



GUÍA PYTHONX® PARA CORTE CON PLASMA EN CÓDIGOS Y NORMAS

PYTHONX®

**LINCOLN
ELECTRIC**

Índice

Normas de asistencia al cliente.....	5
Modificaciones del documento.....	5
Propósito y uso de esta Guía	5
Sistema PythonX	7
Corte por arco eléctrico con plasma	9
Códigos y normas	9
Estados Unidos	10
Canadá	11
Europa	12
Australia y Nueva Zelanda	13
Japón	13
Tipos de carga	14
Carga estática	14
Carga cíclica.....	15
Carga sísmica	15
Carga de impacto	15
Juntas fijadas con pernos	16
Juntas sin holgura	17
Juntas pretensadas	17
Juntas de deslizamiento crítico	18
Hoyos para pernos.....	19
Hoyos estándar para pernos (STD)	19
Hoyos muy grandes para pernos (OVS)	19
Hoyos con perforaciones cortas y largas para pernos	19
Hoyos para pernos cortados con plasma	20
Normas estadounidenses	21
Normas canadienses	24
Normas europeas.....	25
Normas australianas y neozelandesas	25
Normas japonesas	26

Bordes cortados con plasma	27
Bordes libres	27
Normas estadounidenses	28
Normas canadienses	28
Normas europeas.....	29
Normas australianas y neozelandesas	30
Normas japonesas	31
Penetraciones de alma y esquinas de entrante.....	31
Normas estadounidenses	32
Normas canadienses	33
Normas europeas.....	33
Normas australianas y neozelandesas	33
Normas japonesas	33
Cortes para vigas	33
Normas estadounidenses	35
Normas canadienses	36
Normas europeas.....	36
Normas australianas y neozelandesas	37
Normas japonesas	37
Hoyos de acceso a la soldadura	37
Normas estadounidenses	37
Normas canadienses	41
Normas europeas.....	43
Normas australianas y neozelandesas	43
Normas japonesas	43
Corte de secciones reducidas de la viga.....	43
Fatiga y corte con plasma.....	45
American Institute of Steel Construction	45
Bordes sometidos a corte térmico.....	45
Esquinas de entrante, hoyos de acceso a soldadura y cortes para vigas.....	46
Hoyos para pernos	47
Canadá	48

Bordes sometidos a corte térmico.....	48
Hoyos para pernos	49
Europa	49
Bordes sometidos a corte térmico.....	49
Hoyos para pernos	51
Australia/ Nueva Zelanda	53
Bordes sometidos a corte térmico.....	53
Hoyos para pernos	54
Rotulación con plasma	55
Criterios de calidad para superficies sometidas a corte con plasma	59
Aspereza de la superficie.....	59
Herramientas de medición de aspereza de superficie	61
Medición de aspereza de superficie de corte de Australia/ Nueva Zelanda	62
Aspereza de superficie de tipo de contacto/instrumento de medición de perfil.....	63
Normas y bibliografía citadas	65
Resumen y descargo	67

Normas de asistencia al cliente

Lincoln Electric Company vende consumibles de corte y soldadura, y equipos relacionados. En ocasiones, los compradores pueden pedir asesoramiento o información a la Empresa sobre el uso de dichos productos. Para brindarle un mejor servicio al cliente, el asesoramiento que ofrecen nuestros empleados es gratuito y con base en la información proporcionada y el conocimiento que tengan de los productos de Lincoln Electric. Lincoln Electric no ofrece garantía alguna y no se hace responsable por tal información o asesoramiento; tampoco se hace responsable por la actualización o corrección de tal información o asesoramiento después de habérselos dado; asimismo, la información o el asesoramiento proporcionados no generan, amplían ni modifican garantía alguna con respecto a la venta de los productos de la Empresa. Lincoln Electric niega de manera expresa toda garantía, incluso la garantía de aptitud para fines particulares, respecto de dicha información o asesoramiento. La selección y el uso de los productos que vende Lincoln Electric es responsabilidad exclusiva del cliente y solo se encuentran bajo el control de este último.

Modificaciones del documento

La información contenida en el presente documento se considera precisa en el momento de su impresión y está sujeta a modificaciones conforme pase a estar disponible más información. Los ejemplos de tales modificaciones incluyen, entre otros, la incorporación de datos adicionales del producto y alteraciones debido a modificaciones de las normas. Se recomienda al usuario de la presente Guía buscar modificaciones en el sitio web de Lincoln Electric (www.lincolnelectric.com). La presente Guía hace referencia a otros documentos no publicados por Lincoln Electric. Dichos documentos también están sujetos a cambio y se recomienda al usuario de esta Guía revisar las ediciones más recientes de los documentos a los cuales se hace referencia para ver si hay cambios que puedan afectar el contenido de la presente Guía.

Propósito y uso de esta Guía

La presente Guía abordará los problemas técnicos en torno a tres elementos asociados con piezas sometidas a procesamiento con sistemas PythonX:

- ▶ Hoyos hechos por corte térmico que serán parte de conexiones con pernos.
- ▶ Superficies sometidas a corte térmico que no sean hoyos para pernos, por ejemplo, bordes de miembros, penetraciones de alma, cortes de vigas, hoyos de acceso a soldadura y bridas reducidas de sección de vigas.
- ▶ Rotulación de ubicaciones de montaje, símbolos de soldadura y marcas permanentes de las piezas.

La tabla 1 está diseñada para su uso como guía de referencia rápida para determinar el margen o la prohibición de corte con plasma en una aplicación particular y para remitir al usuario de esta Guía a las secciones correspondientes de la Guía donde se encuentre la información apropiada. La tabla y la presente Guía no deben usarse solas sin consultar los códigos y las normas de los requisitos codificados.

TABLA 1. MARGEN DE HOYOS PARA PERNOS Y BORDES LIBRES DE CORTE CON PLASMA Y ROTULACIÓN DE MIEMBROS

Aplicación	Carga	EE. UU.	Canadá	Europa	Japón	Australia	Nueva Zelanda
Hoyos para pernos	Estático	Sí	Sí	Sí	Dependiente de aplicación ¹	Sí	Sí
	Cíclico	Dependiente de aplicación ²	Sí	Sí	No	Sí	Sí
	Sísmico	Dependiente de aplicación ³	No	Los códigos no abordan ⁴	No	Los códigos no abordan ⁴	Los códigos no abordan ⁴
	Ver páginas 19-26						
Bordes libres	Estático	Sí	Sí	Sí	Dependiente de aplicación ¹	Sí	Sí
	Cíclico	Sí	Sí	Dependiente de aplicación ¹	Dependiente de aplicación ¹	Sí	Sí
	Sísmico	Sí	Sí	Los códigos no abordan ⁴	Dependiente de aplicación ¹	Los códigos no abordan ⁴	Los códigos no abordan ⁴
	Ver páginas 26-53						
Rotulación de plasma	Los códigos no abordan Ver páginas 53-58						

Notas 1. Ver texto correspondiente.

2. RCSC 2014 y AISC 360-16 tienen leves diferencias en lo referente a los requisitos; y el Apéndice 3 de AISC 360-16 contiene algunas restricciones de hoyos basadas en el tipo de conexión que se fija con pernos.

3. AISC 358-16 contiene requisitos para varios tipos de conexiones momentáneas; el nivel de aceptación de los hoyos de corte con plasma depende de la conexión. Ver páginas 22-23 de esta Guía.

4. Las normas europeas, australianas y neozelandesas no abordan específicamente esta aplicación. Se recomienda al usuario de esta Guía pedir asesoramiento al ingeniero de registro u otra autoridad técnica del proyecto.

El sistema PythonX es popular para la fabricación de miembros de acero para la construcción de edificios, que suele estar regulada por códigos de construcción. Por esa razón, rigen requisitos reguladores para muchas aplicaciones de PythonX. En algunos casos, el uso de corte por plasma para hoyos para pernos, bordes libres y rotulado ha estado sometido a las restricciones de los requisitos

reguladores aplicables. Dichas restricciones pueden tener muchos fundamentos. Los códigos y las normas pueden impedir a propósito el uso del proceso debido a algún problema conocido de desempeño de la conexión. En otras situaciones, los requisitos pueden no estar actualizados. Una situación que suele darse es que los códigos permitan el uso de corte con plasma, pero sin embargo haya un malentendido de las normas y se produzca un rechazo inapropiado del proceso. La presente guía proporciona información sobre cuándo se permite y cuándo se rechaza el corte por arco eléctrico con plasma y la rotulación, y cuándo los códigos y las normas no dicen nada sobre el tema.

En algunos casos, las normas reguladoras utilizan el término “oxicorte” en lugar del término más inclusivo, “corte térmico”. Mientras el “corte térmico” incluiría el corte con plasma, el “oxicorte” no lo incluiría. En muchos casos, o quizá la mayoría, no se optó por el uso del término más restrictivo “oxicorte” para dejar afuera el corte con plasma sino más bien para identificar la tecnología más antigua, utilizada antes de que existiera y se hiciera popular el corte con plasma.

Cuando los requisitos en torno al uso del corte con plasma no se entienden, cuando se especifican normas más antiguas para un proyecto o cuando las normas no abordan el uso del corte con plasma, el ingeniero de registro u otra autoridad técnica que supervise el proyecto debe decidir si autoriza o rechaza el proceso. Cuando las normas vigentes no dicen nada sobre la aplicación de corte con plasma, el enfoque de otras normas (conforme se exponen en la presente Guía) puede ayudar a la autoridad a tomar la decisión sobre la aptitud del proceso. Por lo tanto, se recomienda al usuario de la presente Guía presentar la información contenida en ella a la entidad o entidades apropiadas, que tengan competencia en el proceso para que consideren y acepten el corte con plasma cuando corresponda.

El trabajo de algunas aplicaciones en las cuales podría utilizarse el sistema PythonX no está sometido a códigos o normas reguladores. En el caso de dichas aplicaciones, la información contenida en la presente Guía ayudará a la autoridad técnica a evaluar la aptitud de los hoyos y los bordes hechos por corte térmico y la rotulación técnica para aplicaciones no reguladas.

Sistema PythonX

El sistema PythonX es una máquina práctica y económica para cortar con plasma hoyos para pernos, penetraciones para almas, cortes de vigas, orificios de acceso a soldadura y demás modificaciones de formas tubulares y miembros recrecidos. Además, la PythonX puede usarse para hacer marcas o letras de identificación y ajustes en la superficie del acero. El sistema se utiliza para producir componentes utilizados en estructuras de edificios así como otros miembros estructurales utilizados para otras fabricaciones con acero.

El corte por arco eléctrico con plasma puede utilizarse para cortar la mayoría de los materiales estructurales, incluidas las placas de acero al carbono y de baja aleación, de hasta 2 pulg. [50 mm] de grosor, con cortes de alta calidad. El corte por arco eléctrico con plasma brinda un buen equilibrio en términos de costos de capital y brinda una excelente calidad de corte, altas velocidades de corte, mayor productividad y bajos costos operativos en comparación con otros métodos de corte.

Los miembros que produce una PythonX suelen soldarse o unirse con perno a otros miembros; en algunos casos, se usan tanto soldaduras como pernos. Muchos de los cortes térmicos que se hacen con la PythonX pasan a ser parte de una conexión estructural. La integridad de tales cortes puede afectar el desempeño de la conexión en servicio.

Una de las muchas ventajas del sistema PythonX es la uniformidad con la cual pueden hacerse los cortes térmicos en comparación con la alternativa común: el corte manual con torcha. Pueden programarse y cortarse de manera automática y uniforme tamaños y dimensiones específicos, requeridos o preferidos, para ciertas configuraciones geométricas tales como hoyos de acceso a soldadura. Cuando se emplea un sistema de corte PythonX pueden reducirse los costos de fabricación y mejorarse la calidad.

El sistema PythonX puede cortar hoyos para pernos redondos o perforados. Los hoyos perforados brindan mayor flexibilidad de alineación cuando se montan las vigas con perno, pero el uso de dichas perforaciones está prohibido en algunas situaciones.

El sistema PythonX utiliza el corte con plasma para hacer hoyos y cortar superficies. Como sucede en todos los procesos de corte térmico, el corte con plasma crea una zona afectada por el calor (HAZ, por sus siglas en inglés) adyacente al corte e induce cierta tensión residual que también se produce en la mayoría de los procesos de corte térmico y soldadura. Además, las superficies sometidas a corte térmico conllevan cierta aspereza. En la mayoría de las condiciones de carga y cuando se incorporan a conexiones con perno o soldadas, dichos rasgos no son perjudiciales.

No obstante, en algunas combinaciones de carga y en algunos tipos de conexión con perno, pueden generar problemas de desempeño. De manera similar, se aplican restricciones a los hoyos producidos por métodos mecánicos en algunos tipos de conexiones con perno y en condiciones de carga. Los códigos de construcción a veces prohíben los hoyos perforados; cuando eso sucede, puede ser necesario hacer hoyos taladrados o perforados y abocardados. Por esa razón, las restricciones a los medios de fabricación de los hoyos para algunos tipos de conexiones con pernos y carga no se limitan a superficies sometidas a corte térmico.

Corte por arco eléctrico con plasma

El corte por arco eléctrico con plasma es un proceso de corte por arco eléctrico térmico que constituye un método eficiente para cortar material. El corte con plasma brinda ventajas importantes con respecto al oxicorte en términos de productividad, velocidad y costo, y además, brinda una mejor calidad de superficie de corte, mejores propiedades mecánicas y un mayor apego a las tolerancias requeridas. El proceso se define como “proceso de corte por arco eléctrico que emplea un arco eléctrico limitado y elimina el metal fundido con un chorro de alta velocidad de gas ionizado proveniente del orificio de limitación” (AWS A3.0, 2010).

La formación del arco eléctrico de plasma comienza cuando se fuerza un gas tal como oxígeno, nitrógeno, argón o incluso aire comprimido de taller por el orificio de una pequeña tobera que está dentro de la torcha. Desde el suministro de potencia externo se genera un arco eléctrico que después se introduce a ese caudal de gas de alta presión, y eso produce lo que suele denominarse un “chorro de plasma”. El chorro de plasma alcanza de inmediato temperaturas de hasta 22 000 °C [40 000 °F] que perforan con rapidez la pieza y eliminan el material fundido.

Con niveles menores de energía térmica provenientes de la torcha de plasma, es posible marcar o grabar la superficie del acero; tal rotulación se denomina rotulación por plasma.

Códigos y normas

En todo el mundo hay códigos y normas que rigen la fabricación y la construcción de edificios, puentes y otras estructuras de acero. Dichos documentos, desarrollados por diferentes comités, se basan en procedimientos y experiencia internacionales y locales. Los códigos y las normas pueden ser específicos para una cierta condición de carga, por ejemplo, cargas sísmicas, o pueden regir procedimientos de fabricación generales.

Toda norma importante de construcción en acero permite el uso de corte con plasma para algunas tareas de corte, si no todas, en la fabricación de acero estructural. Dichas tareas incluyen:

- ▶ Hacer orificios para pernos, para conexiones con perno
- ▶ Hacer hoyos para varillas de anclaje y demás tipos de anclaje
- ▶ Cortar los bordes de miembros y componentes, incluidos los ajustes “trim” de bordes cortados y laminados
- ▶ Cortar para la preparación a tope de juntas de soldadura
- ▶ Cortar los detalles específicos, por ejemplo, hoyos de acceso a soldaduras y cortes de viga
- ▶ Cortar las penetraciones de miembro

- ▶ Cortar las bridas de conexiones de sección de viga reducida (un tipo de conexión sísmica momentánea)

Las aplicaciones y las limitaciones, así como los requisitos de calidad, varían según la norma de construcción. Se recomienda al usuario de la presente Guía revisar las normas aplicables e identificar los requisitos específicos dado que la Guía solo proporciona resúmenes de las normas. En el mismo sentido, versiones más recientes de las normas citadas pueden modificar los requisitos expuestos en la presente Guía. En general, las versiones más recientes de las normas reflejan los avances tecnológicos y la investigación más recientes.

Cuando para un proyecto se especifiquen normas más antiguas o cuando las normas aplicables no aborden de manera directa la aplicación de corte con plasma, se recomienda al usuario de esta Guía presentar la información proporcionada a la entidad o las entidades responsables o administradoras apropiadas para que consideren aceptar el corte con plasma en la aplicación o el proyecto en particular y para la revisión futura de las normas aplicables.

A continuación se proporcionan explicaciones breves de los códigos y las normas seleccionados que rigen el corte con plasma y la rotulación en un país dado.

Estados Unidos de América

El American Institute of Steel Construction (AISC) publica varias normas que abordan categorías específicas de construcción en acero. La norma principal para edificios de estructura metálica y otras estructuras es la *Especificación para Edificios de Acero Estructural*, identificada como AISC 360. En el momento de la publicación de la presente Guía, la edición más reciente de la AISC 360 es la edición de 2016, identificada como AISC 360-16.

En el caso de sistemas de edificios con acero estructural y de un compuesto con acero estructural y concreto reforzado detallados específicamente para resistir sismos, rigen los requisitos de las *Disposiciones Sísmicas para Edificios con Acero Estructural* publicadas en 2016 e identificadas como AISC 341-16, además de la AISC 360-16. AISC 341 se amplía y modifica los requisitos de la AISC 360; si no se enumeran alejamientos de la AISC 360 en AISC 341, rigen los requisitos de la AISC 360.

Una norma adicional, *Conexiones Precalificadas para Estructuras Momentáneas Especiales e Intermedias de Acero para Aplicaciones Sísmicas*, publicada en 2016 e identificada como AISC 358-16, especifica criterios de diseño, detalles, fabricación y calidad de conexiones momentáneas precalificadas de conformidad con la norma AISC 341-16.

Una cuarta norma AISC es la *Especificación para Estructuras de Acero Relacionadas con la Seguridad para Plantas Nucleares*, que aborda el diseño, la fabricación y la construcción de estructuras de acero relacionadas con la seguridad para plantas nucleares y complementa la AISC 360. La versión actual se publicó en 2012 bajo el nombre AISC N690-12, y en 2015 se le agregó un anexo identificado como AISC N690s1-15.

Las normas AISC pueden descargarse gratis en el sitio web de la AISC : www.aisc.org.

Las normas AISC hacen referencia a las normas de la American Welding Society (AWS) en lo que respecta a requisitos de soldadura y de corte. En lo referente a la construcción de edificios, la AISC 360-16 hace referencia a la norma AWS D1.1/D1.1M *Código de Soldadura Estructural - Acero*, publicada en 2015 e identificada como AWS D1.1/D1.1M:2015.

En lo referente a estructuras detalladas para resistencia sísmica, AISC 341-16 hace referencia a AWS D1.8/D1.8M *Código de Soldadura Estructural - Complemento sísmico*, que amplía y modifica los requisitos de AWS D1.1/D1.1M:2015. La versión más reciente es AWS D1.8/D1.8M:2016.

Las normas AISC hacen referencia a la norma de requisitos de instalación e inspección de la mayoría del empernado estructural, del Research Council on Structural Connections (RCSC). La norma es la *Especificación para Juntas Estructurales con Pernos de Alta Resistencia*. AISC 360-16 hace referencia a la edición de 2014 y suele mencionársela como la *Especificación 2014 del RCSC*. En abril de 2015 se corrigió una errata de dicha norma, pero esta corrección no modificó los criterios de hoyos para pernos.

Los puentes de carreteras suelen diseñarse y construirse de conformidad con las normas de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) que hacen referencia a AASHTO/AWS D1.5/D1.5M *Código de Soldadura para Puentes* en lo que respecta a los criterios de soldadura y de corte. Los puentes de carreteras suelen estar regidos por las especificaciones de la American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (AREMA) que hacen referencia a AASHTO/AWS D1.5/D1.5M, y modifican ciertas cláusulas. Además de esas normas nacionales, los estados o empresas ferroviarias individuales pueden exigir otros requisitos en lo referente a la construcción de puentes.

Canadá

El Canadian Institute of Steel Construction (CISC) no publica de forma directa una norma equivalente a la AISC 360. Por el contrario, la norma *Diseño de Estructuras de Acero* se publica como norma de la Canadian Standards Association (CSA) y se la identifica como CSA S16, con importante participación del CISC. En el momento de la preparación de esta Guía, la versión más reciente se había publicado en 2014 y se la conoce como CSA S16-14. El CISC publica el *Comentario del CISC sobre CSA S16-14*, incluido en la decimoprimera edición del *Manual de Construcción en Acero*, publicado en 2016.

CSA 16 hace referencia a *Construcción en acero soldado (soldadura por arco eléctrico metálico)*, publicada en 2013 e identificada como CSA W59-13, en lo que respecta a la mayoría de los requisitos relacionados con la soldadura y el corte. No obstante, en 2018 se publicó una versión nueva de CSA W59, CSA W59-18 *Construcción en Acero Soldado*, la cual se usa a los fines de la presente Guía. La próxima versión de CSA S16 que se publicará en 2019 hará referencia a CSA W59-18.

