



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

Departamento de Obras Civiles

**PROPUESTA PARA LA ESTANDARIZACIÓN Y
OPTIMIZACIÓN DE DETALLAMIENTO EN LA FABRICACIÓN
DE ESTRUCTURAS METÁLICAS PARA MAESTRANZAS
CHILENAS**

Memoria de Título presentada por

Moisés Eduardo Sánchez Letelier

Memoria para optar al título profesional de

Ingeniería Civil

Profesor Guía

Germán Matzner Stange

Profesor Correferente

Cristian Cruz Doggenweiler

DICIEMBRE, 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Propuesta para la estandarización y optimización de detallamiento en la fabricación de estructuras metálicas para maestranzas Chilenas.

Nombre del candidato(a): Moisés Eduardo Sánchez Letelier

Carrera / Grado: Ingeniería Civil

Campus: Santiago San Joaquín **Departamento:** Departamento de Obras Civiles

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Germán Matzner Stange, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 07-01-2026

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 07-01-2026

Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Agradecimientos

Deseo expresar, en primer lugar, mi profundo agradecimiento a Dios, cuya guía, fortaleza y cuidado han acompañado cada etapa de mi vida y de mi formación como ingeniero civil. Su presencia ha sido un sostén constante y una fuente de esperanza y dirección durante este proceso.

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, cuyo apoyo permanente ha sido fundamental a lo largo de mi formación profesional y durante el desarrollo de esta memoria.

A mis padres, Gabriel y Loreto, por su dedicación ejemplar, su guía constante y el profundo compromiso que han demostrado en cada etapa de mi vida académica y personal. Su esfuerzo, valores y orientación han sido pilares esenciales para alcanzar este logro.

A mis padrinos, José y Magdalena, por su respaldo continuo, sus consejos y la confianza que siempre me han brindado. Su presencia ha contribuido de manera significativa a mi crecimiento y estabilidad durante este proceso.

A mis hermanos, Daniel y María Loreto, por su cariño, acompañamiento y ánimo en los momentos de mayor exigencia. Su apoyo ha sido una fuente constante de motivación y equilibrio.

Extiendo también mi agradecimiento a mi profesor guía, el Sr. Germán Matzner Stange, por su orientación, dedicación y acompañamiento constante durante el desarrollo de esta memoria. Su experiencia y claridad técnica fueron fundamentales para la correcta ejecución de este trabajo.

Asimismo, expreso mi gratitud al profesor correferente, Sr. Cristian Cruz Doggenweiler, por su disposición y apoyo en la etapa final de este proceso, contribuyendo a fortalecer y completar adecuadamente este proyecto académico.

A mis amigos de la universidad, Ignacio, Maximiliano, Mariano, Cristófer, Paolo, Tomás, por el compañerismo, el apoyo mutuo y las experiencias compartidas a lo largo de la carrera, que hicieron de este camino una etapa formativa tanto en lo académico como en lo personal.

De igual manera, agradezco a mis amigos de la vida, Roberto, Franco, Felipe, Fabián, por su constante apoyo, comprensión y amistad, que han sido un pilar fundamental en los distintos momentos de este proceso.

Finalmente, deseo reconocer de manera especial a mi amada, Francisca, cuya comprensión, apoyo emocional y compañía han sido esenciales a lo largo de este camino. Su presencia aportó serenidad, fortaleza y aliento en los momentos más desafiantes.

A todos ellos, así como a quienes no he mencionado explícitamente pero que de una u otra forma contribuyeron a este proceso, les debo una parte esencial de este logro académico, que no habría sido posible sin su confianza, apoyo y dedicación.

PROPUESTA PARA LA ESTANDARIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE DETALLAMIENTO EN LA FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS PARA MAESTRANZAS CHILENAS

Moisés Sánchez¹, Germán Matzner², Cristian Cruz Doggenweiler³

¹ Universidad Técnica Federico Santa María

Resumen

La presente memoria desarrolla una propuesta para la estandarización y optimización del detallamiento estructural en la fabricación de estructuras metálicas en maestranzas chilenas. El trabajo surge ante la inexistencia de una normativa nacional específica para esta etapa, que constituye el vínculo entre el diseño y la producción, generando variabilidad en criterios de fabricación, reprocesos y dificultades en la trazabilidad de los elementos estructurales.

