 \%$.

APÉNDICE A4. ENSAYO DE FLUENCIA LENTA EN TRACCIÓN

La intención del método de ensayo descrito es garantizar que el recubrimiento no sufrirá una deformación significativa por fluencia lenta bajo acción de servicio sostenida. El ensayo también indicará la pérdida de fuerza de apriete en el bulón provocada por la compresión o la fluencia lenta del recubrimiento. Se deberán ensayar tres probetas idénticas.

A4.1. EQUIPO PARA EL ENSAYO

Se deberán utilizar probetas del tipo ilustrado en la Figura A-2. Las muestras por duplicado se deberán unir en una única disposición tipo cadena, utilizando bulones pasantes de manera de aplicar la misma carga a todas las probetas. Las probetas se deberán armar de manera que las chapas de la probeta se apoyen contra el bulón en una dirección opuesta a la carga de tracción aplicada. Se deberá cuidar el armado de las probetas para asegurar que los agujeros utilizados para insertar los bulones pasantes y los bulones utilizados para ensamblar la **unión queden alineados**. El nivel de carga, especificado en el artículo A4.2, se deberá mantener constante a $\pm 1\%$ mediante resortes, servo controladores, contrapesos u otros dispositivos adecuados. Los bulones utilizados para apretar las probetas entre sí deben ser bulones IRAM 5455 (ASTM A490) de **22,2 mm (7/8 pulg)** de diámetro. Todos los bulones deben provenir de un mismo **lote**.

La fuerza de apriete en todos los bulones debe ser de al menos **218 kN**. La fuerza de apriete se debe determinar calibrando la fuerza del bulón con el alargamiento del bulón, si es que se utilizan bulones estándares. Alternativamente, se permiten pasadores especiales que controlen la fuerza de apriete por otros mecanismos, tales como indicadores del par torsor de los bulones o extensímetros (strain gages). Se deben realizar al menos tres calibraciones utilizando la técnica seleccionada para la determinación de la fuerza en los bulones. Se debe calcular e informar el promedio de las tres calibraciones. El método utilizado para medir la fuerza en los bulones debe garantizar que la fuerza de apriete esté a $\pm 9\text{ kN}$ del valor promedio.

El deslizamiento relativo entre las chapas externas y las chapas centrales se debe medir con una precisión de **0,025 mm**. Estos deslizamientos se deberán medir a ambos lados de cada probeta.

A4.2. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

La carga a aplicar a las probetas del ensayo de fluencia lenta será la acción de servicio permitida para bulones IRAM 5455 (ASTM A490) de **22,2 mm (7/8 pulg)** de diámetro en **uniones de deslizamiento crítico** dada en el Capítulo 5 para la correspondiente categoría de coeficiente de fricción considerada. La carga se deberá aplicar a la probeta y mantener durante **1000 horas**. La deformación por fluencia lenta de una probeta se calculará utilizando la lectura promedio de los dos desplazamientos a ambos lados de la probeta. La diferencia entre la lectura promedio luego de 1000 horas y la lectura promedio

inicial tomada media hora después de cargar las probetas se definirá como la deformación por fluencia lenta de la probeta. Este valor se deberá informar para cada una de las probetas. Si la deformación por fluencia lenta de cualquiera de las probetas es mayor que **0,127 mm (0,005 pulg)**, se considerará que el recubrimiento no ha superado el ensayo para el coeficiente de fricción utilizado. El recubrimiento se puede volver a ensayar de acuerdo con este Capítulo utilizando nuevas probetas, aplicando una carga correspondiente a un menor valor del coeficiente de fricción.

Si para todas las probetas el valor de la deformación por fluencia lenta resulta menor que **0,127 mm (0,005 pulg)**, las probetas se deberán cargar en tracción hasta llegar a una carga igual al producto entre la fuerza de apriete promedio y el coeficiente de fricción de diseño por dos, ya que existen dos planos de deslizamiento. La deformación por deslizamiento promedio que se produce bajo esta carga debe ser menor que **0,38 mm (0,015 pulg)** para las tres probetas. Si la deformación supera este valor, se considerará que el recubrimiento no satisface los requisitos para el **coeficiente medio de fricción** utilizado. Se deberá informar el valor de la deformación correspondiente a cada una de las probetas.