A diferencia de AISC 360-16, CSA S16 no hace referencia a la *Especificación del RCSC* para requisitos de empernado.

Europa

El diseño de estructuras en Europa está regido por una serie de Normas Europeas (EN, por sus siglas en inglés), denominadas Eurocodes, que desarrolló el Comité Europeo de Normalización (CEN, por sus siglas en inglés). En relación con las estructuras de acero están:

- ▶ EN 1990, *Base del diseño estructural*
- ▶ EN 1991, *Eurocode 1: Acciones sobre estructuras*
- ▶ EN 1993, *Eurocode 3: Diseño de estructuras de acero*
- ▶ EN 1994, *Eurocode 4: Diseño de estructuras compuestas de acero y concreto*
- ▶ EN 1998, *Eurocode 8: Diseño de estructuras para resistencia de terremotos*

Dentro de *Eurocode 3*, la parte 1.8, identificada como EN 1993-1-8 *Diseño de juntas*, aborda el diseño de juntas fijadas con pernos y soldadas entre miembros estructurales.

Cuando dentro del organismo del Eurocode se otorga permiso para un Anexo Nacional (NA, por sus siglas en inglés) a una Norma Europea, una nación europea dada puede adoptar dicho NA. Su propósito suele ser especificar o modificar valores de diseño o una ecuación o exigir un método de diseño específico o abordar el uso de un anexo informativo o normativo.

Ninguno de los documentos mencionados con anterioridad aborda de manera directa problemas de fabricación tales como corte o perforación (la realización de hoyos para pernos), sino que por el contrario hacen referencia a EN 1090-2 *Ejecución de estructuras de acero y estructuras de aluminio - Parte 2: Requisitos técnicos para estructuras de acero*, una norma independiente desarrollada por CEN/TC 135 *Ejecución de Estructuras de Acero y Estructuras de Aluminio*. Dicha norma aborda los requisitos específicos de ejecución de estructuras de acero para obras edilicias y de ingeniería civil, lo cual incluye reglas de gestión de calidad, materiales, fabricación, construcción e inspección y requisitos específicos de corte, soldadura y empernado. Esa norma se actualizó y publicó en 2018 (EN 1090-2:2018).

Australia y Nueva Zelanda

Australia y Nueva Zelanda comparten varias normas conjuntas, pero Nueva Zelanda utiliza sus propias normas para abordar el diseño y la construcción contra sismos. Quien administra y publica las normas es Standards Australia (AS) y Standards New Zealand (NZS), según corresponda. El Australian Steel Institute (ASI), Weld Australia (WA), con anterioridad conocido como Welding Technology Institute of Australia (WTIA), Steel Construction New Zealand (SCNZ) y New Zealand's Heavy Engineering Research Association (HERA) son instrumentales para el desarrollo de normas de AS/NZS relacionadas con la construcción, la soldadura y el corte de acero.

En lo referente al diseño de estructuras de acero, Australia emplea AS 4100-1998 (R2016) *Estructuras de acero*. Se la adoptó en 1998, se la complementó en 1999 y se la reafirmó en 2016. En Nueva Zelanda, NZS 3404.1: *se utiliza la Norma de Estructuras de Acero* (2007). La versión actual de dicha norma es la de 2007, a la cual se le hicieron dos enmiendas posteriores.

Tanto Australia como Nueva Zelanda emplean la AS/NZS 5131:2016, *Trabajo con Acero Estructural - Fabricación y Construcción*. Dicha norma se basa en muchos de los temas principales de EN 1090-2 *Ejecución de Estructuras de Acero y Estructuras de Aluminio, Parte 2: Requisitos Técnicos de Estructuras de Acero*, con modificaciones basadas en trabajo hecho para el desarrollo de la norma ISO 17067.

En lo referente a cortes y soldaduras, tanto las normas australianas como las neozelandesas hacen referencia a la serie AS/NZS 1554 *Soldadura de Acero Estructural*. Las versiones actuales de dichas normas son:

AS/NZS 1554.1:2014 *Soldadura de Acero Estructural, Parte 1: Soldadura de Estructuras de Acero*, Novena edición, 2014

AS/NZS 1554.4:2014 *Soldadura de Acero Estructural, Parte 4: Soldadura de Aceros de Alta Resistencia Enfriados y Templados*, Cuarta edición, 2014

AS/NZS 1554.5:2014 *Soldadura de Acero Estructural, Parte 5: Soldadura de Estructuras de Acero Sometidas a Altos Niveles de Carga de Fatiga*, Novena edición, 2014

Japón

El Instituto de Arquitectura de Japón (IAJ) redacta normas de diseño y especificaciones de ejecución para la construcción en acero. Otra organización relevante para la fabricación con acero es la Sociedad Japonesa de Construcción con Acero (SJCA). La Sociedad Japonesa de Ingeniería de Soldadura (SJIS) aborda normas de soldadura y corte.

La Especificación Japonesa de la Norma Arquitectónica 6 (JASS 6, por sus siglas en inglés), Especificación de Construcción con Metal Estructural para Construcción de Edificios, puede consultarse en inglés. En 2018 se publicó una versión actualizada de la JASS 6 como la 11.º edición. No se ha establecido fecha para la traducción al inglés de la versión más reciente.

Todas las otras normas solo están disponibles en japonés y, por lo tanto, el alcance de la presente Guía no incluye los requisitos de dichas normas.

Tipos de carga

Los diferentes tipos de estructura se cargan de maneras diferentes. Los cuatro tipos primarios de carga son el estático, el cíclico, el sísmico y el de impacto. Hay otros tipos de carga, pero dados los fines de esta Guía, no se los abordará aquí. Los requisitos de diseño para cada tipo de carga deben tratarse de forma diferente. Además, los requisitos de cómo tratar hoyos para pernos, bordes cortados y miembros marcados con plasma pueden variar según el tipo de carga. Por ejemplo, los edificios suelen ser estructuras con cargas estáticas mientras que los puentes son estructuras con carga cíclica y, por ende, sus diseños tienen requisitos diferentes.

Carga estática

La carga estática incluye la carga muerta de la estructura, pero también cargas variables y cargas medioambientales tales como el viento o la nieve. La mayoría de los edificios están sometidos solo a carga estática, con excepción de la carga sísmica que expondremos más adelante. Dado que las cargas del viento y la nieve se aplican con lentitud y la estructura se deforma con lentitud, la velocidad de tensión es baja, por lo cual a tales cargas se las considera estáticas.

En general, cuando la carga es cíclica o sísmica, las normas amplían o modifican los requisitos para aplicaciones con carga estática y suelen ser más exigentes con dichos requisitos. Por ende, los requisitos para aplicaciones estáticas constituyen una especificación de base que pasa a ser aplicable a todos los tipos de condiciones de carga. Así, en situaciones en las cuales no hay requisitos adicionales específicos para aplicaciones cíclicas, los requisitos estáticos seguirán estando vigentes. En las aplicaciones sísmicas se da una situación similar.

Carga cíclica

La carga cíclica involucra una carga variable repetida aplicada a la estructura. También se la puede denominar carga de fatiga. AISC 360-16 El Apéndice 3 define fatiga como “el estado límite del inicio de grietas y la ampliación resultante de la aplicación repetida de cargas variables”. AISC también dice en la sección B3.11 que “no es necesario considerar la fatiga a los efectos de sismos o a los efectos de la carga del viento sobre sistemas típicos de resistencia lateral de edificios y componentes de protección de edificios” (AISC 360, 2016). A las estructuras sometidas a carga cíclica con hoyos para pernos, bordes con corte térmico y rotulación puede pedírseles cumplir requisitos más exigentes que a las estructuras sometidas a carga estática.

Carga sísmica

La carga sísmica se produce durante los terremotos. A ese tipo de carga puede denominársela carga inelástica, dado que se espera que partes específicas de la estructuras sufran un nivel de tensión que genere deformación permanente durante eventos sísmicos. A la carga sísmica también puede denominársela “fatiga de bajo ciclo” dado que la cantidad de ciclos del evento sísmico es muy baja. Los requisitos de hoyos para pernos, bordes con corte térmico y rotulación con plasma pueden ser más exigentes cuando la estructura está diseñada para un evento sísmico que cuando está diseñada para tolerar cargas estáticas. Eso incluye garantizar que la aspereza de la superficie esté dentro de los límites especificados y que las entalladuras de los hoyos para pernos y bordes sometidos a corte térmico se reduzcan al mínimo. Hay requisitos más exigentes que pueden aplicarse a los miembros y las conexiones que resisten cargas sísmicas, pero estos no rigen para los miembros y las conexiones que resisten solo cargas gravitacionales.

Carga de impacto

La carga de impacto, a veces llamada carga dinámica, involucra la aplicación rápida de la carga y el correspondiente efecto de una tasa superior de tensión. Tal carga suele ser consecuencia de grandes fuerzas inerciales, contra las cuales ejerce resistencia una masa y rigidez importantes, para producir una deceleración rápida. Esta categoría también incluye la carga de explosión. Dado que la resistencia a explosiones es una aplicación de construcción especializada, esta Guía no aborda ese tema ni otras formas de carga por impacto.

Juntas fijadas con pernos

Los requisitos de resistencia de diseño, instalación e inspección de juntas estructurales fijadas con pernos dependen del tipo de junta fijada con pernos que seleccione el ingeniero. El ingeniero indica el tipo de junta fijada con pernos en los documentos de diseño, el cual también se indica en los planos del taller y en los planos de construcción.

Las designaciones de juntas fijadas con pernos brindan la información necesaria para instalar e inspeccionar estructuras empernadas más que para definir el mecanismo de transferencia de carga. Existen tres tipos de juntas fijadas con pernos: Sin holgura (SH), pretensadas (PT) y de deslizamiento crítico (DC), conforme se describe en la Tabla 2.

TABLA 2. TIPOS DE JUNTAS FIJADAS CON PERNOS	
Tipo de junta ¹	Función de conexión
Sin holgura (SH)	Resistencia a carga de cizallamiento de cizallas/apoyos.
Pretensadas (PT)	Resistencia a carga de cizallamiento de cizallas/apoyos. Se necesita pretensado de perno, pero por razones que no son la resistencia al deslizamiento.
Deslizamiento crítico (DC)	Se necesita resistencia a la carga de cizallamiento por fricción sobre superficies peladas.

¹ Estos términos los emplea el American Institute of Steel Construction (AISC) y el Research Council on Structural Connections (RCSC). Los términos empleados en otras normas pueden diferir.

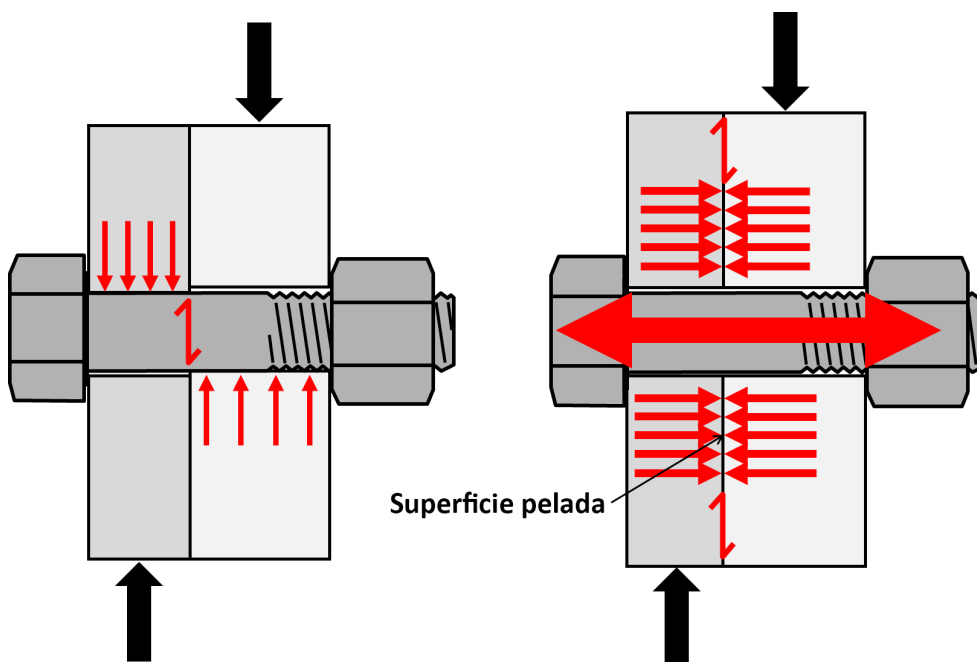


Figura 1. Comparación de ejemplos de conexión fijada con pernos sin holgura (izquierda) y conexión fijada con pernos de deslizamiento crítico (derecha)

Juntas sin holgura

Las juntas sin holgura son las juntas fijadas con pernos más comunes en las estructuras de edificios. Dado que la carga se transfiere por cizalla mediante el perno que se apoya contra el costado de los hoyos para perno, no hay necesidad de aplicar un mayor nivel de tensión al perno. Por el contrario, los pernos, mediante el esfuerzo necesario para crear la tensión que necesita el perno para establecer un contacto firme entre las chapas, unen las chapas de acero de la junta (Figura 1).

La *Especificación del RCSC de 2014* define las juntas sin holgura como “juntas en las cuales se han instalado los pernos de conformidad con la sección 8.1. La condición de junta sin holgura es el ajuste que se obtiene con unos pocos golpes de una llave de impacto o con el esfuerzo completo de un herrero mediante una llave de conector de acero para establecer un contacto firme entre las chapas”. (RCSC, 2014).

Cuando se emplean juntas sin holgura, el RCSC solo permite hoyos estándar y hoyos perforados con carga transversal a la longitud de la perforación. Están prohibidos los hoyos demasiado grandes y los hoyos perforados cargados en cualquier dirección que no sea más o menos la normal (entre 80 y 100 grados) porque permitirían demasiado movimiento de la junta durante la construcción o después de la ocupación, cuando se le apliquen cargas de servicio.

El RCSC no permite juntas sin holgura en aplicaciones de fatiga. Si las cargas variables repetidas hacen que las chapas de la junta se deslicen en repetidas ocasiones una contra la otra, al final podría producirse fatiga por fricción sobre la superficie de las chapas de acero. Si el perno se carga en tensión cíclica, podría fallar bajo condiciones de fatiga de tracción.

En otras partes del mundo, las normas de construcción en acero utilizan términos que transmiten el mismo concepto, por ejemplo, juntas “no precargadas”.

Juntas pretensadas

Las juntas pretensadas difieren de las juntas sin holgura en cuanto a que los pernos se ajustan de manera de alcanzar un nivel prescrito de pretensado. El término pretensado se utiliza porque la tensión del perno proviene de la instalación en lugar de provenir de la carga aplicada. La transferencia de la carga es la misma que la de las juntas sin holgura: cizalla mediante el vástago del perno y apoyo contra los costados de los hoyos del perno.

La *Especificación del RCSC de 2014* define las juntas pretensadas como “juntas que transmiten cargas de cizalla o tracción en las cuales los pernos se han instalado de conformidad con la sección 8.2 para ejercer pretensado en el perno que se instala”. En la actualidad hay cuatro métodos de instalación que establece la Especificación del RCSC.

Cuando se emplean juntas pretensadas, solo se permiten hoyos estándar y hoyos perforados con carga transversal a la longitud de la perforación. Están prohibidos los hoyos muy grandes y los hoyos perforados cargados en cualquier dirección que no sea más o menos la normal (entre 80 y 100 grados) porque permitirían demasiado movimiento de la junta durante la construcción o después de la ocupación cuando se le apliquen cargas de servicio.

Si bien el nivel de pretensado de los pernos de las juntas pretensadas es muy alto y el acero se sujeta con firmeza, hay poco control sobre la naturaleza de las superficies en fricción, las superficies de contacto de las chapas de acero dentro de la junta. Por ende, incluso una junta ajustada podría deslizarse si la superficie de acero se recubre con un material con bajo coeficiente de fricción o si el acero no se somete a la preparación apropiada para brindar un nivel específico de resistencia al deslizamiento.

Las juntas en las cuales los pernos se cargan en tensión y se someten a cargas de fatiga están diseñadas y pretensadas de manera que el perno no sufra de manera directa el rango de tensión de la tracción. Por el contrario, las piezas conectadas que se unen con los pernos se someterán a un cambio de fuerza de sujeción bajo carga, pero la tensión del perno en esencia no sufrirá cambio alguno.

En otras partes del mundo, las normas de construcción en acero utilizan términos que transmiten el mismo concepto, por ejemplo, juntas “precargadas”.

Juntas de deslizamiento crítico

Las juntas de deslizamiento crítico también emplean pernos pretensados, pero tienen controles adicionales sobre las superficies en fricción, las superficies de contacto de las planchas de acero que están dentro de la junta. Se aplican criterios para garantizar que las superficies en fricción brinden la resistencia necesaria al deslizamiento, bien se trate de acero con o sin recubrimiento (Figura 1).

En las juntas de deslizamiento crítico, la carga se transfiere de un elemento al siguiente mediante fricción en lugar de transferírsela por apoyo en cizalla como en las juntas sin holgura y pretensadas. Solo hay una leve posibilidad de movimiento de la junta y, si se produce, la carga se transfiere por apoyo de cizalla. Dada la resistencia a deslizamiento que brinda la fuerza de fijación de los pernos y las superficies de fricción controlada, además de los hoyos estándar y los hoyos perforados con carga transversal, se permite usar hoyos de gran tamaño y hoyos perforados en una dirección diferente a la más o menos normal.

La *Especificación del RCSC de 2014* define las juntas de deslizamiento crítico como “juntas que transmiten cargas de cizalla o cargas en cizalla en combinación con cargas de tracción en las cuales los pernos se han instalado de conformidad con la sección 8.2 para ejercer pretensado en el perno

instalado (fuerza de fijación sobre superficies en fricción) y con superficies en fricción que se han preparado para brindar una resistencia calculable al deslizamiento”.

En normas norteamericanas anteriores, a las juntas de deslizamiento crítico se las denominaba “juntas tipo fricción”. En otras partes del mundo, las normas de construcción en acero utilizan términos que transmiten el mismo concepto, por ejemplo, juntas “de agarra de fricción”.

Hoyos para pernos

Hoyos estándar para pernos (STD)

Se permite el uso de hoyos estándar para pernos en todas las juntas sin holgura, pretensadas y de deslizamiento crítico. El diámetro del hoyo permitido varía según el diámetro del perno, la norma aplicable y si se emplean unidades tradicionales de los EE.UU. o unidades del SI para los pernos, los hoyos o ambos.

Hoyos muy grandes para pernos (OVS)

Los hoyos muy grandes para pernos brindan mayor espacio libre para instalar pernos y para hacer ajustes menores en conexiones de manera de alinear las piezas. Dichos hoyos son en particular útiles con chapas de acero gruesas en la conexión dado que ensanchar hoyos para permitir la inserción de pernos resultaría difícil y llevaría demasiado tiempo. No obstante, es difícil mantener el nivel de construcción, la alineación y la verticalidad cuando se emplean hoyos demasiado grandes. Cuando las especificaciones aplicables muestran dimensiones de hoyo demasiado grandes, los valores de la tabla deben considerarse valores máximos.

Hoyos con perforaciones cortas y largas para pernos

Los hoyos perforados para pernos brindan un poco más de espacio libre para instalar pernos y para hacer ajustes en conexiones de manera de alinear las piezas o brindar tolerancia de verticalidad al edificio (Figura 2). No obstante, es difícil mantener la alineación de la construcción cuando se emplean hoyos perforados. Las longitudes de perforación corta (SSL) y larga (LSL) que se muestran en las tablas de especificaciones aplicables son las longitudes máximas y mínimas que pueden emplearse cuando se desee.

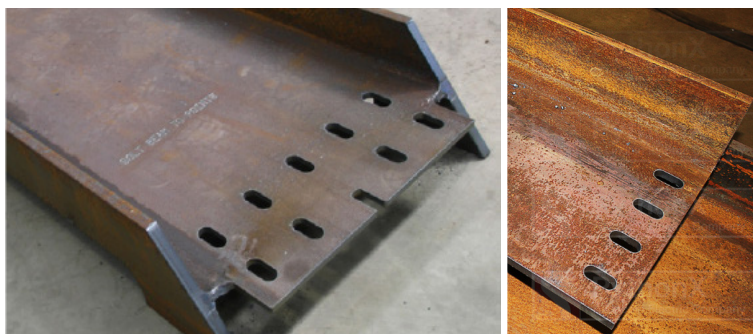


Figura 2. Ejemplos de hoyos con perforaciones largas

Hoyos para pernos cortados con plasma

Todas las normas de construcción en acero para edificios mencionadas con anterioridad permiten en cierta medida el uso de hoyos para pernos cortados con plasma, con excepción de la norma japonesa JASS 6 (2007). Algunas especifican criterios de calidad para la superficie cortada del hoyo, incluida la aspereza y la perforación de la superficie. Solo la norma europea incluye criterios de inclinación dentro del hoyo.