A partir de una revisión crítica de la normativa internacional *AWS D1.1:2020*, *AISC 303:2022*, *RCSC:2020*, entre otras y del análisis de la práctica industrial local, se elaboró un manual técnico que integra criterios normativos, procedimientos y formatos estandarizados aplicables al contexto productivo nacional. Este documento establece directrices para el marcado, armado, soldadura, perforaciones y refuerzos, estableciendo además estándares dimensionales, simbología unificada y un sistema de trazabilidad integral.

Asimismo, se incorpora la definición de un formato de reporte técnico generado desde *Tekla Structures*, que permite vincular el modelo BIM con el control de calidad y la gestión documental de la maestranza. El manual resultante constituye una herramienta de aplicación directa, orientada a mejorar la eficiencia, la calidad y la competitividad del sector metalmecánico nacional, consolidando una base técnica y normativa que suple la actual brecha en el detallamiento estructural de acero en Chile.

Palabras claves: Soldadura, Estandarización, Detallamiento estructural, Reportes, Tekla Structures, Pasadas de ratón, Identificación y marcado, BIM.

Índice

1. Introducción	9
2. Objetivos	10
2.1. Objetivo General	10
2.2. Objetivos Específicos	10
3. Marco Teórico	10
3.1. Antecedentes de la Investigación y Conceptos Teóricos	10
3.1.1. Normativa Internacional y Nacional en Detallamiento	10
3.1.2. Control de Calidad y Soldadura en Estructuras Metálicas	11
3.1.3. Prácticas de Estandarización y Mejora en Maestranzas	11
3.1.4. Transformación Digital y Herramientas BIM	12
3.2. Definición del Problema y Preguntas de Investigación	12
4. Metodología	12
4.1. Objetivo Específico 1	13
4.2. Objetivo Específico 2	13
4.3. Objetivo Específico 3	14
4.4. Resumen Metodológico	15
5. Sistema de identificación y marcado	15
5.1. Fundamento normativo del marcado de piezas	15
5.2. Respaldo práctico sobre métodos de marcado	16
5.3. Nomenclatura	16
5.3.1. Marcado de elementos	16
5.3.2. Marcado de partes	17
5.3.3. Nomenclatura de perfiles	17
5.3.4. Nomenclatura de elementos o conjuntos	17
5.3.5. Nomenclatura de Partes	17
6. Directrices de armado y soldadura	17
6.1. Espesores de soldadura de filete en armado de piezas	17
6.2. Espesores de soldadura de filete necesarios para desarrollar la resistencia perfiles típicos	19
6.3. Criterios para el armado de perfiles especiales en acero A36	20
6.3.1. Exigencia resistente para perfiles especiales en A36	20
6.3.2. Respaldo normativo del aumento del 50 % en la resistencia de la soldadura . .	21
6.3.3. Garganta requerida para perfiles especiales en A36	22
6.3.4. Evaluación de configuraciones de soldadura	22
6.3.5. Límites prácticos de fabricación	23
6.3.6. Resultados del procedimiento	23
6.4. Criterios de espesores para la aplicación de biseles dobles en soldaduras CJP	24
6.4.1. Normativa vigente	24
6.4.2. Evidencia académica	24
6.4.3. Estandarización de tipo de bisel para CJP	27
6.5. Empalmes Soldados en perfiles doble T	27
6.5.1. Normativa vigente	27