BIBLIOGRAFIA:

Allen, R.N. and J.W. Fisher, 1968, "Bolted Joints With Oversize or Slotted Holes," *Journal of the Structural Division*, Vol. 94, No. ST9, September, ASCE, Reston, VA.

American Institute of Steel Construction, 1999, *Load and Resistance Factor Design (LRFD) Specification for Structural Steel Buildings*, AISC, Chicago, IL.

Birkemoe, P.C. and D.C. Herrschaft, 1970, "Bolted Galvanized Bridges—Engineering Acceptance Near," *Civil Engineering*, April, ASCE, Reston, VA.

Carter, C.J., R.H.R. Tide and J.A. Yura, 1997, "A Summary of Changes and Derivation of LRFD Bolt Design Provisions," *Engineering Journal*, Vol. 34, No. 3, (3rd Qtr.), AISC, Chicago, IL.

Carter, C.J., 1996, "Specifying Bolt Length for High-Strength Bolts," *Engineering Journal*, Vol. 33, No. 2, (2nd Qtr.), AISC, Chicago, IL.

Chesson, Jr., E, N.L. Faustino and W.H. Munse, 1965, "High-Strength Bolts Subjected to Tension and Shear," *Journal of the Structural Division*, Vol. 91, No. ST5, October, ASCE, Reston, VA.

Fisher, J.W. and J.L. Rumpf, 1965, "Analysis of Bolted Butt Joints," *Journal of the Structural Division*, Vol. 91, No. ST5, October, ASCE, Reston, VA.

Frank, K.H. and J.A. Yura, 1981, "An Experimental Study of Bolted Shear Connections," FHWA/RD-81/148, December, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

Kulak, G.L., J.W. Fisher and J.H.A. Struik, 1987, *Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints*, Second Edition, John Wiley & Sons, New York, NY.

Kulak, G.L. and P.C. Birkemoe, 1993, "Field Studies of Bolt Pretension," *Journal of Constructional Steel Research*, No. 25, pp. 95-106.

Kulak, G.L. and S.T. Undershute, 1998, "Tension Control Bolts: Strength and Installation," *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 3 No. 1, February, ASCE, Reston, VA.

Manuel, T.J. and G.L. Kulak, 2000, "Strength of Joints that Combine Bolts and Welds," *Journal of Structural Engineering*, Vol. 126, No. 3, March, ASCE, Reston, VA.

McKinney, M. and F.J. Zwerneman, 1993, "The Effect of Burrs on the Slip Capacity in Multiple Bolt Connections," *Final Report to the Research Council on Structural Connections*, August.

Munse, W. H., 1967, "Structural Behavior of Hot Galvanized Bolted Connections," *Proceedings of the 8th International Conference on Hot-dip Galvanizing*, June, London, England.

Polyzois, D. and K.H. Frank, 1986, "Effect of Overspray and Incomplete Masking of Faying Surfaces on the Slip Resistance of Bolted Connections," *Engineering Journal*, Vol. 23, No. 2, (2nd Qtr), AISC, Chicago, IL.

Polyzois, D. and J.A. Yura, 1985, "Effect of Burrs on Bolted Friction Connections," *Engineering Journal*, Vol.22, No. 3, (3rd Qtr), AISC, Chicago, IL.

Sherman, D.R. and J.A. Yura, 1998, "Bolted Double-Angle Compression Members," *Journal of Constructional Steel Research*, 46:1-3, Paper No. 197, Elsevier Science Ltd., Kidlington, Oxford, UK.

SSPC, 1993, *Steel Structures Painting Manual*, Vol. 1, Third Edition, SSPC: The Society for Protective Coatings, Pittsburgh, PA.

SSPC, 1991, *Steel Structures Painting Manual*, Vol. 2, Sixth Edition, SSPC: The Society for Protective Coatings, Pittsburgh, PA.

Yura, J.A. and K.H. Frank, 1985, "Testing Method to Determine Slip Coefficient for Coatings Used in Bolted Joints," *Engineering Journal*, Vol. 22, No. 3, (3rd Qtr.), AISC, Chicago, IL.

Yura, J.A., K.H. Frank and L. Cayes, 1981, "Bolted Friction Connections with Weathering Steel," *Journal of the Structural Division*, Vol. 107, No. ST11, November, ASCE, Reston, VA.

INTI

INSTITUTO NACIONAL DE
TECNOLOGÍA INDUSTRIAL



CIRSOC

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