Con la excepción de JASS 6, las normas permiten usar corte térmico para hacer perforaciones entre hoyos taladrados o perforados utilizados para los extremos de la perforación. Cuando se permite el uso de hoyos hechos por corte térmico, hacer todo el hoyo perforado con corte con plasma reduce el tiempo y el esfuerzo. También aumenta la calidad y la precisión, dado que evita la dificultad de alineación de la superficie sometida a corte térmico con el punto de tangencia del hoyo perforado o taladrado y el posterior esmerilado que pueda ser necesario.

Hay solo tres normas que abordan la precisión de la ubicación de los hoyos para perno: la norma europea EN 1090-2, la norma australiana/neozelandesa AS/NZS 5131 y la norma japonesa JASS 6. En el caso de las normas norteamericanas, la ubicación del hoyo se considera lo suficientemente precisa si los miembros conectados se ubican dentro de su tolerancia especificada.

Rigen restricciones sobre el corte térmico de orificios para pernos en lugares específicos de los miembros de acero estructural, según la aplicación y la ubicación de la estructura. Dichos lugares pueden incluir hoyos en regiones diseñadas para soportar altos niveles de tensión inelástica (también llamadas áreas de articulación plástica) que se espera que surjan durante eventos sísmicos importantes. Dicha restricción no incluye todas las estructuras resistentes a sismos o siquiera todas las conexiones sísmicas. En algunas conexiones, es posible que se permita usar hoyos cortados con plasma en una parte de la conexión pero no en otra. Para conocer más detalles, debe consultarse el código correspondiente.

Ciertos estudios europeos (Bannister, y otros, 2016, Sección 8.6 Capacidad de tensión de tracción plástica de bordes cortados con láser y plasma) sobre planchas de acero con un grosor de 15 mm [19/32 pulg.] indican que los hoyos hechos por corte con plasma en los cuales el hoyo se inicia en el centro y se termina en un lugar del hoyo paralelo a la dirección de la tensión brindan una capacidad de tensión adecuada en acero con una fuerza de estiramiento de 355 MPa y 460 MPa [50 y 65 ksi] a temperaturas de -50 °C [-60 °F] y una capacidad de tensión adecuada en acero con una resistencia superior a -20 °C [0 °F]. No obstante, debe observarse que se trata de ensayos de tracción individuales hasta la rotura y que no toman en consideración las tensiones y los ciclos repetidos que pueden sufrirse en cargas sísmicas.

Según algunas normas, pueden aplicarse restricciones sobre los hoyos hechos por corte térmico sometidos a fatiga por un alto número de ciclos. Los hoyos cortados con plasma suelen usarse en conexiones fijadas con pernos para tales aplicaciones, con categorías apropiadas de diseño de fatiga para la conexión fijada con pernos. Deben consultarse las limitaciones del caso específico en la norma aplicable.

Normas estadounidenses

Aplicaciones con carga estática

La AISC 360-16 Capítulo M titulado *Fabricación y construcción*, Sección M2.5, dice que

“Los hoyos para pernos deben cumplir con las disposiciones de la *Especificación del RCSC para Juntas Estructurales con Pernos de Alta Resistencia*, Sección 3.3, en adelante mencionada como la *Especificación del RCSC*, salvo cuando se permiten hoyos hechos por corte térmico con un perfil de aspereza de superficie que no supere los 1000 μin (25 μm), tal como se define en ASME B46.1”.

Si bien AISC 360-16 identifica la tolerancia de los hoyos hechos por corte térmico como una excepción la *Especificación del RCSC* contiene lenguaje similar que permite el uso de hoyos hechos por corte térmico. Siempre y cuando se cumpla con los requisitos de aspereza de la superficie, pueden emplearse hoyos hechos por corte térmico, incluso el corte con plasma, en la medida en la que la perforación no supere las 1/16 pulg. [2 mm].

El sistema PythonX puede cumplir con los requisitos de 1000 μin (25 μm), con un valor típico de aspereza de superficie de 75 μin (2 μm), muchas veces mejor que los requisitos.

AISC 360-16, Sección M2.2 aborda el corte térmico en general. Dice que deben cumplirse los requisitos de AWS D1.1/D1.1M:2015 cláusulas 5.14.5.2, 5.14.8.3 y 5.14.8.4. La cláusula 5.14.5.2 cubre los procedimientos de reparación. La cláusula 5.14.8.3 cubre los requisitos de aspereza de los hoyos hechos por corte térmico y dice que no debe ser superior al que representa la Muestra 3 de AWS C4.1-77, *Criterios para Describir Superficies de Corte con Oxígeno y el Nivel de Aspereza de la Superficie de Corte con Oxígeno*. La cláusula 5.14.8.4 cubre las limitaciones de entalladura y perforación que exigen que la aspereza de superficie superior a la que representa la Muestra 3 y las perforaciones de más de 3/16

pulg. [5 mm] deben repararse mediante maquinado o esmerilado. AISC 360-16, Sección M2.2 también dice que los bordes libres no sujetos a fatiga no deben tener una perforación superior a 3/16 pulg. [5 mm] de profundidad y que las entalladuras de más de 3/16 pulg. [5 mm] de profundidad deben eliminarse mediante esmerilado o soldadura de reparación.

Las perforaciones que necesiten reparación no deben ser una constante cuando el sistema PythonX funciona bien.

La *Especificación del RCSC de 2014*, Sección 3.3 permite el uso de hoyos hechos por corte térmico en juntas sometidas a cargas estáticas siempre y cuando se los haga con máquina, con la restricción de que la aspereza de la superficie no supere las 1000 μin [25 μm]. RCSC también restringe las “perforaciones ocasionales” a no más de 1/16 pulg. [2 mm] de profundidad. Se permite el uso de hoyos hechos por corte térmico a mano libre y los hoyos hechos por corte térmico para aplicaciones cíclicas “si lo aprueba el ingeniero de registro”. En el caso de los hoyos cortados a mano libre, el comentario del RCSC dice que suele ser necesario esmerilar el hoyo para lograr la aspereza máxima de superficie de 1000 μin [25 μm].

Dado que el sistema PythonX es un sistema mecanizado, estas disposiciones que abordan el corte a mano no son aplicables.

Aplicaciones con carga cíclica

Los criterios de AISC 360 para conexiones con carga cíclica están contenidos sobre todo en el Apéndice 3 de dicha norma. El contenido del resto de AISC 360 rige para conexiones con carga cíclica, salvo las modificaciones del apéndice. El Apéndice 3 no establece restricciones sobre el método de producción de hoyos para pernos fuera de las contenidas en la AISC 360. Es importante reconocer, como se habló en el comentario del RCSC mencionado con anterioridad, que el tipo de conexión fijada con pernos (es decir, se produzca desplazamiento o no) determinará el punto de inicio potencial de grieta por fatiga. Las conexiones fijadas con pernos expuestas en el Apéndice 3 deben llevarse a cabo con pernos de alta resistencia instalados según requisitos de juntas de deslizamiento crítico.

Cuando se especifica el tipo apropiado de conexión fijada con pernos, el sistema PythonX debería resultar aceptable para la producción de hoyos para estructuras con carga cíclica.

El comentario del RCSC en su sección 3.2.2 establece que

“En el caso de las juntas con carga cíclica, los resultados de las pruebas han indicado que cuando no se produce un desplazamiento importante en la junta, la falla de fatiga por fricción suele producirse en la sección gruesa antes de la falla por fatiga en la sección de la malla (Kulak *et al.*, 1987, p. 116, 117). Por el contrario, cuando se produce deslizamiento en las juntas de conexiones con carga cíclica, la falla suele producirse en la sección de la malla y el borde del hoyo del perno pasa a ser el punto de inicio de la grieta (Kulak *et al.*, 1987, p. 118). Por lo tanto, en el caso de las juntas con carga cíclica diseñadas como juntas de deslizamiento crítico, el método utilizado para hacer hoyos para pernos (por corte térmico o taladrado) no

debería influir la carga de falla última, dado que la falla suele producirse en la sección gruesa cuando no se produce deslizamiento alguno”.

Las Especificaciones del RCSC, con aprobación del ingeniero, permiten el corte térmico de orificios para pernos con un sistema PythonX, y el comentario proporciona la justificación para el uso de hoyos hechos por corte técnico cuando se emplean conexiones de desplazamiento crítico.

Aplicaciones con carga sísmica

AISC 358-16 enumera nueve conexiones momentáneas de entramado que pueden usarse en edificios sin hacer otras pruebas y, por ende, se las identifica como precalificadas. Los requisitos generales para conexiones precalificadas se enuncian en los capítulos 1 a 4. Los requisitos específicos para conexiones precalificadas individuales se enuncian en los capítulos posteriores. Los requisitos generales de empernado para las conexiones momentáneas precalificadas están en el Capítulo 4 de dicha especificación. Ese capítulo no establece restricciones para los hoyos hechos por corte con plasma.

Los hoyos hechos por corte con plasma pueden usarse para las siguientes conexiones momentáneas precalificadas mencionadas en AISC 358-16:

- ▶ Conexión momentánea de la sección reducida de la viga (RBS)
- ▶ Conexiones momentáneas de plancha fijadas con pernos de extremo, extendida, endurecida y no endurecida
- ▶ Conexión momentánea soldada con brida no reforzada y alma soldada (WUF-W)
- ▶ Conexión momentánea de placa lateral
- ▶ Conexión momentánea de entramado fuerte y amarre fuerte Simpson

En el caso de la conexión momentánea precalificada en doble T, los hoyos para pernos de los cabos en T, y las bridas de viga deben taladrarse o subperforarse y abocardarse, lo cual excluye el corte térmico. No obstante, los hoyos para pernos de la anilla de cizalla y el alma de la viga pueden hacerse por corte térmico. En AISC 358-16 *no se establecen restricciones para el corte térmico de hoyos en la columna.*

La conexión momentánea de sección reducida de viga (RBS) no tiene restricciones con respecto a los hoyos hechos por corte con plasma y puede usarse el PythonX para cortar los hoyos para pernos de alma, los hoyos para acceso al alma y las secciones reducidas de viga asociadas con este detalle de conexión.

La conexión momentánea soldada con brida no reforzada y alma soldada (WUF-W) no tiene restricciones con respecto a los hoyos hechos por corte con plasma y el PythonX puede utilizarse para cortar los hoyos para pernos de alma así como los hoyos especiales para acceso al alma que se necesitan como parte de la condición precalificada de la conexión.

Además de las conexiones sísmicas en las cuales se permite usar hoyos hechos por corte térmico, AISC 358-16 restringe el método de producción de hoyos a taladrado, subperforación y escariado para estas conexiones:

- ▶ Conexión momentánea de la plancha de la brida fijada con pernos (BFP)
- ▶ Conexión momentánea de soporte fijado con pernos Kaiser (KBB)
- ▶ Conexión momentánea CONXTECH CONXL

Dada la naturaleza de estas conexiones, es poco probable que los componentes para la conexión momentánea de soporte fijado con pernos Kaiser o la conexión momentánea CONXTECH CONXL se hagan con un sistema PythonX. Si bien es recomendable hacer por corte térmico los hoyos para conexiones momentáneas de plancha de brida fijada con pernos, no se han llevado a cabo pruebas para determinar cuán apropiados son los hoyos hechos de esa manera.

En el caso de las conexiones momentáneas sísmicas no mencionadas en AISC 341, pueden llevarse a cabo pruebas de conformidad con la Sección K de AISC 358-16. Cuando se haga, el método de producción de hoyos es una “variable precalificada” (véase AISC 358-16, sección K1.4f(e)). Si los hoyos de la muestra de prueba se hacen por corte térmico, en la producción pueden emplearse hoyos hechos por corte térmico. Si en la muestra de prueba se usan hoyos taladrados, no pueden usarse hoyos hechos por corte térmico en la producción.

Normas canadienses

Aplicaciones con carga estática

CSA S16:2014 habla sobre hoyos hechos por corte térmico en la sección 28.4.3, Hoyos hechos por corte térmico, de la siguiente manera:

“Si el tamaño real del hoyo no supera el tamaño nominal de más de 1 mm en las estructuras con carga estática, pueden usarse hoyos hechos por corte térmico con máquina guiada. Es posible que se autoricen las perforaciones de no más de 1,5 mm de profundidad en los bordes de las perforaciones hechas por corte térmico. Los hoyos para sujetador hechos por corte manual solo pueden permitirse con la aprobación del diseñador”.

El PythonX es aceptable para producir hoyos para aplicaciones con carga estática según la norma CSA S16:2014.

Aplicaciones con carga cíclica

No se enumeran otros requisitos.

Aplicaciones con carga sísmica

La cláusula 28.4.2 de CSA S16:2014, Hoyos en bisagras de plástico, exige que los hoyos ubicados en una zona de bisagra de plástico se “subperforen y abocarden o se taladren a tamaño completo”. Para asegurarse de que los hoyos se subperforen y abocarden o se taladren, la cláusula 28.4.2 además exige que “dicho requisito se anote en los dibujos de diseño y los detalles de taller”.

Normas europeas

Aplicaciones con carga estática

Las normas europeas se refieren al corte de hoyos para pernos como “agujereado”. EN 1090-2:2018 en su sección 6.6.3 permite el agujereado; “pueden formarse mediante cualquier proceso (a saber, taladrado, perforación, láser, plasma u otro corte térmico)”. La sección 6.6.3 establece dos requisitos para el uso de una técnica: debe cumplirse con los requisitos de dureza y de calidad de la sección 6.4 y los hoyos deben permitir que los sujetadores pasen con holgura por los hoyos de los miembros montados.

EN1090-2 enumera una cantidad de tolerancias dimensionales relacionadas con el tamaño, la ubicación y el ángulo de corte del hoyo. Antes de comenzar con el agujereado, deben consultarse dichas tolerancias en EN1090-2.

El sistema PythonX puede utilizarse para hacer hoyos para pernos de conformidad con la norma EN 1090-2, siempre y cuando el procedimiento de corte sea cualificado (ver EN 1090-2 Anexo D) y los resultados de la prueba cumplan con los requisitos de dureza (si corresponde), de aspereza de la superficie y de conicidad.

Aplicaciones con carga cíclica

No se enumeran otros requisitos.

Aplicaciones con carga sísmica

No se enumeran otros requisitos.

Normas australianas y neozelandesas

Aplicaciones con carga estática

Las normas combinadas australianas y neozelandesas, al igual que las normas europeas, denominan a la perforación de hoyos como “agujereado”. AS/NZS 5131:2016 en su sección 6.7.1, Métodos de agujereado, permite “corte por máquina” o una cierta cantidad de opciones de perforación, taladrado y escariado diferentes para hacer hoyos para pernos. El corte por máquina incluye métodos de corte térmico descritos en la Sección 6.5.1, que dice:

“El material de acero puede cortarse con sierra, cizalla, biselado, máquina, corte térmico (incluido corte con láser o con plasma) o proceso de corte con agua, a menos que ciertos procesos se excluyan en virtud de la especificación de construcción u otra sección de la presente Norma”.

Cuando se construye según las normas australianas y neozelandesas, puede usarse el sistema PythonX para hacer hoyos.

Aplicaciones con carga cíclica

No se enumeran otros requisitos.

Aplicaciones con carga sísmica

Solo en el caso de Nueva Zelanda, la cláusula 6.13.2 de AS/NZS 5131:2016 exige que los hoyos para pernos en zonas de fluencia de categoría 1, 2 o 3 tengan una aspereza máxima (CLA) de 12 μm . Los hoyos para pernos de zonas de fluencia de puentes ferroviarios no deben hacerse a tamaño completo con “oxicorte”.

Normas japonesas

Aplicaciones con carga estática

Dado que Japón está en una zona con frecuente actividad sísmica, los edificios se construyen para resistir cargas sísmicas. No hay disposiciones específicas para las aplicaciones estáticas.

Aplicaciones con carga sísmica

Como se dijera con anterioridad, dado que Japón está en una zona con frecuente actividad sísmica, los edificios se construyen para resistir cargas sísmicas. JASS 6 (2007) en su sección 4.9 exige que todos los hoyos para pernos se taladren, con excepción de algunos hoyos perforados. Los edificios de acero típicos de Japón utilizan configuraciones de conexión fijada, con pernos que ubican muchos de sus hoyos para pernos en zonas de bisagra plástica, y en general no se permite hacer hoyos por corte térmico.

La sección 4.9, *Taladrado*, explica una excepción:

“En los hoyos con un diámetro de 30 mm o más, para tornillos de rosca, separadores de forma y tuberías de equipo y en los hoyos para conexiones de metal, trabajo de acabado interior y exterior y colocación de concreto, etc., puede emplearse corte por llama oxiacetilénica. La aspereza de los hoyos hechos por corte por llama oxiacetilénica no debe superar los 100 μmRz y la precisión del diámetro del hoyo debe estar dentro de los $\pm 2\text{ mm}$ ”.

No queda claro si esa excepción para los hoyos taladrados, hecha para el “corte por llama oxiacetilénica”, se extendería al corte con plasma. El usuario de esta Guía debe consultar con el ingeniero de registro u otra autoridad técnica la aplicabilidad de esta excepción cuando se la aplique al corte con un PythonX.

Aplicaciones con carga cíclica

En la actualidad los requisitos japoneses para aplicaciones con carga cíclica no están traducidos al castellano y, por lo tanto, no se los aborda en esta Guía.

Los usuarios de PythonX deben comunicarse con el ingeniero de registro u otra autoridad técnica para saber si se pueden hacer hoyos por corte con plasma para aplicaciones con carga cíclica.

Bordes cortados con plasma

Por varias razones, a la hora de considerar los bordes cortados, estos se deben diferenciar de los hoyos. Los bordes nunca están asociados con conexiones fijadas con pernos. Como lo muestra la exposición precedente, existen muchas reglas aplicables para los hoyos hechos por corte con plasma, en parte porque las conexiones fijadas con pernos se evaluaron en un principio con hoyos taladrados o perforados. El corte con plasma de hoyos para conexiones fijadas con pernos es un avance más reciente. Cuando se aborda el tema de los bordes cortados con plasma, la tecnología anterior no era el corte mecánico sino el oxicorte, otro proceso de corte térmico. La aceptación del corte con plasma como alternativa al oxicorte es menos compleja y, en general, la permiten la mayoría de las normas. Hay varias normas que imponen niveles de calidad y pueden especificar configuraciones geométricas (por ejemplo, dimensiones mínimas de radios).

Los bordes cortados con plasma caen dentro de una cierta cantidad de categorías diferentes. A los fines de esta Guía, se las separará en cuatro: bordes libres, penetración de alma, hoyo para acceso a la soldadura y cortes de viga. También habrá una sección separada de corte térmico de secciones reducidas de viga, un detalle en general asociado con aplicaciones sísmicas.

Bordes libres

El término “borde libre” se utiliza para identificar los lugares que forman un borde en el miembro, bien se trate de un alma o una brida, en lugar de referirse a un lugar que constituye una parte de una junta soldada. Los bordes de miembros, sometidos a corte térmico para ajustarlos a un ancho o una forma específicos o solo para ajuste “trim” para eliminar bordes cortados y laminados cuando es necesario, deben cumplir con los requisitos de calidad de las normas aplicables.

Normas estadounidenses

AISC 360-16 en su sección M2.2, Corte térmico, establece que los requisitos de AWS D1.1/D1.1M:2015 cláusulas 5.14.5.2, 5.14.8.3 y 5.14.8.4 se cumplen con las siguientes excepciones: los bordes libres con corte térmico no sometidos a fatiga deben no tener perforaciones con fondo redondeado de más de 3/16 pulg. [5 mm] de profundidad ni en talladuras marcadas en forma de V. Las perforaciones de un tamaño mayor al permitido deben corregirse mediante esmerilado o soldadura de reparación.

AWS D1.1/D1.1M:2015 en la cláusula 5.14.8 reconoce los “procesos de corte por arco eléctrico y perforación (incluido el corte por arco eléctrico con plasma y la perforación)”. Los cortes deben ser parejos y no deben tener grietas ni entalladuras. En el caso de estructuras con carga cíclica, el corte a mano libre solo se permite cuando el ingeniero lo aprueba.

AWS D1.1/D1.1M:2015 en su cláusula 5.14.8.3 establece los límites de aspereza de superficie indicados en la Tabla 3.

TABLA 3. AWS D1.1/D1.1M:2015 ASPEREZA MÁXIMA DE LA SUPERFICIE DE BORDES SOMETIDOS A CORTE TÉRMICO

Grosor del material		Aspereza máxima de la superficie Muestra de AWS C4.1-77
pulgada	mm	
hasta 4	hasta 100	3
4 a 8	100 a 200	2
extremos de los miembros [no sujetos a la carga de tensión calculada en los extremos]		2

Para conocer otros requisitos de margen de entalladuras, se recomienda al usuario de esta Guía consultar la cláusula 5.14.8.4 de AWS D1.1/D1.1M:2015.