6.5.2. Evidencia académica	28
6.5.3. Empalmes soldados en perfiles doble T	29
6.6. Estándar de separadores de perfiles XL	30
6.7. Intermitencia de soldaduras	31
6.7.1. Evidencia académica	31
6.7.2. Estándar de intermitencia de soldadura de filete en placas, perfiles de doble alma y elementos armado con perfiles laminados	34
6.8. Pasadas de ratón (Weld Acces Holes)	35
6.8.1. Requisitos normativos sobre pasadas de ratón	35
6.8.2. Propuesta de estandarización de pasadas de ratón	36
6.9. Método y estándar de perforaciones	37
6.9.1. Requerimientos normativos	37
6.9.2. Estándar adoptado	38
6.10. Refuerzos en zona panel	38
6.10.1. Refuerzo de zona panel mediante plancha de refuerzo	39
6.10.2. Refuerzo de zona panel mediante remplazo del alma	40
6.11. Ensanche de alas	41
6.11.1. Estándar de ensanche de alas	41
6.12. Accesos para soldadura de filete	42
7. Reporte estandarizado	43
7.1. Reporte de lista de partes	44
7.2. Reporte de lista de submateriales	44
7.3. Reporte de lista de embarque	44
7.4. Reporte de registro de emisiones	45
7.5. Transmittal de assemblies y gathers	45
7.6. Estandarización de estructura y control	45
8. Conclusiones y comentarios	46
A. Apéndice 1	50
B. Apéndice 2	51
C. Apéndice 3	51
D. Apéndice 4	52
E. Apéndice 5	53
F. Apéndice 6	56
G. Apéndice 7	57
H. Apéndice 8	68
I. Apéndice 9	69
J. Apéndice 10	70

K. Apéndice 11	71
L. Apéndice 12	72
M. Apéndice 13	73
N. Apéndice 14	74
Ñ. Apéndice 15	75
O. Apéndice 16	77
P. Apéndice 17	78
Q. Apéndice 18	79

Índice de figuras

1.	Contornos de tensión para ranuras en V simple con distintos espesores de placa base A: 2 [in]; B: 1[in]; C: 0.5[in]. (Hong et al., 2023).	25
2.	Contornos de tensión en placas de 1 [in] A: Bisel simple con precalentamiento a 232 [°C] por 20 minutos; B: Bisel doble sin precalentamiento; C: Bisel J sin precalentamiento. (Hong et al., 2023).	26
3.	Efecto del ángulo de bisel en la distorsión angular. (Yukler et al., 2018).	26
4.	Efecto del aporte de calor en la distorsión angular para juntas a tope con biseles en V simple (SVG), ranura en bisel simple (BG) y ranura en doble V o en X (DVG). (Yukler et al., 2018).	27
5.	Gráfico de histéresis M/Mp vs desplazamiento Δ . (Tork-Ladani et al., 2019).	28
6.	Especímenes ensayados (Tork-Ladani et al., 2019)	29
7.	Empalme en Z para perfiles doble T	29
8.	Curvas esfuerzo deformación para diferentes w/g (Khedmati et al., 2007).	31
9.	Variación de resistencia última vs relación espaciamiento libre entre cordones y longitud crítica de pandeo (Khedmati et al., 2007).	32
10.	Espaciamiento permisible máximo entre cordones según el espesor de la placa. (Khedmati et al., 2007).	34
11.	Plancha de refuerzo en extremo de columna	39
12.	Plancha de refuerzo en zona intermedia de columna	40
13.	Remplazo de alma en extremo de columna	40
14.	Remplazo de alma en zona intermedia de columna	41
15.	Ensanche de ala en esquina del elemento	42
16.	Ensanche de ala en un punto intermedio del elemento	42
17.	Tamaños mínimos de soldadura en filete (American Welding Society [AWS], 2020)	52
18.	Tabla 5.8 (AWS, 2020)	53
19.	Tabla 5.8 (AWS, 2020) - Continuación	54
20.	Tabla 5.8 - Continuación. (AWS, 2020)	55
21.	Detalle juntas soldadas en filete precalificadas (dimensiones en mm). (AWS, 2020)	56
22.	Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)	57
23.	Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)	58
24.	Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)	59
25.	Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)	60
26.	Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)	61
27.	Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)	62
28.	Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)	63
29.	Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)	64