Un sistema PythonX que funcione bien puede cumplir con los criterios de AWS D1.1. No es necesaria la aprobación del ingeniero en lo que respecta a estructuras con carga cíclica dado que PythonX no utiliza el “corte de mano libre”.

Normas canadienses

En la cláusula 28.2 de CSA S16-14, Corte térmico, se permite el corte térmico guiado con máquina, y los bordes de corte deben cumplir con los requisitos de CSA W59. CSA S16-14 en su cláusula 28.3.1 continúa diciendo que no es necesario aplanar ni acabar (es decir, someterla a maquinado o esmerilado) después del corte los bordes sometidos a corte térmico a menos que se indique en los dibujos o se estipule como preparación del borde para la soldadura.

CSA W59-18 en su cláusula 5.3.3 establece los límites de aspereza de superficie indicados en la Tabla 4.

TABLA 4. CSA W59-18 ASPEREZA MÁXIMA DE LA SUPERFICIE DE BORDES SOMETIDOS A CORTE TÉRMICO

Grosor del material		Asperidad máxima de la superficie	
mm	pulgada	µm	µin
hasta 100	hasta 4	25	1000
100 a 200	4 a 8 pulg.	50	2000
extremos de los miembros (no sujetos a la carga de tensión calculada en los extremos)		50	2000

Para conocer otros requisitos de margen de entalladuras, se recomienda al usuario de esta Guía consultar la cláusula 5.3.4 de CSA W59-18.

Un sistema PythonX que funcione bien puede cumplir con los criterios de CSA S16 y CSA W59.

Normas europeas

EN 1090-2:2018 en su sección 6.4.1 exige que el corte de los bordes libres cumpla con los requisitos de aspereza, geometría y dureza máxima de la superficie. Dice que “los métodos conocidos y reconocidos de corte son con sierra, cizalla, disco, chorro de agua y térmico”. El corte térmico a mano se limita a las situaciones en las cuales el corte térmico con máquina no es práctico.

EN 1090-2:2018 Tabla 9 establece los requisitos de aspereza de superficie que deben evaluarse mediante ISO 9013:2017, cláusula 7.2.3, según se muestra en la Tabla 5.

TABLA 5. EN 1090-2:2018 REQUISITOS DE ASPEREZA DE SUPERFICIE DE BORDES LIBRES

Clase de ejecución	Criterios
EXC1	Si se cortan los bordes para eliminar irregularidades importantes se quitará la escoria
EXC2, EXC3 y EXC4	Altura media del perfil, Rz5 = Rango 4 110 + (1,8 a), donde a = grosor de la pieza de trabajo en mm

EN 1090-2:2018 Tabla 9 también contiene criterios de aceptación de cuadratura, o perpendicularidad, de los bordes sometidos a corte térmico, con referencia a la subcláusula 7.2.2 de ISO 9013:2017. La Tabla 7 establece la tolerancia de perpendicularidad o de ángulo requerida, u. Consúltese toda clase de ejecución en la Tabla 6.

TABLA 6. EN 1090-2:2018 TOLERANCIA DE PERPENDICULARIDAD O ANGULARIDAD

Clase de ejecución	Criterios
EXC1	Si se cortan los bordes para eliminar irregularidades importantes se quitará la escoria
EXC2	Rango 5
EXC3 y EXC4	Rango 4

TABLA 7. ISO 9013:2017, TABLA 4 TOLERANCIA DE PERPENDICULARIDAD O ÁNGULO, U

Rango	Tabla 4 - Tolerancia de perpendicularidad o ángulo, u (mm)
1	0,05 + 0,003 a
2	0,15 + 0,007 a
3	0,4 + 0,01 a
4	0,8 + 0,02 a
5	1,2 + 0,035 a

a = grosor de pieza de trabajo

El corte por llama oxiacetilénica de oxicorte en general produce un borde cuadrado muy cercano a los 90°. Puede esperarse que el corte convencional con plasma produzca un borde cuadrado de $\pm 2^\circ$. Esos $\pm 2^\circ$ pueden mejorarse mediante el uso de corte mejorado con plasma y control de precisión del ángulo de la torcha. Son raras las ocasiones en las cuales la pequeña desviación de la cuadratura genera problemas de montaje.

El sistema PythonX puede mantener la conicidad por debajo de 1° , con el valor medio de $0,5^\circ$. Dado que el corte con plasma suele generar un leve bisel en una cara de corte y un borde relativamente cuadrado en la otra cara de corte, PythonX hacer todos sus cortes en el sentido de las agujas del reloj o de la izquierda a la derecha y, mediante un proceso patentado, ajusta el ángulo de la torcha de manera de mejorar la perpendicularidad de los hoyos. Una configuración global del PythonX permite invertir la dirección de corte.

EN 1090-2:2018 también limita la dureza de la superficie de los aceros al carbono con una tensión de estiramiento de 460 MPa o superior (65 ksi o superior) a un máximo de 450 (HV10). Cuando la dureza de esas superficies de borde libre supera dicho límite, se recomienda precalentar el acero antes del corte. Consúltase el método de prueba en la norma ISO 6507.

En el caso de las cargas cíclicas, EN 1090-2:2018 advierte que algunos métodos de corte pueden no ser apropiados para componentes sometidos a la fatiga. Si existe inquietud sobre la aplicabilidad de los bordes sometidos a corte térmico en una situación de fatiga, deben buscarse orientación en otros códigos y otras normas y debe consultarse al ingeniero de registro o a otra autoridad técnica.

Normas australianas y neozelandesas

Los métodos de corte que permite la cláusula 6.5.1 de la AS/NZS 5131:2016 son “sierra, cizalla, biselado, máquina, corte térmico (incluido corte con láser o con plasma) o proceso de corte con agua, a menos que ciertos procesos se excluyan en virtud de la especificación de construcción u otra sección de la presente Norma”.

AS/NZS 1554.1:2014 *Soldadura de aceros estructurales*, en la cláusula 5.1.2, hace referencia a AS 3990 *Equipo mecánico - Construcción metálica*, AS 4100 *Estructuras de acero* en lo que respecta a los requisitos

de bordes no incorporados a juntas soldadas. La Tabla 8. muestra los requisitos de aspereza de superficie indicados en AS/NZS 4100. AS/NZS 1554.4:2014 *Soldadura de Aceros Enfriados y Templados de Alta Resistencia* y *Soldadura de Estructuras de Acero Sometidas a Altos Niveles de Carga de Fatiga* emplea la misma terminología de AS/NZS 1554.1:2014 en lo referente a superficies de bordes sometidos a corte térmico y no incorporadas a una junta de soldadura.

TABLA 8. AS 4100 TABLA 14.3.3 ASPEREZA MÁXIMA DE LA SUPERFICIE DE CORTE

Aplicación	Aspereza máxima [CLA] [μm]
Aplicaciones normales, es decir, cuando la cara y los bordes no se someten a tratamiento posterior al corte o se los somete a acabado mínimo	25
Aplicaciones con fatiga [Categorías del detalle] - categoría de detalle ≥ 80 MPa - categoría de detalle < 80 MPa	12 25

Notas

- 1 Los valores de aspereza pueden calcularse por comparación con réplicas de superficie, por ejemplo, réplicas de superficie de oxicorte WTIA.
- 2 Las técnicas apropiadas de oxicorte se indican en la note técnica 5 de WTIA.
- 3 CLA = Método promedio de línea central [ver AS 2382].

Normas japonesas

JASS 6 (2007) en su sección 4.6 Corte y maquinado, punto (1), permite que el corte se haga por “...el método más apropiado, por ejemplo, por máquina, por llama oxiacetilénica o por plasma”. La sección 4.6 en sus puntos (3) y (4) exige que la aspereza de la superficie no sea superior a 100 μmRz y la profundidad de la perforación no supere 1 mm [1/32 pulg.]. Si alguno de esos elementos no cumple con dichos requisitos, los bordes pueden revestirse mediante esmerilado.

Penetraciones de alma y esquinas de entrante

Suelen exigirse penetraciones de alma para insertar conductos de calefacción, ventilación y aire acondicionado en edificios y además para brindar acceso a otros sistemas mecánicos, de plomería y eléctricos. En algunas estructuras, las penetraciones de alma se utilizan con fines arquitectónicos, para reducir el peso y para construcción con sistemas de viga especial o entramado de piso.

El corte de las penetraciones debe ajustarse con precisión a las dimensiones requeridas, sin quitar más material del necesario. La remoción excesiva de material debilita el miembro. Para reducir las concentraciones de carga de tensión y eliminar las entalladuras, las esquinas deben alisarse y redondearse.

Muchos de los requisitos que rigen para las penetraciones de alma y las esquinas de entrantes ya se han indicado en los requisitos para bordes libres con algunas excepciones que se explicarán aquí.

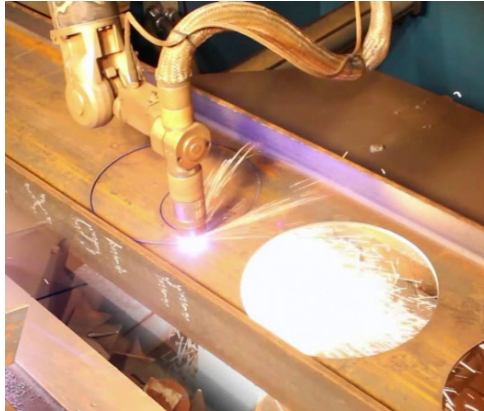


Figura 3. Ejemplos de penetración de alma

Normas estadounidenses

Los requisitos de AISC 360-16 M2.2, expuestos con anterioridad, rigen para las penetraciones de alma y las esquinas de entrante. Las esquinas de entrante deben tener una transición curva, pero no hay requisitos de radio mínimo. Se sugiere que, para las esquinas de entrante, resulta aceptable un radio de entre 1/2 y 3/8 pulg. (13 y 10 mm) cuando hay condiciones de carga estática.

AWS D1.1/D1.1M:2015 cláusula 5.15 aborda específicamente las esquinas de entrante. Se permite corte técnico y el radio de la esquina del entrante debe ser un 1 pulg. [25 mm] o mayor, excepto en las esquinas que estén conectadas con cortes del material o de la viga. El radio más amplio establece una transición pareja para el flujo de cargas de tensión del miembro. No es necesario esmerilar la superficie sometida a corte térmico, si bien se permite hacerlo para cumplir con los requisitos de aspereza de la superficie. No obstante, debe observarse que AISC 360-16 se opone a las cláusulas 5.14 y 5.15 de AWS D1.1/D1.1M:2015.

En el caso de miembros con carga cíclica, el Apéndice 3 de AISC 360-16 establece dos dimensiones de radios, cada una con una categoría de fatiga diferente (ver AISC 360-16, Tabla A-3.1, ejemplo 1.3). A las esquinas de entrante con un radio de 1 pulg. [25 mm] o más, esmeriladas para sacar brillo al metal, se les asigna una Categoría C de fatiga, mientras que a los radios de 3/8 pulg. [10 mm] o más se las detalla como Categoría E'. En el caso del detalla de la Categoría E', no es necesario esmerilar la superficie y la aspereza máxima de la superficie es de 1000 μin (25 μm), AWS C4.1 Muestra 3.

Normas canadienses

Al igual que las normas estadounidenses, la cláusula 28.2 de CSA S16:2014 permite el corte térmico de esquinas de entrante. El radio de dichas esquinas de entrante debe ser lo más grande posible, con un radio mínimo de 14 mm [9/16 pulg.] y no deben tener entalladuras. Eso también lo exige la cláusula 5.3.6 de CSA W59-18.

Normas europeas

En el caso de EN1090-2:2018, la exposición previa de esta Guía sobre bordes libres rige para las esquinas de entrante y las penetraciones para alma. En la sección 6.7, Cortes, hay otros requisitos de radio. Cualesquiera dos caras que se crucen en ángulos inferiores a los 180° se consideran esquinas de entrante. El radio mínimo de las esquinas es de 5 mm [3/16 pulg.]. La esquina debe ser redondeada y no se permite sobrecorte.

Normas australianas y neozelandesas

La cláusula 6.5.3 de AS/NZS 5131:2016 establece un radio mínimo de 10 mm [3/8 pulg.] y dice que no debe haber entalladuras en las esquinas de entrante. Las entalladuras que surjan durante el corte deben repararse. La cláusula 14.3.3 de AS 4100 exige el mismo radio mínimo de 10 mm.

Normas japonesas

JASS 6 (2007) no contiene disposiciones adicionales para el corte de penetraciones para alma fuera de las que se establecen para bordes sometidos a corte térmico.

Cortes para vigas

Los cortes para vigas permiten encajar una viga en una viga maestra de apoyo. Para hacer el corte, se corta la brida de la viga y una parte del alma de la viga.

La 15ta edición del *Manual de Construcción de Acero* del AISC, Figura 9-10 (ver Figura 4) recomienda cortar primero el alma, después cortar la brida con bisel para reducir el riesgo de dejar tal entalladura en la intersección de los dos cortes. Debe dejarse un radio en la esquina, si bien no se indica radio mínimo alguno.

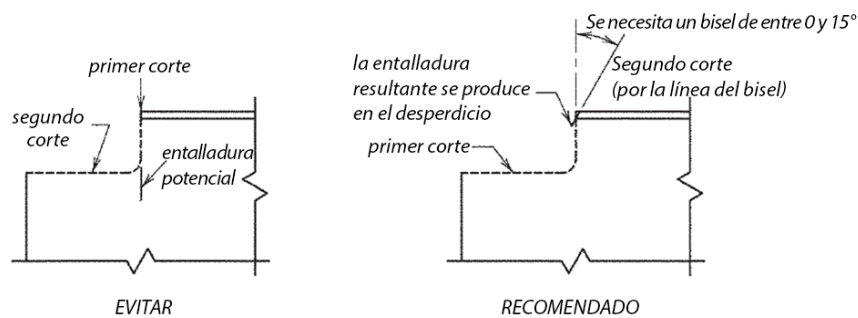
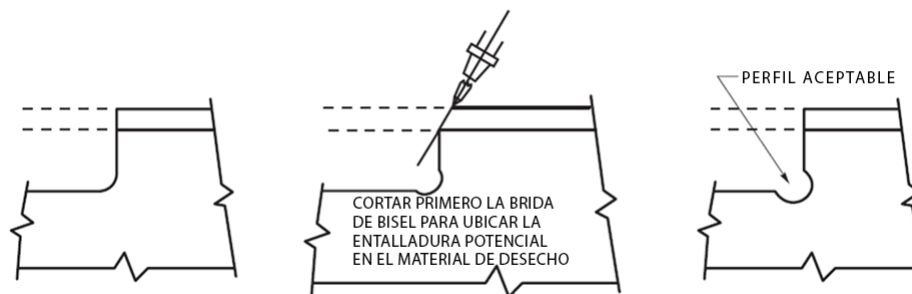


Fig. 9.9 Procedimientos recomendados de corte.

Cortesía del Manual de Construcción en Acero del American Institute of Steel Construction, Figura 9-10

Figura 4. Manual de Construcción en Acero del AISC Figura 9-10

Por otro lado, AWS D1.1/D1.1M:2015 en la Figura C-5.2 Ejemplos de Procedimientos Recomendados para Hacer Cortes, ilustra el corte de la brida primero con un bisel más marcado para reducir el riesgo de dejar una entalladura, dado que debe cortarse más material de alma para llegar a la ubicación del corte horizontal para el alma de la viga. Esta figura también muestra el uso de una intersección de radio amplio entre el corte de la brida y el corte del alma, que resulta en particular beneficioso si se está reparando una entalladura que dejó el corte (ver Figura 5).



Cortesía de American Welding Society AWS D1.1/D1.1M:2015 Figura C-5.2

Figura 5. AWS D1.1/D1.1M:2015, Figura C-5.2

La Figura 6 muestra los resultados de hacer un corte por llama oxiacetilénica de una viga mediante el procedimiento o la técnica inadecuados.

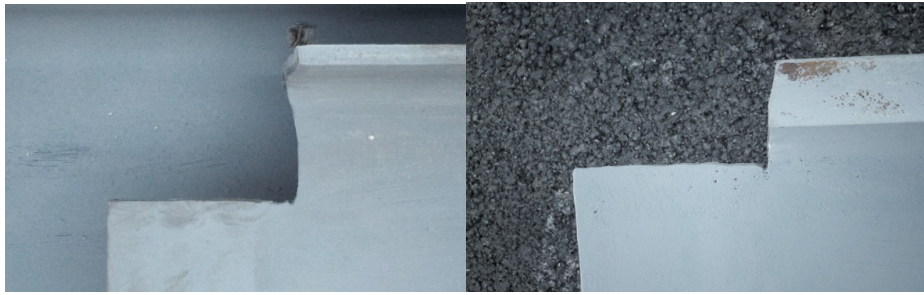


Figura 6. Procedimiento incorrecto de corte de viga

Los cortes de mala calidad de la Figura 6 pueden compararse con el corte controlado de viga de la Figura 7, hechos mediante corte con plasma mejorado y sometido a control numérico. Una ventaja adicional de ese corte controlado es que la profundidad del corte de la viga puede minimizarse, con lo cual se mantiene la profundidad máxima del material del alma de la viga para reducir así la necesidad de reforzar almas y mantener las distancias deseadas del borde del hoyo para perno.



Figura 7. Corte controlado de viga

Normas estadounidenses

En el caso de cortes de viga, AISC 360-16 establece los requisitos generales para bordes libres y esquinas de entrante sometidos a corte térmico según se describen en las secciones anteriores, con dos agregados:

- 1) En el caso de formas laminadas con un grosor de brida de no más de 2 pulg. (50 mm), la aspereza máxima de la superficie no debe superar los 2000 μin (50 μm) (AWS C4.1 Muestra 2).
- 2) En el caso de formas laminadas con un grosor de brida de más de 2 pulg. (50 mm) y las formas soldadas recrecidas con un grosor de material de más de 2 pulg. (50 mm), antes del corte térmico se necesita una temperatura precalentada de no menos de 150 °F (66 °C).

La aplicación de precalentado justo antes del corte es para reducir la dureza de la capa de la superficie.

AWS D1.1/D1.1M:2015 en su cláusula 5.15 Esquinas de entrante exime a los cortes de viga del requisito de radio mínimo de 1 pulg. [25 mm] que rige para otras esquinas de entrante. AISC 360-16 en su sección M2.2 objeta esta disposición.

AWS D1.1/D1.1M:2015 cláusula 5.16.3 Formas pesadas: en el caso de los cortes de viga usados en empalmes de miembros soldados, la superficie del corte de la viga debe esmerilarse para sacarle brillo al metal e inspeccionarse por prueba de partícula magnética (MT, por sus siglas en inglés) o prueba penetrante (PT, por sus siglas en inglés) antes de la deposición de las soldaduras de empalme. Ese requisito no se indica para los cortes de viga de AISC 360-16. En el caso de las formas que no sean pesadas y los lugares que no sean empalmes de soldadura, no es necesario esmerilar los cortes y no es necesario emplear métodos de PT o MT para inspeccionarlos.

En el caso de miembros con carga cíclica, el Apéndice 3 de AISC 360-16 establece dos dimensiones de radios, cada una con una categoría de fatiga diferente (ver AISC 360-16, Tabla A-3.1, ejemplo 1.3). A los cortes con un radio de 1 pulg. [25 mm] o más, esmeriladas para sacar brillo al metal, se les asigna una Categoría C de fatiga, mientras que a los radios de 3/8 pulg. [10 mm] o más se las detalla como Categoría E'. En el caso del detalle de la Categoría E, no es necesario esmerilar la superficie cortada y la aspereza máxima de la superficie es de 1000 μin (25 μm), AWS C4.1 Muestra 3.

Normas canadienses

CSA S16-14 no contiene criterios específicos para cortes de viga fuera de las aplicaciones con carga cíclica (fatiga). CSA W59-18 en su cláusula 5.3.7, Cortes de viga y hoyos de acceso a la soldadura, exige que los radios de los cortes de la viga establezcan una transición pareja, sin entalladuras ni cortes más allá de los puntos tangenciales. La aspereza de la superficie debe cumplir con los mismos criterios que se siguen para los bordes libres.

En el caso de los miembros con carga cíclica, la Tabla 9 de CSA S16-14 establece una Categoría de Detalle E1 para esquinas de entrante de cortes con un radio de 35 mm [1-3/8 in.] o más a los que se esmerile para suavizar.

Normas europeas

EN 1090-2:2018 no contiene otros requisitos específicos adicionales para cortes de viga. En la norma se utiliza el término “corte”, pero se aplica a un detalle entre el nervio y las crucetas, utilizado para planchas ortótropa de tabla prefabricada.