30.	Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)	65
31.	Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)	66
32.	Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)	67
33.	Geometría de orificio de acceso de soldadura. (AWS, 2020)	68
34.	Modos de pandeo y distribución de plasticidad para diferentes w/g. (Khedmati et al., 2007)	69
35.	Marca automática sin tratamiento superficial	70
36.	Marca automática con tratamiento superficial	70
37.	Marca manual sin tratamiento superficial	70
38.	Marca manual con tratamiento superficial	70
39.	Detalle de soldadura de placa de refuerzo para zona panel	71
40.	Posición preferente del electrodo para soldadura de filete horizontal. (American Institute of Steel Construction [AISC], 2009).	72
41.	Caso de acceso restringido para soldadura de filete. (AISC, 2009).	72
42.	Distancia mínima de apoyo para soldaduras de filete SMAW [in]. (AISC, 2009). . . .	73
43.	Dimensiones de agujero nominal. (AISC, 2016a).	73
44.	Requisitos de arandelas para uniones empernadas pretensadas y de tipo deslizamiento crítico con agujeros sobremedidos y ranurados en la capa exterior. (RCSC, 2020). . .	74
45.	Reporte lista de partes desde Tekla Structures.	75
46.	Reporte lista de submateriales desde Tekla Structures.	75
47.	Reporte lista de embarque desde Tekla Structures.	76
48.	Reporte registro de emisiones desde Tekla Structures.	76
49.	Reporte transmittal de assemblies desde Tekla Structures.	76
50.	Reporte transmittal de gathers desde Tekla Structures.	77
51.	Disposición geométrica para armado de perfiles especiales hasta 22 mm	77
52.	Disposición geométrica para armado de perfiles especiales sobre 22 mm	78
53.	Garganta efectiva de acorde al proceso de soldado (AISC, 2016a).	78
54.	Diámetros de perforaciones para placas base (AISC, 2016b).	79

Índice de tablas

1.	Estructura general de la nomenclatura de marcas de elementos	17
2.	Estructura general de la nomenclatura de marcas de partes	17
3.	Estándar de tamaños mínimos de soldaduras de filete	19
4.	Espesores mínimos de soldadura ala–alma según criterio ICHA	20
5.	Estándar de soldadura para armado de perfiles especiales en acero A36	24
6.	Criterios de preparación de junta CJP adoptados en el estándar propuesto.	27
7.	Valores obtenidos de L' en función de L para perfiles XL típicos	30
8.	Requisitos para soldaduras intermitentes	35
9.	Requisitos dimensionales para soldaduras intermitentes de filete según AWS D1.1:2020.	35
10.	Dimensiones de pasadas de ratón para planchas en general	36
11.	Dimensiones de pasadas de ratón para soldaduras CJP en alas de perfiles doble T	36
12.	Estándar de perforaciones	38
13.	Nomenclatura de perfiles	50
14.	Nomenclatura de elementos o conjuntos	51
15.	Nomenclatura de partes	51
16.	Aplicación de estándar de marcado	74

1. Introducción

La industria del acero constituye un pilar fundamental para el desarrollo económico e industrial de los países, siendo ampliamente utilizada en proyectos de infraestructura, edificación y procesos productivos diversos. A nivel global, el acero se posiciona como la segunda industria más relevante después de los hidrocarburos, con una producción superior a los 1689 millones de toneladas anuales, de las cuales cerca del 50 % se destina al sector de la construcción en forma de perfiles laminados, barras para hormigón y elementos estructurales (World Steel Association, 2023). Además, se estima que aproximadamente el 36 % del acero producido proviene de materiales reciclados, mientras que en el caso del acero estructural para construcción el contenido reciclado puede alcanzar hasta un 92 % (AISC, 2023). Estas cifras, sumadas a atributos como resistencia, durabilidad y prefabricación, reafirman el rol del acero como un material clave en la construcción moderna.

En el contexto chileno, si bien existen normativas que regulan el diseño como la Nch427 (INN, 2016) y la ejecución como la Nch428 (INN, 2017) de estructuras metálicas, no se cuenta actualmente con un estándar nacional específico para el detallamiento estructural. Esta ausencia normativa implica que las oficinas de cálculo entreguen planos generales sin especificaciones completas, dejando a las maestranzas o talleres metalmecánicos la interpretación de aspectos críticos como uniones, tolerancias o secuencias de montaje, lo que genera riesgos de calidad y trazabilidad.

En contraste, países como Estados Unidos y miembros de la Unión Europea disponen de marcos regulatorios robustos. El AISC 303 Code of Standard Practice (AISC, 2022) establece responsabilidades claras entre proyectistas, detalladores y fabricantes en relación con planos, tolerancias y criterios de aceptación de soldaduras, mientras que la norma EN 1090 en Europa exige sistemas documentados de control de producción y define clases de ejecución según la criticidad de la estructura. Estas referencias normativas han demostrado reducir reprocesos en taller y mejorar la confiabilidad en obra (Pereira & de Melo, 2020).

La literatura reciente también evidencia que la falta de estandarización en procesos de detallamiento y control de calidad incrementa la variabilidad en soldaduras, los errores de ejecución y la probabilidad de fallas por fatiga en estructuras de alta sollicitación (Quiroga Bohórquez, 2023) y (Stenberg et al., 2017). Por otra parte, experiencias en la industria metalmecánica chilena muestran que la implementación de herramientas de mejora continua como SMED y la estandarización operativa permiten mejorar significativamente los niveles de productividad y cumplimiento de plazos de entrega (Silva Chavez & Manrique Reto, 2024).

Adicionalmente, la adopción de metodologías BIM, en particular con el software Tekla Structures, ha habilitado el desarrollo de modelos con alto nivel de detalle (LOD 350–500), capaces de integrar tolerancias y secuencias de fabricación, generar planos de taller, listas de materiales y archivos CNC (BIMForum, 2015). No obstante, el aprovechamiento efectivo de estas capacidades requiere la existencia de un marco estandarizado de modelado y documentación, que defina reglas de nomenclatura, simbología, conexiones y procedimientos consistentes entre diferentes actores del proceso (Dobbie, 2003).

En este escenario, la presente memoria se propone elaborar un manual de estandarización y optimización del detallamiento para la fabricación de estructuras metálicas en maestranzas chilenas, integrando buenas prácticas nacionales e internacionales, análisis normativo y diagnóstico de las

condiciones actuales de la industria. El objetivo es mejorar la calidad del producto final, reducir reprocesos y asegurar la trazabilidad en todo el ciclo productivo, contribuyendo al fortalecimiento competitivo del sector.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Elaborar un manual de estandarización y optimización del detallamiento para la fabricación de estructuras metálicas en maestranzas chilenas, integrando buenas prácticas nacionales e internacionales, análisis normativo y diagnóstico de las condiciones actuales de la industria.

2.2. Objetivos Específicos

1. Definir un sistema de identificación y marcado, aplicable en las maestranzas chilenas, que optimice los procesos de fabricación y montaje, y asegure la trazabilidad de los elementos estructurales.
2. Formular recomendaciones para la optimización de los procesos de armado y soldadura en estructuras metálicas, estandarización de recortes, pasadas de ratón y soldaduras de continuidad, proponiendo configuraciones de biselado eficientes que cumplan con AWS y AISC y que aseguren la funcionalidad estructural.
3. Definir un formato estandarizado de reporte técnico extraído desde Tekla Structures, que permita integrar la información crítica del modelo BIM al proceso de fabricación, facilitando trazabilidad, inspección y control de calidad en la producción de estructuras metálicas.