Normas australianas y neozelandesas

AS.NZS 5131:2016, en su Tabla F2.2, Elementos de Fabricación de Componentes y Miembros, contiene la tolerancia de la precisión de los cortes de viga en miembros, la cual incluye la profundidad y la longitud del corte. No hay límites de “tolerancias esenciales” fuera de los necesarios para cumplir con los supuestos de diseño de la estructura en términos de capacidad y estabilidad de diseño. En lo referente a las “tolerancias funcionales”, dado que pueden necesitarse para el ajuste y la apariencia, en lo que respecta a la Clase 1, la condición predeterminada (por lo general para las Categorías de Construcción 1 y 2), la tolerancia de la profundidad y la longitud de corte son de +0, -3 mm. En el caso de la Clase 2, recomendada pero no obligatoria para las Categorías de Construcción 3 y 4, la tolerancia de profundidad y longitud de corte son de +0, -2 mm.

Normas japonesas

JASS 6 (2007) no contiene requisitos para cortes hechos por medios térmicos fuera de los requisitos generales de corte térmico expuestos con anterioridad.

Hoyos de acceso a la soldadura

Los hoyos de acceso a la soldadura tienen el propósito de brindar acceso adecuado para hacer soldaduras de calidad en toda la brida de una sección de viga o columna y minimizar al mismo tiempo la interferencia del alma. Se sabe que cuando los hoyos de acceso a la soldadura son pequeños o no están se producen defectos de soldadura importantes cerca de la intersección de la brida con el alma.

Normas estadounidenses

AISC 360-16 en su sección J1.6, Hoyos de acceso a la soldadura, enumera diez requisitos , entre ellos:

- ▶ el hoyo de acceso debe no tener entalladuras y esquinas de entrante marcadas (punto e),
- ▶ los hoyos deben tener un radio de 3/8 pulg. [10 mm] o más (punto f) y
- ▶ en el caso de las formas pesadas, la superficie cortada debe esmerilarse para sacar brillo al metal (punto i).

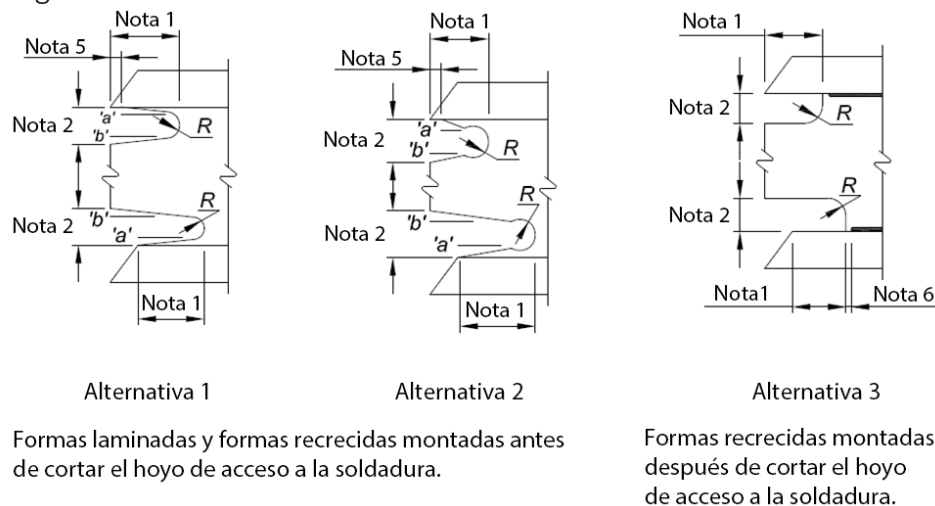
En el caso de los hoyos de acceso a la soldadura en formas con una brida de 2 pulg. [50 mm] o menos de grosor, la aspereza de las superficie del borde sometido a corte térmico se limita a un máximo de 2000 μ in [50 μ m].

AISC 360-16 en su sección A3.1(c) y (d) define las formas pesadas como formas laminadas en caliente con un grosor de brida de más de 2 pulg. [50 mm] y formas recocidas con planchas de más de 2 pulg. [50 mm]. En el caso de esas planchas y formas pesadas, la sección M2.2 exige que se aplique una temperatura de precalentamiento mínima de 150 °F [66 °C] antes del corte térmico. Después de haber cortado los hoyos de acceso de las formas pesadas, la superficie debe esmerilarse para sacar brillo al metal.

Para cumplir con dichos requisitos durante el uso de un PythonX, el acero puede precalentarse de forma manual antes del corte. Después del corte, los hoyos de acceso pueden esmerilarse a mano para sacar brillo al metal.

Deben tomarse recaudos adicionales cuando se hagan cortes térmicos en miembros que se galvanicen por inmersión en caliente. Deben tomarse medidas para reducir el Agrietamiento Producido por el Metal Líquido (LMAC, por sus siglas en inglés, también conocido como Fragilidad de Metal Líquido [LME, por sus siglas en inglés]).

En el comentario de AISC 360-16, Fig. C-J1.2, geometría de hoyo de acceso a la soldadura, se brindan los detalles típicos para hoyos de acceso a soldadura para juntas de columna de viga, como se muestra en la Figura 8.



Notas: Se trata de detalles típicos para juntas soldadas de un lado contra el soporte de acero. En el texto del comentario se exponen detalles alternativos.

1. Longitud: El mayor de $1,5 t_w$ o 1-1/2 pulg. (38 mm)
2. Altura: El mayor de $1,0 t_w$ o 3/4 pulg. (19 mm) pero de no más de 2 pulg. (50 mm)
3. R: 3/8 pulg. min. (10 mm). Esmerilar las superficies sometidas a corte térmico de hoyos de acceso a la soldadura de formas pesadas según se define en las secciones A3.1(c) y (d).
4. La inclinación "a" forma una transición desde el alma a la brida. La inclinación "b" puede ser horizontal.
5. La parte inferior de la brida superior debe contornearse para permitir que encajen ajustadas las barras de soporte cuando corresponda utilizarlas.
6. La soldadura del alma a la brida de los miembros recocidos debe mantenerse retraída a una distancia de al menos el tamaño de la soldadura con respecto al borde del hoyo de acceso.

Cortesía de American Institute of Steel Construction AISC 360-16 Figura C-J1.2

Figura 8. AISC 360-16 geometría del hoyo de acceso a la soldadura

AWS D1.1/D1.1M:2015 en su cláusula 5.14.8 permite el corte con plasma de material "para su uso en la preparación, el corte o el ajuste "trim" de materiales". La cláusula 5.16 aborda la forma y las dimensiones de los hoyos de acceso a la soldadura. Dicha cláusula, como otras cláusulas del código,

prohíbe las entalladuras. Los hoyos de acceso a la soldadura deben brindar una transición pareja. La Figura 5.2 de AWS D1.1/D1.1M:2015, según se muestra en la Figura 9, ilustra las diferentes geometrías permitidas para los hoyos de acceso a la soldadura.

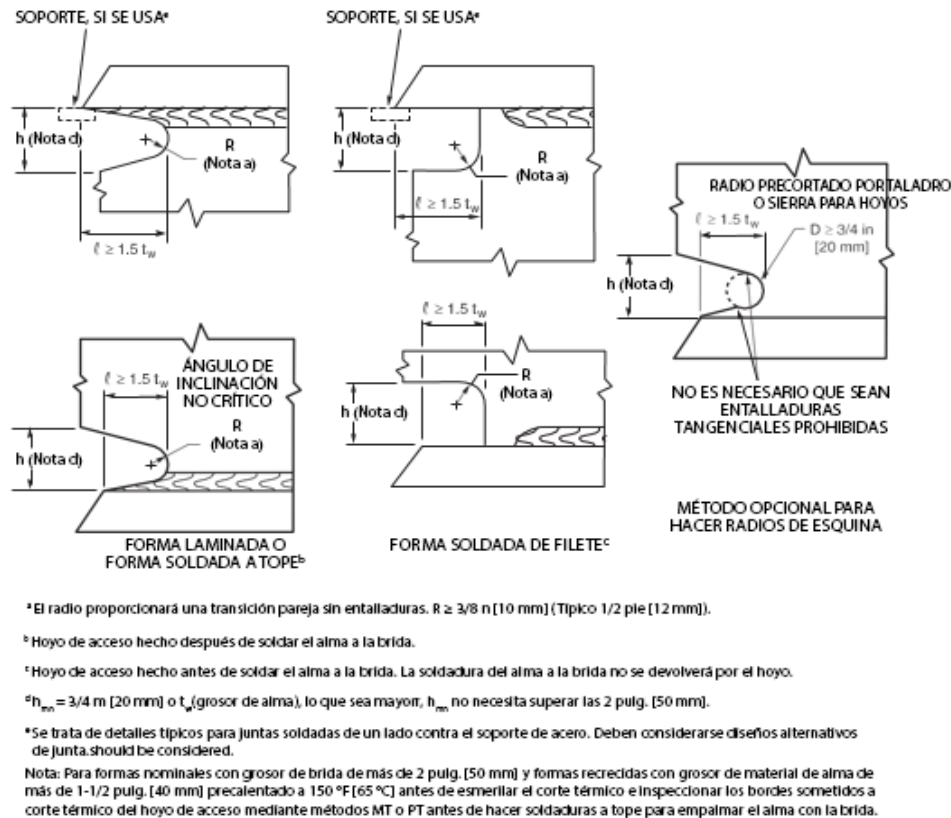


Figura 5.2-Geometría de hoyo de acceso a la soldadura (ver 5.16.1.2)

Reimpresión cortesía de American Welding Society AWS D1.1/D1.1M:2015 Figura 5.2

Figura 9. AWS D1.1/D1.1M:2015 geometrías del hoyo de acceso a la soldadura

De conformidad con AWS D1.1/D1.1M:2015 en su cláusula 5.16.3, debe aplicarse una temperatura de precalentamiento de 150 °F [65 °C] donde vayan a cortarse formas pesadas, definidas como formas laminadas con bridas de más de 2 pulg. [50 mm] y en las secciones soldadas con planchas de más de 2 pulg. [50 mm]. La superficie cortada también debe esmerilzarse para sacar brillo al metal e inspeccionarse mediante MT o PT. Dicho requisito no se extiende a otras formas, por ejemplo, a material más delgado.

Para cumplir con dichos requisitos durante el uso de un PythonX, el acero puede precalentarse de forma manual antes del corte. Después del corte, los hoyos de acceso pueden esmerilarse a mano para sacar brillo al metal.

En lo referente a las cargas sísmicas altas, AISC 341-16 en su sección A4.2(1) exige que los dibujos de diseño y las especificaciones de construcciones indiquen la forma del hoyo de acceso a la soldadura si se emplea una forma distinta a la establecida en AISC 360-16. El comentarios sobre la sección A4.2(l) explica que “los análisis y las investigaciones sobre el uso de hoyos de acceso a la soldadura han demostrado que la forma del hoyo puede tener un efecto importante en el comportamiento de las conexiones momentáneas”. Los sistemas de Entramado Momentáneo Común (OMF, por sus siglas en inglés) exigen que la forma y las dimensiones del hoyo de acceso a la soldadura cumplan con la norma AWS D1.8. AISC 341-16 en su sección J6.2d. También exige que las perforaciones hechas por corte térmico y los hoyos de acceso se sometan a pruebas de partículas magnéticas o pruebas penetrantes cuando el grosor de la brida es de más de 1-1/2 pulg. [38 mm].

AWS D1.8:2016 no aborda de manera directa el proceso con el cual puede hacerse un hoyo de acceso pero, dado que AWS D1.8 es un complemento de AWS D1.1, rige la cláusula 5.14.8 de AWS D1.1/D1.1M:2015 y, por ende, se permite el corte con plasma. AWS D1.8 en su cláusula 6.11.1 contiene una opción adicional de hoyo de acceso a la soldadura que el contratista puede utilizar en lugar de las geometrías contenidas en la norma AWS D1.1/D1.1M:2015 o en la AISC 360. Una reimpresión de AWS D1.8 Figura 6.2 ilustra esa opción (ver Figura 10).

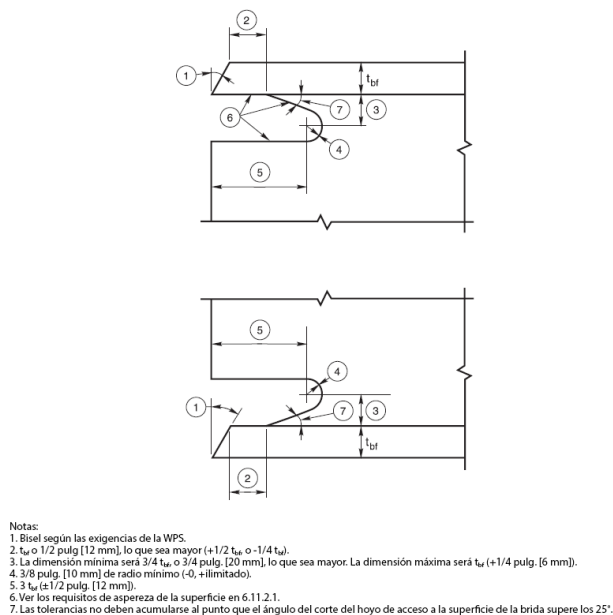


Figura 6.2-Geometría alternativa-Detalle de hoyo de acceso a la soldadura de la brida de la viga (ver 6.11.1.2)

Reimpresión cortesía de American Welding Society AWS D1.8/D1.8M:2016 Figura 6.2

Figura 10. AWS D1.8 geometría alternativa de hoyo de acceso a soldadura

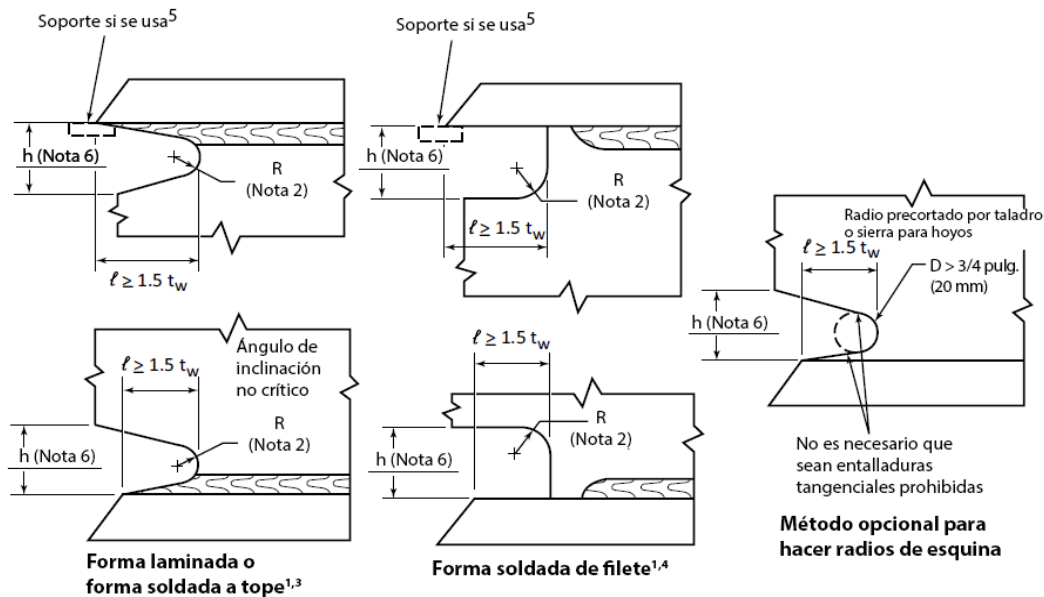
AWS D1.8 en su cláusula 6.11.2 Requisitos de calidad para acceso a la soldadura exige un acabado de superficie de no más de 500 μin [13 μm] con excepción de los hoyos de acceso que solo necesitan cumplir con la geometría de AWS D1.1. La muestra 4 de AWS C4.1 puede usarse como guía para aspereza de superficie de 500 μin [13 μm]. Las cláusulas 6.11.2.2 y 6.11.2.3 permiten el esmerilado para eliminar perforaciones replegadas a una inclinación de no más de 1:5 o, en la parte curvada del hoyo de acceso a la soldadura, a un radio de no menos de 3/8 pulg. [10 mm]. Se permite reparar con soldadura las entalladuras amplias que no pueden repararse mediante esmerilado, siempre y cuando se siga el procedimiento adecuado de precalentamiento y el de soldadura de reparación. Después de la reparación por soldadura, debe esmerilarse toda la zona hasta lograr un acabado liso.

Normas canadienses

CSA W59-18 en su cláusula 5.3.7 Cortes para viga y hoyos de acceso a la soldadura exige que no haya entalladuras ni perforaciones en la superficie cortada de los hoyos de acceso a la soldadura y que dicha superficie cumpla con los requisitos de la cláusula 5.3.3, los criterios aplicados a los bordes libres. Además, la cláusula 5.3.8 Dimensiones del hoyo de acceso a la soldadura repite el requisito de falta de entalladuras y agrega el requisito de que no haya esquinas de entrante marcadas, salvo cuando se usen soldaduras de filete de alma a brida en formas recrecidas, caso en el que los hoyos de acceso pueden terminar perpendiculares a la brida. En dicho caso, las soldaduras de filete no deben volver a pasarse por el hoyo de acceso a la soldadura.

La Figura 11 muestra las dimensiones de los hoyos de acceso a la soldadura.

Figura 5.1
Dimensiones de hoyo de acceso a la soldadura
 (Ver Cláusula 5.3.8)



Notas:

- 1) Para las formas del Grupo 4 y el 5 de ASTM A6/A6M y CSA G40.20 y las formas recrecidas soldadas con grosor de material de alma de más de 38 mm (1-1/2 pulg.), precalentadas a 65 °C (150 °F) antes del corte térmico y esmerilar e inspeccionar los bordes sometidos a corte térmico del hoyo de acceso mediante métodos de partículas magnéticas o líquidos penetrantes antes de hacer las soldaduras de empalme del alma con la brida.
- 2) El radio proporcionará una transición pareja sin entalladuras $R \geq 10$ mm (3/8 pulg.) [típico 12 mm (1/2 pulg.)].
- 3) Abertura de acceso hecha después de soldar el alma a la brida.
- 4) Abertura de acceso hecha antes de soldar el alma a la brida. Soldadura no devuelta por la abertura.
- 5) Se trata de detalles típicos para juntas soldadas de un lado contra el soporte de acero. Deben considerarse diseños alternativos de junta.
- 6) $h_{min} = 220$ mm (3/4 in) o grosor de alma (t_w por sus siglas en inglés), lo que sea mayor.

Cortesía de Canadian Standards Association CSA W59-18 Figura 5.1

Figura 11. CSA W59-18 geometría de hoyo de acceso a la soldadura

CSA W59-18 en su cláusula 5.3.9 aborda las formas del Grupo 4 y el 5 y dice que los bordes sometidos a corte térmico de las formas y los miembros recrecidos del Grupo 4 y el 5 de CSA G40.20 y ASTM A6/A6M con material de alma con un grosor superior a los 38 mm [1-1/2 pulg.] deben esmerilarse e inspeccionarse con pruebas de partículas magnéticas y con líquidos penetrantes. Dicho requisito de esmerilado e inspección no rige para los orificios de acceso a la soldadura de otras formas.

Normas europeas

EN 1090-2:2018 no contiene requisitos para hoyos de acceso a la soldadura fuera de los requisitos generales de corte térmico expuestos con anterioridad.

Normas australianas y neozelandesas

AS/NZS 5131:2016, AS 4100-1998 (R2016) y NZS 3404.1 (2007) no contienen requisitos para hoyos de acceso a la soldadura fuera de los requisitos generales de corte térmico expuestos con anterioridad.

Normas japonesas

Las normas japonesas denominan a los hoyos de acceso a la soldadura “festones”. Según la cláusula 4.5 de JASS 6 sobre festones, cuando no hay Notas Especiales, el festón debe cumplir con requisitos dimensionales específicos. El radio general del hoyo de acceso debe ser de alrededor de 35 mm [1-3/8 pulg.] y el radio más pequeño de la punta del hoyo de acceso debe ser de 10 mm [3/8 pulg.] o más. Las Notas Especiales son documentos de contrato que pueden establecer requisitos alternativos o adicionales sobre la preparación o las dimensiones del festón.

Los festones pueden cortarse con una fresadora o una máquina manual de oxicorte con accesorio”. Cuando se hace oxicorte manual, la superficie cortada debe esmerilarse para que quede lisa. En otra sección de JASS 6 se hace referencia explícita al corte con plasma. Dado que no se dice de manera explícita que el corte con plasma sea un proceso aceptable para el festoneo, el usuario de esta Guía debe consultar con el ingeniero de registro u otra autoridad técnica responsable del proyecto y solicitar que se autorice el corte con plasma en lugar del oxicorte.

Corte de secciones reducidas de la viga

Las secciones reducidas de la viga, también conocidas como RBS por sus siglas en inglés y como “huesos de perro”, son bridas de viga sometidas a corte especial y utilizadas en entramados momentáneos específicos resistentes a sismos. La RBS es una de las conexiones que tiene condición precalificada de conexión momentánea en AISC 358-16. Además se utilizan en algunas aplicaciones para mejorar la ductilidad de miembros y conexiones para cargas de explosión cuando se ha optado por emplear conexiones sísmicas para tales fines.



Figura 12. Ejemplo de un borde cortado de RBS

Todo el sistema se prescribe en el Capítulo 5 Conexión Momentánea de Sección Reducida de Viga (RBS) de AISC 358-16, y la Figura 5.1 de la norma ilustra el detalle que se muestra en la Figura 13.

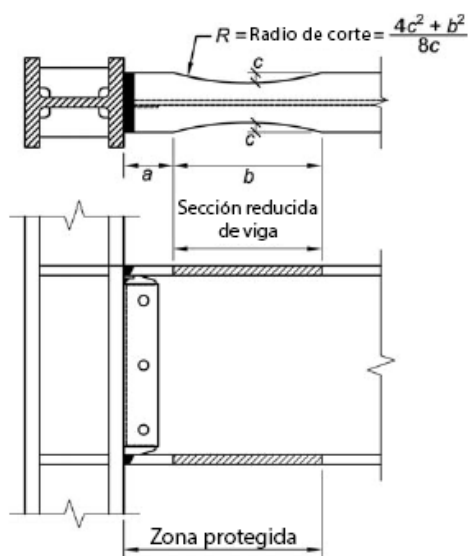


Fig. 5.1 Conexión de secciones reducidas de viga.

Cortesía de American Institute of Steel Construction AISC 358-16 Fig. 5.1

Figura 13. Detalle de conexión de RBS

AISC 358-16 en su sección 5.7 Fabricación de cortes de brida, brinda los requisitos detallados, incluidos el perfil Ra de aspereza máxima de superficie de 500 μin [13 μm], las limitaciones de los cortes y las tolerancias de la precisión de las dimensiones de corte.

Fatiga y corte con plasma

El diseño de miembros cuyos bordes se someten a corte térmico se ha abordado en las principales normas de construcción en acero. Los términos específicos empleados en dichas normas varían, pero las consideraciones son similares bien se trate de oxicorte, corte con plasma u otro proceso de corte térmico. Se hacen distinciones en algunas de las normas, pero no en todas.

American Institute of Steel Construction

Bordes sometidos a corte térmico

En el caso de fatiga en edificios y estructuras similares, AISC 360-16, Apéndice 3 Fatiga, Sección 3.5 Requisitos de fabricación y construcción para fatiga, exige que “la aspereza de superficie de los bordes sometidos a corte térmico y sujetos a rangos de tensión cíclica, que incluyan tensión, no debe superar los 1000 μin [25 μm]”. ASME B46.1 Textura de superficie, aspereza de superficie, factor de ondulación y trenza se da como norma de referencia para la medición de la aspereza de la superficie, pero AWS C4.1 Muestra 3 suele usarse para evaluar la aspereza de la superficie al valor indicado.

El Apéndice 3, Tabla A-3.1 Parámetros de diseño para fatiga, emplea el término histórico “bordes sometidos a oxicorte” en lugar de usar bordes sometidos a corte térmico, pero otro texto sugiere que la Especificación y el Apéndice indicarían que los “bordes sometidos a oxicorte” incluirían aquellos sometidos a corte con plasma. Sección 1 Material simple proveniente de cualquier soldadura, Punto 1.1 asigna la carga de tensión de Categoría A al metal de base sin esquinas de entrante, excepto el acero resistente a la intemperie sin revestimiento, con bordes sometidos a “oxicorte” con un valor de aspereza de superficie de 1,000 μin [25 μm] o menos, la misma carga de tensión de Categoría de las superficies con bruto de laminación o limpias. Si el metal de base es acero resistente a la intemperie sin revestimiento, la carga de tensión de Categoría es B, de conformidad con el punto 1.2. Ver Figura 14.

En las estructuras de puentes de carreteras, debe aplicarse la sección 6, Estructuras de acero, de la *Especificación de diseño de puentes de LRFD de AASHTO* en lugar de la AISC. En el caso de las estructuras de puentes ferroviarios, debe usarse el capítulo 15, Estructuras de acero, del *Manual de AREMA para ingeniería ferroviaria*. Tanto AASHTO como AREMA emplean el término “oxicorte” en lugar de usar corte térmico.

La tabla 9 contiene recomendaciones de la investigación que llevaron a cabo Hobbacher (Hobbacher, 2016) y García y Cicero (García y Cicero, 2016) sobre los valores de diseño para fatiga en referencia a los bordes sometidos a corte con plasma para las Especificaciones de AASHTO. Dichas recomendaciones sugieren reducir la carga de tensión de Categoría A mencionada arriba a la carga de tensión de Categoría B o B’.

TABLA 9. RECOMENDACIONES DE HOBACHER Y DE GARCÍA Y CICERO

	Categoría actual	Categoría propuesta
Bordes sometidos a oxicorte Aspereza de superficie 25,4µm [1000 µpulg.] o menos	A	
Bordes sometidos a oxicorte Aspereza de superficie de 45µm [1780 µin.] o menos		B'
Bordes cortados con plasma Grosor de 25 mm [1 pulg.] o menos, Rz5 ≤ 10 µm		B

Esquinas de entrante, hoyos de acceso a soldadura y cortes para vigas

En el caso de aplicaciones sometidas a fatiga, el Apéndice 3 de la sección 3.5 de la norma AISC 360-16 permite hacer hoyos de acceso a la soldadura mediante corte térmico: “Las esquinas de entrante de los cortes y los hoyos de acceso a la soldadura deben formar un radio no inferior al indicado en la Tabla A-3.1 mediante taladrado previo o subperforación y abocardado de un hoyo o mediante corte térmico para formar el radio del corte”. El comentario del Apéndice 3.5 explica los fundamentos del requisito de 1000 µin [25 µm]:

“Los estudios experimentales sobre vigas soldadas recrecidas demostraron que si la aspereza de la superficie de los bordes sometidos a oxicorte era inferior a 1000 µin [25 µm], no aparecen grietas de fatiga desde el borde sometido a oxicorte sino desde las soldaduras de filete longitudinales que conectan los rebordes de la viga al alma (Fisher et al., 1970, 1974). Eso brinda resistencia a fatiga de carga de tensión de Categoría B sin la necesidad de esmerilar los bordes sometidos a oxicorte”.

Además, las esquinas de entrante de los cortes, incluidos tapones y otras discontinuidades geométricas, bien se hagan por corte térmico o por otros medios, deben tener un radio no inferior al radio indicado en AISC 360-16 Apéndice 3, Tabla A-3.1. En el caso de la carga de tensión de Categoría C, el radio debe ser de al menos 1 pulg. [25 mm] y la superficie sometida a corte térmico debe esmerilarse para sacar brillo al metal. Sin esmerilado para sacar brillo al metal, la carga de tensión de Categoría es E', y en este caso se permite un radio mínimo de 3/8 pulg. [10 mm] (ver el Punto 1.3). A los hoyos de acceso a la soldadura que cumplen con la sección J1.6 de formas laminadas se les aplican las mismas disposiciones (ver Punto 1.4). No obstante, si el hoyo de acceso a la soldadura se utiliza en miembros con recrecida en lugar de en formas laminadas, en lugar de la carga de tensión de Categoría C se emplea la carga de tensión de Categoría D (ver Punto 3.3).

Cabe observar que la Tabla A-3.1, Sección 6 Metal de base en las conexiones de travesaños transversales soldados, exige que se esmerile el extremo soldado y dice que no es necesario esmerilar el borde sometido a corte térmico del accesorio (ver Puntos 6.1 a 6.4). De manera similar, en el caso del Punto 7.2 de la sección 7 Metal de base en accesorios cortos, solo es necesario esmerilar el extremo de la soldadura.

Hoyos para pernos

El margen de hoyos para pernos sometidos a corte térmico para aplicaciones con carga cíclica según las disposiciones del RCSC se trató más arriba (ver páginas 21-22).

AISC 360-16, en su Apéndice 3 Fatiga, Tabla A-3.1 Parámetros de diseño de fatiga, aborda las conexiones fijadas con pernos en la sección 2 Material conectado de juntas ajustadas por medios mecánicos. Cuando se emplean y tensan previamente los pernos de alta resistencia, con superficies de fricción preparadas para brindar resistencia a deslizamientos como Clase A o B, la carga de tensión de Categoría B se emplea para el metal de base que rodea el hoyo para pernos (ver Puntos 2.1 y 2.2). Dicha condición incluye los hoyos para pernos sometidos a corte con plasma que cumplen con los requisitos de AISC para hoyos sometidos a corte térmico (AISC 360-16, Sección M2.5).

Si el perno se pretensa, pero la superficie de fricción no se prepara para la resistencia al deslizamiento según la Clase A o B y se taladra o abocarda el hoyo, se emplea la carga de tensión de Categoría C (ver Punto 1.5).

Si el hoyo se perfora o se abocarda y no se coloca perno alguno en él, se emplea la carga de tensión de Categoría D (ver Punto 1.5).

Si el perno se instala solo en una condición sin holgura, la nota de las figuras del Punto 2.3 indicaría que puede usarse la carga de tensión de Categoría C, que en un principio se usó para juntas remachadas. La descripción escrita del Punto 2.3 solo incluye las juntas remachadas. La inclusión de juntas sin holgura, sin disposiciones sobre el método de perforación del hoyo, como carga de tensión de Categoría C, al igual que en lo referente a los pernos pretensados de hoyos taladrados o abocardados, parece no ser conservadora. Hasta haber resuelto dicho tema, se sugiere que toda conexión con perno ajustado solo en una condición sin holgura se considere como:

- 1) Un hoyo abierto similar a los hoyos de barras con ojo del Punto 2.4 (debe emplearse la carga de tensión de Categoría E).
- 2) Una discontinuidad geométrica con radio superior a 3/8 pulg. [10 mm] que no se haya esmerilado (abocardado) para sacarle brillo al metal, según se describe en el Punto 1.3, (debe emplearse la carga de tensión de Categoría E).

Esta última recomendación concuerda con las recomendaciones de la investigación hecha con una plancha con un grosor de 1/2 pulg. [12,7 mm] (inédita a la fecha de la presente publicación) de que se emplee una carga de tensión de Categoría E' para los pernos no pretensados en juntas con apoyo de cizalla hechas mediante hoyos para pernos realizados con corte por plasma de alta definición. Como se observa más abajo, otra investigación ha recomendado emplear para dicha situación la carga de tensión de Categoría E.

En las estructuras de puentes de carreteras, debe aplicarse la sección 6, Estructuras de acero, de la *Especificación de diseño de puentes de LRFD de AASHTO* en lugar de la AISC. Las investigaciones de García y Cicero (García y Cicero, 2016) han recomendado los valores de diseño para fatiga de la Tabla 10 para los hoyos para pernos sometidos a corte térmico según las especificaciones de AASHTO, pero debe observarse que dichos valores son para hoyos abiertos sin pernos y regirían solo para hoyos abiertos y conexiones con pernos que no estén pretensadas.

TABLA 10. CATEGORÍAS RECOMENDADAS DE FATIGA PARA HOYOS ABIERTOS Y PARA HOYOS CON PERNOS SIN HOLGURA

	Categoría actual	Categoría propuesta
Hoyos taladrados o perforados y abocardados	D	Sin cambio propuesto
Hoyos sometidos a oxicorte Grosor de 25 mm [1 pulg.] o menos	No abordado	C
Hoyos cortados con plasma Grosor de 25 mm [1 pulg.] o menos	No abordado	E

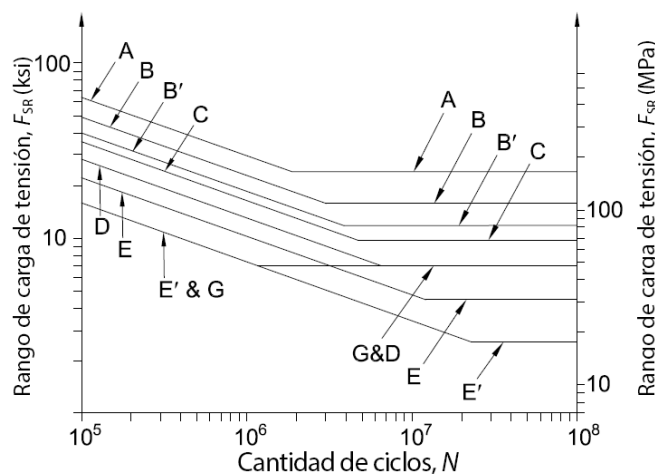


Fig. C-A-3.1 Curvas de resistencia a la fatiga.

Cortesía de American Institute of Steel Construction AISC 358-16 Fig. C-A-3.1.

Figura 14. AISC 360 curvas de fatiga

Canadá

Bordes sometidos a corte térmico

CSA S16-14, en su cláusula 26, Fatiga, establece los requisitos de fatiga. La tabla 9 de CSA S16, Categorías de detalle para fatiga inducida por cargas, brinda categorías de detalle equivalentes a las clasificaciones de carga de tensión de AISC. En el caso de los bordes sometidos a corte térmico, las clasificaciones son idénticas a las de AISC.

Hoyos para pernos

CSA S16-14 en su subcláusula 28.4.3, Hoyos sometidos a corte térmico, limita dichos hoyos a estructuras con carga estática y, por ende, los hoyos hechos por corte con plasma no pueden emplearse para aplicaciones con fatiga. En las aplicaciones sometidas a fatiga, los hoyos pueden perforarse (dentro de ciertos límites), subperforarse, subtaladrarse y abocardarse o taladrarse, de conformidad con la subcláusula 28.4.1 Hoyos taladrados y perforados.

Europa

Bordes sometidos a corte térmico

Eurocode 3, EN 1993 Diseño de estructuras de acero, Parte 1-9: Fatiga, brinda lo que se denomina “Categorías de detalle”, con frecuencia mencionadas como Categorías FAT a modo de abreviación de “categorías de Fatiga”. Cuanto más alto es el valor, que se basa en el rango de carga de tensión permitida (en MPa) a 2.000.000 de ciclos, mayor es el rango de carga de tensión permitido.

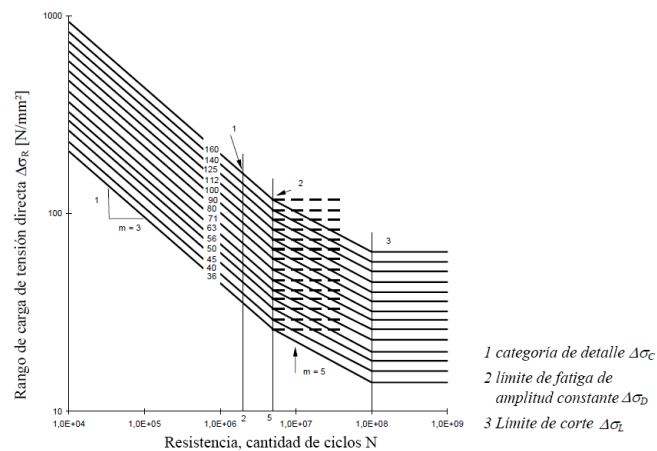


Figura 7.1: Curvas de resistencia a la fatiga de rangos de carga de tensión directa

Cortesía de EN 1993-1-9:2005 Figura 7.1

Figura 15. EN 1993-1-9:2005 curvas de fatiga

Hay dos categorías de FAT para los bordes sometidos a corte por llama oxiacetilénica con máquina:

- FAT140: Material con bordes sometidos a corte por llama oxiacetilénica con máquina con líneas de arrastre superficiales y regulares, con todos los signos visibles de discontinuidades del borde eliminados. Las zonas de corte deben maquinarse o esmerilarse y las rebabas deben eliminarse. Cualquier rayón de maquinación, por ejemplo por tareas de esmerilado, solo puede ser paralelo a las cargas de tensión. Esquinas de entrante que deben mejorarse mediante esmerilado (pendiente de $\leq 1/4$) o evaluarse. Si es acero resistente a la intemperie, bajar a FAT125.
- FAT125: Material con bordes sometidos a corte por llama oxiacetilénica con máquina con líneas de arrastre superficiales y regulares o material sometido a corte por llama oxiacetilénica manual, con posterioridad revestido para eliminar todas las discontinuidades del borde. Corte por llama oxiacetilénica a máquina con calidad de corte según EN 1090. Esquinas de entrante que deben mejorarse mediante esmerilado (pendiente de $\leq 1/4$) o evaluarse. Si es acero resistente a la intemperie, bajar a FAT112.

A modo de comparación, FAT160 incluye productos laminados y extrusionados entre los cuales están las planchas y las láminas, las secciones laminadas y las secciones huecas sin soldaduras, rectangulares o circulares. Los bordes afilados y las imperfecciones de superficie y de laminado deben mejorarse mediante el esmerilado hasta habérselos eliminado y haber logrado una transición uniforme.

Los accesorios soldados donde se corta un radio para trasladar las cargas de tensión al accesorio, de manera similar a AISC 360-16 Tabla A-3.1, Sección 6, se muestran en EN 1993: Tabla 8.4 Accesorios de soldadura y enderezadores. Los valores oscilan entre FAT90 y FAT50, según las características de dimensión y el tipo de soldadura. En el caso de estos detalles, el radio de transición uniforme puede hacerse mediante el maquinado o el corte por llama oxiacetilénica de la plancha de la consola de refuerzo antes de soldar, después de lo cual se esmerila el área de la soldadura de manera de quitar el borde de la soldadura que está en el extremo del accesorio.

En Europa se hicieron estudios para actualizar las normas de diseño para estudiar nuevos métodos de corte, incluido el corte con plasma, y para hacer recomendaciones para actualizar e incorporar dichos métodos a las normas de diseño. Las pruebas incluyeron corte con plasma de aceros estructurales de entre 345 MPa [50 ksi] y 890 MPa [120 ksi], y con un grosor de entre 15 y 25 mm [0,59 y 1 pulg.] (Bannister et al, 2016).

En el caso de cortes con plasma en línea recta, el estudio recomienda el uso continuo de FAT125 conforme se usa en Eurocode 3. No aborda el uso de FAT140 para bordes sometidos a corte con plasma que se han acabado, dado que se enfoca en superficies sin tratamiento posterior al corte.

El estudio recomienda el uso de la Clase B en la norma británica BS 7608 *Guía para el diseño de productos sometidos a fatiga y la evaluación de productos de acero* para las superficies sin tratamiento posterior al corte con plasma, una mejora con respecto a lo que se habría considerado Clase C. La Clase B se define como “todos los bordes sometidos a oxicorte que con posterioridad se alisaron con máquina o esmerilado. Todos los signos visibles de líneas de arrastre deben eliminarse del borde sometido a oxicorte mediante esmerilado o maquinado”. La Clase C se define como “todo corte de bordes mediante aplanamiento u oxicorte con máquina con un procedimiento controlado”. La norma no tiene Clase A.

La norma BS 7608 emplea un conjunto único de curvas de fatiga sin codo. La Clase B tiene una línea S-N similar a la carga de tensión de Categoría B de AISC 360-16, salvo más allá del codo de AISC (Figura 16).

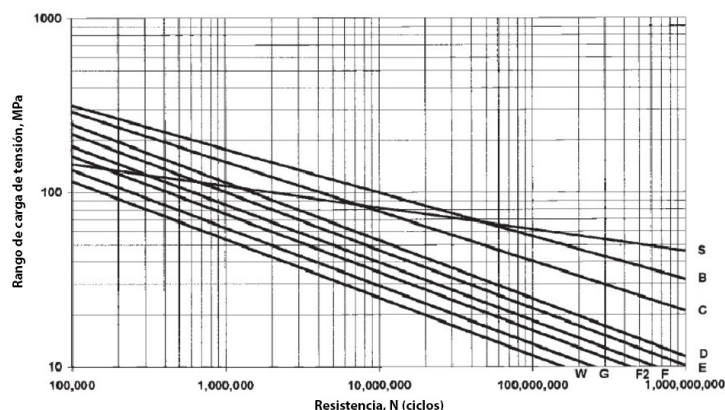


Figura 16. Curvas de fatiga de BS 7608

Las Recomendaciones de fatiga de IIW (Hobbacher, 2016) brindan cuatro clases de FAT para los bordes sometidos a corte térmico, dos para corte con máquina y dos para corte manual:

- FAT140 Corte por llama oxiacetilénica a máquina o material cizallado con posterior acabado, sin grietas por inspección, sin imperfecciones visibles. Todos los signos visibles de imperfecciones del borde deben eliminarse. Las superficies de corte deben maquinarse o esmerilarse y las rebabas deben eliminarse. No puede repararse con relleno de soldadura. Se tomarán en cuenta los efectos de entalladura debidos a la forma de los bordes.
- FAT125 Bordes sometidos a corte térmico con máquina, esquinas quitadas, sin grietas para la inspección. Se tomarán en cuenta los efectos de entalladura debidos a la forma de los bordes.
- FAT100 Bordes sometidos a corte térmico manual, sin grietas ni entalladuras serias. Se tomarán en cuenta los efectos de entalladura debidos a la forma de los bordes.
- FAT80 Bordes sometidos a corte térmico manual, sin control, sin entalladuras de más de 0,5 mm de profundidad. Se tomarán en cuenta los efectos de entalladura debidos a la forma de los bordes.

Las Recomendaciones de fatiga de IIW también incluyen clases de FAT para accesorios soldados.

Dentro del rango finito de resistencia a la fatiga, los bordes sometidos a oxicorte y a corte con plasma tienen un desempeño similar frente a la fatiga. La resistencia a la fatiga disminuye levemente con el aumento del grosor del material y eso se atribuye a una mayor probabilidad estadística de inicio de grieta cuando los materiales son más gruesos. La formación de impureza y las condiciones del borde influyen más el desempeño bajo fatiga que la aspereza de la superficie de corte. Dado que el corte con plasma deja mínima impureza, la grieta, de producirse, se iniciaría en el borde de esquina superior o inferior.

Hoyos para pernos

En las aplicaciones sometidas a fatiga se permite hacer hoyos para pernos mediante corte con plasma, de conformidad con lo establecido en la norma EN 1090-2 cláusula 6.6.3 Ejecución de agujereado, que identifica métodos aceptables de agujereado como taladrado, perforación, corte por láser, plasma u otro corte térmico, siempre y cuando el hoyo cumpla con los requisitos de dureza y calidad de superficie de corte locales según la cláusula 6.4 Corte.

El diseño para resistencia a fatiga de miembros con hoyos para pernos se abordan en EN 1993-1-9 Tabla 8.1. EN 1993-1-9 también considera la configuración de la junta fijada con pernos en lo referente a la determinación de la clase de FAT, además del pretensado del perno (denominado precarga). No se hace referencia a la condición de resistencia al deslizamiento de la superficie de fricción.

FAT112 Junta simétrica con cubierta doble con pernos precargados de alta resistencia, verificada en la sección gruesa

FAT90 Junta con cubierta doble con pernos encajadas, verificada en la sección de la malla

Conexión unilateral con pernos precargados de alta resistencia, verificada en la sección gruesa

Elemento estructural con hoyos sometido a fuerzas de curvado y axiales, verificado en la sección de la malla

FAT80 Conexión unilateral con pernos encajadas, verificada en la sección de la malla

FAT50 Conexión simétrica unilateral o con cubierta doble con pernos no precargados en hoyos con separación normal, sin inversión de carga, verificada en la sección de la malla

Las Recomendaciones de fatiga de IIW no incluyen clases de FAT para hoyos.

La investigación del equipo de Bannister llevó a cabo muchos estudios sobre los hoyos para pernos sometidos a corte térmico sin considerar la influencia de los pernos (Bannister et al, 2016). En el caso de los hoyos abiertos, para los hoyos para pernos sometidos a corte con plasma se hacen las siguientes recomendaciones en la Tabla 11:

TABLA 11. CATEGORÍAS DE FATIGA RECOMENDADAS PARA HOYOS PARA PERNOS SOMETIDOS A CORTE CON PLASMA

	BS 7608	EN 1993-1-9
Hoyos sometidos a oxicorte Grosor de 25 mm [1 pulg.] o menos	F	90
Hoyos para pernos cortados con plasma Grosor de 25 mm [1 pulg.] o menos	G	63

La mayoría de los puntos de inicio de grietas de fatiga están en la superficie de corte; por lo tanto, el punto de perforación o el punto de terminación deben ubicarse en el extremo del diámetro del hoyo paralelo a la dirección de carga. El inicio de la fractura desde la superficie de corte con plasma es diferente a los puntos de inicio de grietas de los bordes de corte rectos, los cuales se encuentran en la esquina superior o inferior de la superficie de corte.

En la duración finita de la vida útil de resistencia a la fatiga, los hoyos hechos con oxicorte fueron los que mostraron mejor desempeño. Se cree que tiene relación con el calentamiento térmico durante el corte. Con el oxicorte, el calor y el tiempo necesarios para perforar el material, así como para hacer el corte, son superiores a los que se necesita con el corte con plasma. El mayor calor hace que el enfriamiento sea más lento, lo cual reduce el riesgo de que haya un área frágil afectada por el calor.

Australia/ Nueva Zelanda

AS 4100-1998 (R2016), emplea categorías de detalle de fatiga análogas a las de la norma EN 1993-1-9 de Europa. En la cláusula 14.3.3 se emplea el término “corte térmico”. Para puentes de carreteras y ferroviarios, la norma aplicable es la AS 5100.6:2016 Diseño de puentes, parte 6: Construcción en acero y compuesta.

Bordes sometidos a corte térmico

En AS 4100-1998 (R016), hay dos categorías de FAT para bordes sometidos a corte térmico que aparecen en la Tabla 11.5.1(1) Clasificación de categoría de detalle - Grupo 1 Detalles no soldados, como se muestra abajo. El término empleado es “corte por llama oxiacetilénica”, si bien la subcláusula 14.3.3 Corte dice que “el corte puede hacerse mediante sierra eléctrica, cizalla, biselado, máquina, corte térmico (incluido corte con láser o con plasma) o procesos de corte con agua, según corresponda”.

FAT140 Material con bordes sometidos a corte por llama oxiacetilénica o cizallamiento sin líneas de arrastre. Todo el material endurecido y los signos visibles de discontinuidades de borde deben eliminarse mediante maquinado o esmerilado en la dirección de la carga de tensión aplicada.

FAT125 Material con bordes sometidos a corte por llama oxiacetilénica con máquina con líneas de arrastre o material sometido a corte por llama oxiacetilénica manual. Las esquinas y los signos visibles de discontinuidades de borde deben eliminarse mediante esmerilado en la dirección de la carga de tensión aplicada.

No se hacen reducciones para el acero resistente a la intemperie, como sucede en otras normas, dado que la subcláusula 11.1.1. dice que la “reducción de la resistencia a la fatiga debido a la corrosión o la inmersión” no se aborda.

En AS 5100.6:2016, hay dos categorías FAT para los bordes sometidos a corte térmico, de manera similar a EN 1993-1-9:

FAT140 Material sometido a corte por llama oxiacetilénica o cizallamiento con posterior acabado. Todos los signos visibles de discontinuidades del borde deben eliminarse. Las zonas de corte deben maquinarse o esmerilarse y las rebabas deben eliminarse. Cualquier rayón de maquinación, por ejemplo por tareas de esmerilado, solo puede ser paralelo a las cargas de tensión. Las esquinas de entrante deben mejorarse mediante el esmerilado (inclinación de $\leq 1/4$) o evaluarse mediante el factor de concentración de carga de tensión apropiado. No puede repararse con relleno de soldadura. Si es acero resistente a la intemperie, bajar a FAT125.

FAT125 Material con bordes sometidos a corte por llama oxiacetilénica, con máquina con líneas de arrastre superficiales y regulares o material sometido a corte por llama oxiacetilénica manual, con posterioridad revestido para eliminar todas las discontinuidades del borde. Corte por llama oxiacetilénica a máquina con la calidad de corte establecida en el Apéndice F. Las esquinas de entrante deben mejorarse mediante el esmerilado (inclinación de $\leq 1/4$) o evaluarse mediante el factor de concentración de carga de tensión apropiado. No puede repararse con relleno de soldadura. Si es acero resistente a la intemperie, bajar a FAT112.

En AS 5100.6:2016, subcláusula F3.3 Corte permite cortar “con sierra, cizalla, biselado, máquina o corte térmico, según corresponda”. La Tabla F3.3 Aspereza máxima de superficie de corte, establece dos criterios de aspereza máxima de superficie en aplicaciones sometidas a fatiga: para categorías de detalle ≥ 80 MPa, 12 μm CLA; y para categorías de detalle < 80 MPa, 25 μm CLA. En el caso de las aplicaciones normales, es decir, cuando no se someten la cara ni los bordes a tratamiento después del corte o se les hace un acabado menor, la aspereza máxima de la superficie es de 25 μm CLA. Las asperezas de superficie de corte superiores a los valores indicados en la Tabla F3.3 deben mejorarse mediante esmerilado, con marcas de esmerilado paralelas a la dirección del corte.

Hoyos para pernos

En AS 4100-1998 (R2016) Tabla 11.5.1(1) Clasificación de categoría de detalle - Grupo 1 Detalles no soldados, se abordan las conexiones fijadas con pernos con categoría de empernado 8.8/TF (pernos pretensados de alta resistencia en juntas de tipo de fricción con resistencia designada a deslizamientos) como FAT140, verificado en la sección gruesa. Si no se designa 8.8/TF, sigue permaneciendo en la categoría de detalle 140, pero se verifica en la sección de la malla. Se agrega una advertencia de que “las conexiones unilaterales de placa de cubierta sin apoyo deben evitarse o de lo contrario se refuerza el efecto de la excentricidad tomada en consideración durante el cálculo”. No se brinda categoría específica de detalle para los hoyos abiertos. La subcláusula 14.3.5.1 sobre perforaciones permite que los hoyos redondos para un perno se “hagan por oxicorte con máquina o se taladren a tamaño completo o se subperforen de un tamaño de 3 mm [1/8 pulg.] menor al necesario y se escareen a su tamaño o se perforen a tamaño completo”.

La norma AS 5100.6:2016, cláusula F3.5 Agujereado, subcláusula F3.5.1 General, dice “los hoyos redondeados para pernos deben hacerse por oxicorte con máquina, taladrarse a tamaño completo o subperforarse a un tamaño de 3 mm [1/8 in.] menor al necesario y abocardarse a su tamaño o perforarse a tamaño completo. Para los puentes ferroviarios, no se permite hacer hoyos por oxicorte con máquina a tamaño completo o perforarlos a tamaño completo”.

La norma AS 5100.6:2016, Tabla 13.10.1(B) Miembros simples y juntas ajustadas, por medios mecánicos ha adoptado los requisitos de EN 1993-1-9, Tabla 8.1, según las categorías de detalle de juntas fijadas con pernos para Europa descritas con anterioridad.

Rotulación con plasma

El equipo de corte con plasma también puede utilizarse para hacer rotulación con el mismo cabezera de corte pero con menos potencia (densidad de corriente). Eso puede incluir no solo marcas y etiquetado en piezas, sino también lugares precisos de ubicación del miembro de acero en los cuales se conectarán piezas, identificación de las piezas que se conectarán en dicho lugar, grabación de un símbolo de soldadura, rotulación de lugares para accesorios soldados de montante, ubicaciones de “marcación con punzón” de hoyos que pueden hacerse con otros métodos de perforación de hoyos e indicación de otras tareas especiales a hacerse.

Tal rotulación debe llevarse a cabo con la potencia adecuada para brindar visibilidad durante la fabricación y visibilidad permanente de las marcas de la pieza y otros indicadores del montaje, en caso de usarlos, después de la preparación de la superficie y la aplicación de capas. En el caso del acero estructural expuesto de edificios, puede ser recomendable minimizar la visibilidad de las marcas permanentes expuestas a la vista a corta distancia.

Las normas actuales ni permiten de manera explícita ni prohíben el uso de rotulación con plasma en acero estructural. Las investigaciones recientes han brindado algo de información sobre los efectos de la rotulación con plasma en lo referente al desempeño de los aceros estructurales tanto en aplicaciones estáticas como cíclicas.

NOTA: el ingeniero de registro u otra autoridad técnica deben ocuparse de los problemas no cubiertos en un código o una especificación de construcción particulares.

Wagner y su equipo (Wagner, 2010) sometieron a prueba aceros estructurales de 345 MPa [50 ksi] marcados con plasma y para ello usaron argón como gas de protección con corrientes de 6, 10 y 14 amperios. Las profundidades de corte de línea fueron 9, 130 y 240 μm [0,00035, 0,005, y 0,0094 pulg.], respectivamente, para lugares que no fueran los puntos de inicio y las profundidades de corte de 130, 310 y 870 μm [0,005, 0,012 y 0,034 pulg.], respectivamente en los puntos de inicio y los lugares donde el corte pasaba sobre un lugar marcado con anterioridad (Figura 17.).

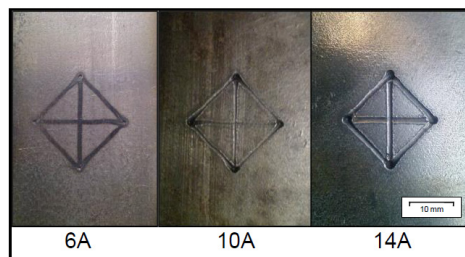


Figura 3. Rotulación con plasma usando argón de plasma a una intensidad de corriente de rotulación de 6 A, 10 A, 14 A

Figura 17. Rotulación con plasma en 6A, 10A y 14A

Bajo carga sobre todo estática, no se percibió reducción de resistencia a la tensión debida a la rotulación con plasma.

Las pruebas de fatiga se llevaron a cabo con muestras tubulares relativamente delgadas de 3, 5 y 10 mm [1/8, 3/16 y 3/8 pulg.] de grosor. El grosor del material no influyó en una medida importante la resistencia a fatiga por número alto de ciclos, pero sí lo hizo la profundidad de la marca con plasma. Las pruebas indicaron una inclinación bastante plana a la curva S-N, con poca diferencia entre los cortes a 6 amperios y los cortes a 10 amperios y una notoria disminución con un corte a 14 amperios. Las pruebas que emplearon punzón mecánico de rotulación mostraron un comportamiento similar a las del corte con 14 amperios, pero con una inclinación levemente mayor a la curva S-N.

Mediante las curvas S-N de las Recomendaciones de fatiga de IIW, los cortes con 6 o 10 amperios se clasificarían como 144 N/mm² y los cortes con 14 amperios como 128 N/mm². La investigación sugirió el uso de una clase de FAT de 125, que es la misma que se emplea para los bordes sometidos a corte térmico (Figura 18).

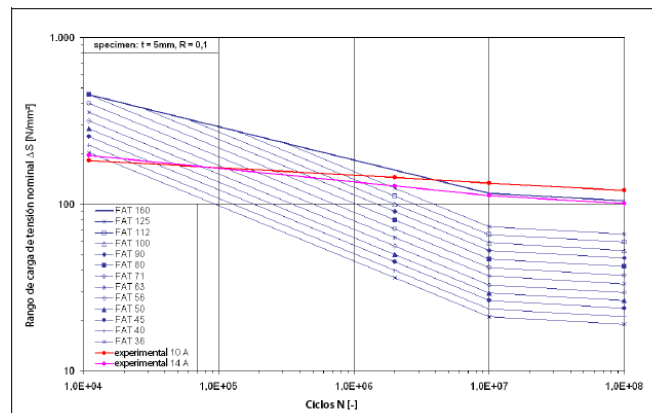


Figura 12. Resultados en la malla de IIW de curvas S-N

Figura 18. Resultados de experimentos sobre resistencia a fatiga con rotulación con plasma (Wagner, 2010)

Stranghöner y Jungbluth (Stranghöner and Jungbluth, 2015) llevaron a cabo pruebas de fatiga en planchas de acero estructural de 345 MPa [50 ksi] y 460 MPa [65 ksi] con un grosor de 15 mm, 25 mm y 40 mm [0,59, 1 y 1,57 pulg.]. Las marcas fueron letras y números convencionales en lugar de ser el patrón de diamante que usó Wagner.

Cuando las marcas se hicieron con una corriente de 6 amperios, no hubo influencia sobre la resistencia a la fatiga en comparación con la del metal de base. A una corriente de 10 amperios, las marcas de plasma fueron parejas con una forma redondeada y una profundidad de rotulación máxima en el inicio o en los puntos de intersección de entre 400 μm y 500 μm [0,016 y 0,020 pulg.], un valor levemente mayor al que informara Wagner. Las curvas S-N comparadas con las curvas de las recomendaciones de fatiga de IIW (similares a EN 1993-1-9), como se muestra en la Figura 19.

Los resultados con las planchas de 15 mm y 25 mm [0,59 y 1 pulg.] fueron similares a los de Wagner, quien usó el patrón de diamante, y mostraron mayor resistencia a la fatiga que la de las muestras que emplearon marcación dura. No se observó influencia alguna de la resistencia del acero sobre el rendimiento bajo condiciones de fatiga. Las pruebas de fatiga sobre planchas de 40 mm [1,57 pulg.] fueron irregulares para ambas graduaciones de acero, por lo cual se planificó hacer más pruebas.

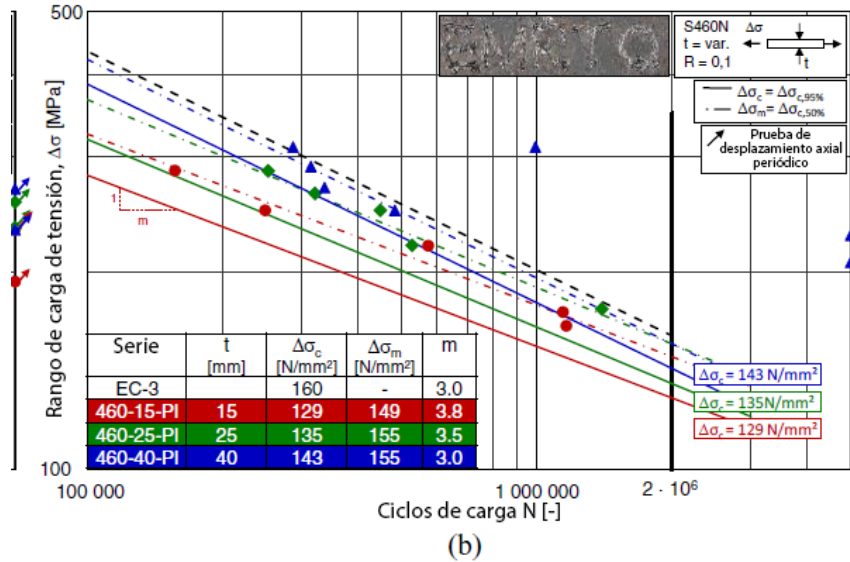
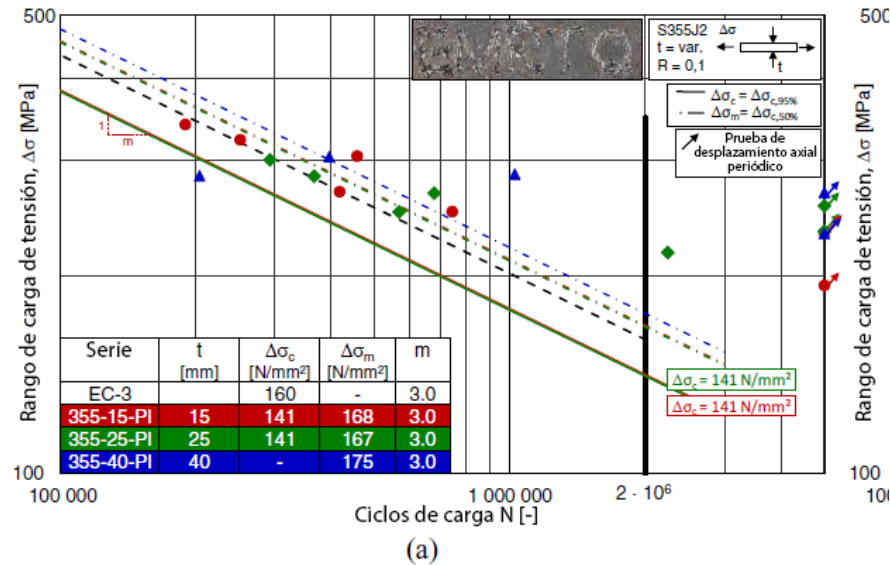


Figura 12 Curvas S-N de muestras marcadas con plasma de (a) S355J2 y (b) S460N

Figura 19. Curvas S-N de muestras marcadas con plasma

Manuel y su equipo (Manuel, 2014) sometieron a prueba una plancha de acero resistente a la intemperie de 50 ksi [345 MPa], ASTM A709 Grado 50W, de 1/4 pulg. [6 mm] de grosor. Se hizo rotulación con plasma con una profundidad de alrededor de 6 μ pulg [150 μ m]. Debajo de la superficie de la marca había una zona afectada por el calor (HAZ) de alrededor de 8 μ in [200 μ m] y se tomaron en consideración las pruebas de dureza y la concentración resultante de carga de tensión. Se sometieron a prueba catorce muestras y los resultados se trazaron con las curvas S-N de norma AISC/AWS/AASHTO (ver Figura 20). La resistencia a la fatiga de las muestras con marcas con plasma no difirió en una gran medida de la resistencia a la fatiga del material simple. No obstante, los autores, dijeron que antes de sacar conclusión debían llevarse a cabo pruebas con más muestras.

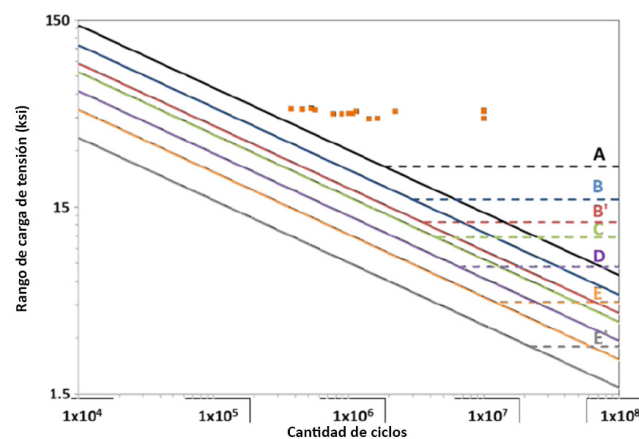


Figura 5-9. Curva S-N de acero 50 W rotulado con plasma.

Figura 20. Curva S-N de acero 50W con marcas con plasma

Sobre la base de los estudios mencionados, las marcas hechas con hasta 10 amperios y quizá 15 amperios deben considerarse aceptables para aplicaciones con carga estática. En el caso de las aplicaciones sometidas a fatiga, las marcas hechas con hasta 10 amperios deben considerarse aceptables cuando en el diseño se emplean valores de fatiga para bordes sometidos a corte térmico y es posible considerar aceptables las marcas hechas con un rango de entre 5 y 6 amperios cuando en el diseño se emplean valores similares al metal de base. No obstante, dichas condiciones no se codificaron y aún están llevándose a cabo estudios. Obsérvese que los lugares que se consideran críticos para la fractura de aplicaciones para puentes pueden merecer más limitaciones y no deben hacerse marcas en dichos lugares.

En el momento de la presente publicación no había noticias de que se hubieran llevado a cabo pruebas sobre aceros sometidos a aplicaciones con alto nivel de tensión y fatiga de ciclo bajo como es el caso de las zonas protegidas de estructuras sísmicas. Hasta haber llevado a cabo tales pruebas, no deben rotularse áreas dentro de la región sometida a tensión plástica.

Criterios de calidad para superficies sometidas a corte con plasma

La calidad de las superficies sometidas a corte térmico depende de muchas variables, entre ellas:

- (1) Grosor del material
- (2) Condición de la superficie del material
- (3) Procedimiento de corte, incluida la selección del gas
- (4) Condición y diseño de la máquina de corte, incluidos los cabeceros de corte
- (5) Vibraciones provenientes de equipo cercano y
- (6) Movimiento de la pieza de trabajo debido a expansión y contracción térmicas

Rigen varios criterios de calidad para los requisitos de calidad del borde sometido a corte térmico. Entre ellos está la aspereza de la superficie (los criterios más comunes de calidad), pero es posible que para ciertas aplicaciones y en ciertas normas se exijan criterios más específicos como la perpendicularidad y la dureza de superficie de la zona afectada por el calor (HAZ).

Aspereza de la superficie

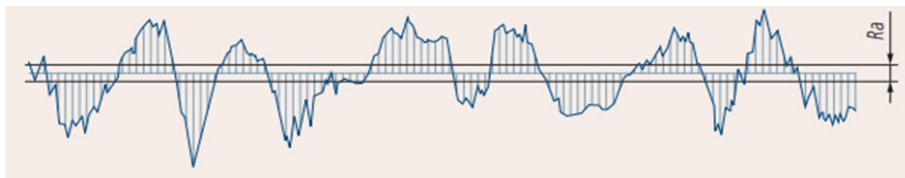
La medición de aspereza de la superficie, que incluye terminología general, definiciones de la mayoría de los parámetros de medición, procedimientos de medición, filtrado de datos e información relacionada, se aborda en tres normas importantes:

- ▶ ISO 4287:1997 Especificaciones de producto geométrico (GPS) - Textura de superficie: Método de perfil - Términos, definiciones y parámetros de textura de superficie
- ▶ ISO 4288:1996 Especificaciones de producto geométrico (GPS) - Textura de superficie: Método de perfil - Reglas y procedimientos para evaluar la textura de superficie
- ▶ ASME B46.1:2009 Textura de superficie (aspereza de superficie, factor de ondulación y trenza)

Dos son los criterios más usados para la aspereza de superficie: Ra y Rz. Ambos criterios no están relacionados y no puede hacerse una conversión matemática de un criterio al otro. Las mediciones Ra y Rz se expresan en términos de μin en unidades de uso común en los EE. UU. y en μm en unidades de SI.

μin - micropulgada, una millonésima de pulgada (0,000001 pulg.), 1 μin equivale a 0,0254 μm

μm - micrometro, una millonésima de metro (0,000001 m), 1 μm equivale a 39,37 μin



> **Figura 6:** Valor aritmético de aspereza media Ra

Fuente: Guía rápida de Mitutoyo para la medición de aspereza de la superficie

Figura 21. Valor aritmético de aspereza media Ra

Promedio de aspereza (R_a , por sus siglas en inglés) se define como “el promedio aritmético de los valores absolutos de las alturas de perfil sobre la longitud de evaluación” y equivale a la suma de las áreas sombreadas del perfil dividida por la longitud de evaluación L , que en su mayoría incluye varias longitudes o cortes de muestra. Para hacer determinaciones gráficas de aspereza, las desviaciones de altura se comparan con la línea central del cuadro.

El R_a también se conoce como promedio aritmético (AA, por sus siglas en inglés) de la línea central y promedio de línea central (CLA, por sus siglas en inglés).

El otro parámetro común, la altura máxima promedio del R_z de perfil, se define en la norma ASME B46.1 como “el promedio de los valores sucesivos de R_{t_i} calculado sobre la longitud de evaluación” y se ilustra en la Figura 22. Perfil de superficie que contiene dos longitudes de muestra, l_1 y l_2 , que también muestra los parámetros de R_{p_i} y R_{t_i} . R_{t_i} es “la distancia vertical entre el punto más alto y el más bajo del perfil dentro de un segmento de longitud de muestra etiquetado l ”. R_{z5} indica que se emplean cinco longitudes o cortes de muestra (ver Figura 23).

Fig. 1-10 Perfil de superficie que contiene dos longitudes de muestra, l_1 y l_2 , que también muestra los parámetros de R_p y R_t

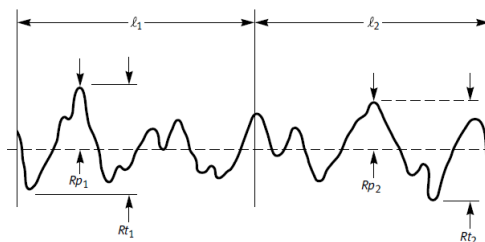


Figura 22. ASME B46.1 Figura 1-10 sobre Medición de perfil de superficie

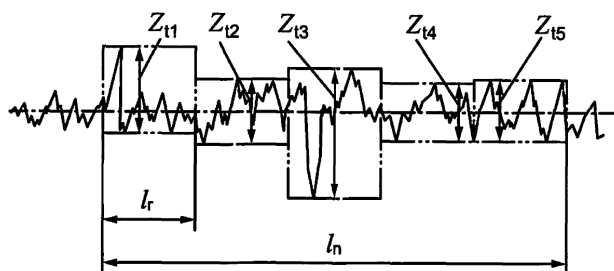


Figura 23. ISO 9013:2017, Figura 7 - Altura media del perfil Rz5

Herramientas de medición de aspereza de superficie

La norma AWS C4.1-77 (R2010) *Criterios para describir superficies sometidas a oxicorte e indicador de aspereza de superficie sometida a oxicorte* se publicó por primera vez en 1977 y se reafirmó en 2010. Dicha norma emplea texto y una guía de aspereza de superficie para oxicorte de réplica plástica independiente que muestra cuatro ejemplos de superficies sometidas a oxicorte con diferentes niveles de calidad. Si bien el título de la norma y la réplica plástica indican “Oxicorte”, suele emplearse para el corte con plasma también (ver Figura 24).

Se busca sostener la réplica plástica en cercana proximidad a la superficie sometida a corte térmico que está examinándose y después seleccionar el valor de aspereza de superficie más representativo para hacer una comparación visual más que táctil.

La norma y la réplica plástica no indican el valor específico de aspereza de la superficie, pero se ha verificado y suele emplearse para usar las muestras para los siguientes valores Ra de aspereza de superficie:

TABLA 12. ASPEREZA DE SUPERFICIE DE RA DE CADA NÚMERO DE MUESTRA DE AWS

Número de muestra	Aspereza de superficie Ra	
	μpulg.	μm
1	4000	100
2	2000	50
3	1000	25
4	500	12,5

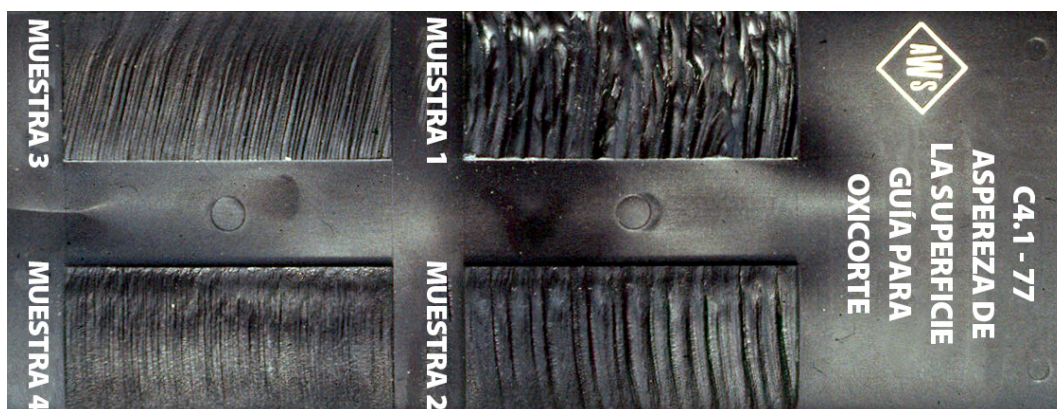


Figura 24. AWS C4.1-77 Guía de aspereza de superficie

Medición de aspereza de superficie de corte de Australia/Nueva Zelanda

La aspereza de la superficie puede evaluarse mediante inspección visual con la ayuda de una comparación con la superficie de réplicas de resina de poliéster. Estas réplicas representan tres clases de aspereza de superficie según se describe en la Figura 25 proveniente de la Nota Técnica 5 de WTIA - Oxicorte de acero, publicada en abril de 1975 (WTIA, 1975).

Quien preparó las superficies de réplica para oxicorte fue la AWRA (Australian Welding Research Association, organización predecesora del Welding Technology Institute of Australia o WTIA), ahora llamada Weld Australia (WA). Se los desarrolló con oxicorte con máquina con equipo estándar en buenas condiciones de mantenimiento.

Tabla 11 - Clases de aspereza de superficie sometida a oxicorte de la AWRA

Clase de corte Nota 1	Aspereza (CLA) AS 1100 Parte II - 1974 (Micrones) Notas 2, 3, 4, 5	Aspereza (CLA) AS B131 - 1962 (Micropulgadas) Notas 2, 3, 4, 5
1	< 6.3	< 250
2	6.3 – 12.5	250 – 500
3	12.5 – <25	500 – < 1000

Notas

- 1 Las tres clases de oxicorte pueden conseguirse con facilidad con equipo de buena calidad y técnicas correctas.
- 2 AS B131-1962 "Método de altura de promedio de línea central (sistema M) para la evaluación de textura de superficie" y AS 1100, Parte 11-1974 "Indicación de práctica de dibujo de textura de superficie".
- 3 Dichas normas definen la aspereza de la superficie en términos del valor promedio de línea central (CLA). Para el oxicorte, la altura promedio de seno a pico de la superficie suele ser de 4 veces las alturas de CLA mostradas en la lista.
- 4 1 micrón = 0,001 mm; y 1 micro pulgada = 0,000001 pulg
0,025 micrón (µm)
- 5 La aspereza real de las réplicas de AWRA son 3, 6,3 y 19 micrones para las Clases 1, 2 y 3 respectivamente.

Figura 25. Reimpresión de las clases de aspereza de superficie sometida a oxicorte de la AWRA

La Tabla 13 compara la réplica plástica AWS C4.1-77 (R2010) *Guía de aspereza de superficie para oxicorte* con las clases precedentes de la WA/WTIA:

TABLA 13. COMPARACIÓN DE RÉPLICA DE WTIA CON LA RÉPLICA DE AWS					
Aspereza real de réplica de WTIA μm	Aspereza de rango de clase WTIA μm	Clase WTIA	Muestra de AWS C4.1	Aspereza de réplica de AWS	
				μm	$\mu\text{pulg.}$
3	< 6,33	1	Ninguna	—	—
6,3	6,3 - 12,5	2	4	12,5	500
19	12,5 $\leq$ 25	3	3	25	1000
—	—	Ninguna	2	50	2000
—	—	Ninguna	1	100	4000

La réplica de AWS puede usarse para verificar el cumplimiento de la Clase 2 de WTIA mediante el uso de la muestra 4 como aspereza máxima de superficie y el cumplimiento con la Clase 3 de WTIA mediante el uso de la muestra 3 como aspereza máxima de superficie. Para verificar la Clase 1 de WTIA debe usarse otro indicador de aspereza de superficie, por ejemplo, los que se usan para el maquinado.

Aspereza de superficie de tipo de contacto/instrumento de medición de perfil

Hay muchos fabricantes y estilos de instrumento de medición de aspereza de superficie de tipo de contacto. Dichos instrumentos usan una punta de palpador que hace contacto directo con la superficie de una muestra. La punta de palpador traza la superficie de la muestra y hace una detección eléctrica del movimiento vertical del palpador. Las señales eléctricas se procesan y se filtran para generar registros digitales.



Figura 26. Instrumento de aspereza de superficie de tipo de contacto

Dureza de superficie

EN 1090-2:2018 contiene criterios de aceptación de dureza máxima de bordes sometidos a corte térmico especificados en 6.4.4 Dureza de superficies con borde libre.

La resistencia de estiramiento de 460 MPa [65 ksi] de los bordes de acero al carbono sometidos a corte térmico no puede superar la dureza máxima de 450, medida con la escala HV10. Asimismo, una nota dice que los requisitos pueden ser necesarios si el borde libre está sujeto a fatiga o fuerzas de impacto, es susceptible a fragilización de hidrógeno o a los fines de garantizar que el borde sea apropiado para preparar la superficie antes de aplicarle pinturas y productos relacionados.

Además, debe tenerse especial consideración con los bordes libres que vayan a galvanizarse por inmersión en caliente.

Normas y bibliografía citadas

American Institute of Steel Construction		www.aisc.org
AISC 360-16	Especificación para edificios con acero estructural	2016
AISC 341-16	Disposiciones sísmicas para edificios con acero estructural	2016
AISC 358-16	Conexiones precalificadas para marcos momentáneos especiales e intermedios de acero para aplicaciones sísmicas	2016
	Manual de Construcción en Acero, 15.ª Edición	2016

American Welding Society		www.aws.org
AWS D1.1/D1.1M:2015	Código de construcción estructural - Acero	2015
AWS D1.8/D1.8M:2016	Código de soldadura estructural - Complemento sísmico	2016
AASHTO/AWS D1.5M/D1.5:2015	Código de soldadura de puentes	2015
AWS C4.1-77	Criterios para describir superficies sometidas a oxicorte e indicador de aspereza de superficie sometida a oxicorte	1977

Research Council on Structural Connections		www.boltcouncil.org
	Especificación para Juntas Estructurales con Pernos de Alta Resistencia	2014

American Association of State Highway and Transportation Officials		www.aashto.org
	Especificaciones de diseño de puente de LRFD de AASHTO	

Canadian Standards Association		https://www.csagroup.org/
CSA S16-14	Diseño de estructuras de acero	2014
CSA W59-18	Construcción en acero soldado	2018

European Committee for Standardization (CEN)		https://shop.bsigroup.com [Adopción británica]
EN 1090-2:2018	Ejecución de estructuras de acero y estructuras de aluminio, -Parte 2: Requisitos técnicos de estructuras de acero	2018
EN 1993-1-9:2005	Eurocode 3, EN 1993 Diseño de estructuras de acero, Parte 1-9: Fatiga	2005

Normas australianas y normas neozelandesas		https://infostore.saiglobal.com
AS 4100-1998 [R2016]	Estructuras de acero	2016
NZS 3404.1 [2007]	Norma de Estructuras de Acero	2007
AS/NZS 5131:2016	Trabajo en acero estructural-Fabricación y construcción	2016
AS/NZS 1554.1:2014	Soldadura de acero estructural, Parte 1: Soldadura de estructuras de acero, novena edición	2014
AS/NZS 1554.4:2014	Soldadura de acero estructural, Parte 4: Soldadura de aceros de alta resistencia enfriados y templados, cuarta edición	2014
AS/NZS 1554.5:2014	Soldadura de acero estructural, Parte 5: Soldadura de estructuras de acero sometidas a altos niveles de carga de fatiga, quinta edición	2014

Instituto de Arquitectura de Japón		https://www.aij.or.jp/eng/publish/index.htm
JASS 6 [2007]	Especificación de construcción con metal estructural para construcción de edificios (en inglés)	2007
JASS 6 [2018]	Especificación de construcción con metal estructural para construcción de edificios 11 ^{ra} edición (en japonés)	2018

International Organization for Standardization		www.iso.org
ISO 9013:2017	Corte térmico - Clasificación de cortes térmicos - Especificación y tolerancias de calidad de producto geométrico	2017

British Standards Institution		www.bsigroup.com
BS 7608:2014 + A1:2015	Guía para el diseño de fatiga y evaluación de productos de acero	2015

1. Bannister et al, 2016; Bordes de corte de alto rendimiento en planchas de acero estructural para aplicaciones exigentes (HIPERCORTE), EUR 28092EN, Dirección General de Investigación e Innovación, 2016, <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a0290b88-9ac8-11e6-868c-01aa75ed71a1/language-en> ISSN 1831-9424 ; ISBN 978-92-79-61683-9 ; DOI 10.2777/525963
2. Hobbacher, 2016; Recomendaciones para el diseño de resistencia a fatiga de juntas y componentes soldados, 2^{da} Edición, International Institute of Welding, IIW-2259-15, <https://www.springer.com/us/book/9783319237565>, ISBN 978-3-319-23756-5, DOI 10.1007/978-3-319-23757-2
3. García y Cicero, 2016; Propuesta de categorías de detalle para fatiga de AASHTO para aceros estructurales que contengan bordes y hoyos sometidos a corte térmico, ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, 28(12), 2016, [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001643](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001643) DOI 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001643
4. Wagner et al, 2010; Influencia de la rotulación con plasma en la resistencia estática y de fatiga de los aceros de construcción, 63era Asamblea Anual y Conferencia Internacional del International Institute of Welding, AWST-10/36,
5. Stranghöner and Jungbluth, 2015; Resistencia a la fatiga de componentes de acero rotulados, 6ta Conferencia sobre Diseños para Fatiga, Diseños para Fatiga 2015, Procedia Engineering 133 (2015) 282 - 293, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
6. Manuel, 2014; Investigación experimental del efecto de la rotulación superficial en la integridad mecánica de los aceros para puente resistentes a la intemperie: Informe final, Número de contrato de FDOT: BDV31-977-02, 2014, http://www.fdot.gov/research/Completed_Proj/Summary_SMO/FDOT-BDV31-977-02-rpt.pdf

Resumen y descarga

El corte y rotulación con plasma es un proceso eficiente y muy usado. Con frecuencia, las disposiciones de los códigos y las normas no se entienden y se restringe sin necesidad el uso de corte y rotulación con plasma para una aplicación dada. El presente documento buscó exponer y arrojar luz sobre disposiciones de código aplicables que abordan en corte con plasma en el sector estructural.

#1

SISTEMAS ROBOTIZADOS DE FABRICACIÓN DE ACERO ESTRUCTURAL



500+ SISTEMAS PYTHONX EN FUNCIONAMIENTO

PYTHONX®

Burlington Automation
8 Enterprise Crescent
Waterdown, ON
Canadá L8B 0Y2
Número gratuito: 1-833-PYTHONX
Tel.: +1 905 689 7771
Fax: +1 905 689 7773
info@pythonx.com
www.PythonX.com

Comuníquese con PythonX :



The Lincoln Electric Company
22801 Saint Claire Avenue
Cleveland, OH 44117-1199 EE. UU.