3. Marco Teórico

3.1. Antecedentes de la Investigación y Conceptos Teóricos

3.1.1. Normativa Internacional y Nacional en Detallamiento

El detallamiento estructural constituye una etapa crítica dentro del ciclo de diseño y fabricación de estructuras metálicas, pues define planos de taller, secuencias constructivas y tolerancias admisibles que aseguran la correcta ejecución. La literatura especializada enfatiza que una deficiencia en esta fase genera sobre costos y aumenta la probabilidad de fallas en servicio (Dobbie, 2003).

En el ámbito internacional, el Code of Standard Practice AISC, 2022 establece que “*The Code provides a useful framework for the common understanding of acceptable standards when contracting for structural steel*” [Este código proporciona un marco útil para el entendimiento común de los estándares aceptables al contratar acero estructural]. Este documento regula responsabilidades entre proyectistas, detalladores y fabricantes, asegurando criterios uniformes de aceptación.

Complementariamente, la norma AWS, 2020 señala que cubre los requisitos de soldadura para cualquier tipo de estructura soldada realizada con aceros al carbono y de baja aleación comúnmente usados en construcción, mientras que en Europa la norma EN 1090 regula la ejecución de estructuras de acero mediante clases de ejecución que reflejan el nivel de exigencia y control requerido (Pereira

& de Melo, 2020).

En Chile, la normativa vigente Nch 427 y Nch 428 (INN, 2016 y INN, 2017) abordan diseño y ejecución, pero no contempla el detallamiento, lo que deja a criterio de cada maestranza la definición de simbología, tolerancias y uniones. Aliaga (2012) advierte que esta ausencia de estandarización en el país genera variabilidad entre talleres, dificultando la trazabilidad y el control de calidad.

3.1.2. Control de Calidad y Soldadura en Estructuras Metálicas

La soldadura es uno de los procesos más sensibles en la fabricación de acero estructural, al concentrar defectos que pueden derivar en fallas prematuras. Stenberg et al., 2017 destacan que "*fatigue failures in welded structures often start in the welded joint where the fatigue strength is generally lower compared to base material*" [Las fallas por fatiga en estructuras soldadas a menudo comienzan en la unión soldada, donde la resistencia a la fatiga es generalmente menor en comparación con el material base.].

En experiencias latinoamericanas, Arias Rosales, 2017 subraya la necesidad de protocolos estrictos de calidad en talleres metalmecánicos, pues su implementación asegura "un proceso de fabricación eficiente y seguro" (Arias Rosales, 2017). De manera similar, Quiroga Bohórquez, 2023 identifica que el control en soldaduras, fijaciones y uniones es esencial para garantizar la seguridad estructural en proyectos educativos en Colombia.

Asimismo, Pereira y de Melo, 2020 enfatizan que el aseguramiento de la calidad en soldaduras exige trazabilidad y la presencia de un coordinador responsable, debido a la complejidad de normativas internacionales aplicables a este proceso. Estos antecedentes refuerzan la necesidad de establecer un marco regulatorio en Chile que articule criterios técnicos, de inspección y aceptación.

3.1.3. Prácticas de Estandarización y Mejora en Maestranzas

La falta de estandarización genera reprocesos y plazos incumplidos en talleres metalmecánicos. Experiencias de mejora continua han mostrado resultados positivos: Silva Chavez y Manrique Reto, 2024 reportan que la aplicación de metodologías SMED (Single Minute Exchange of Die, Cambio rápido de herramientas) y planeamiento de producción incrementó el cumplimiento de entregas a tiempo del 5 % al 64,29 % en una empresa metalmecánica peruana.

Del mismo modo, manuales internacionales internos (*Detailing Standards: Fabrication and AutoCAD Instructions*, 2010) recopilan directrices sobre conexiones, tolerancias y simbología, resaltando la importancia de contar con documentos normativos que homogenizan criterios de fabricación y reducen la variabilidad entre maestranzas.

Estos antecedentes sugieren que la sistematización de procesos no solo mejora la productividad, sino que también refuerza la calidad y la trazabilidad, factores claves en el mercado global de estructuras metálicas.

3.1.4. Transformación Digital y Herramientas BIM

La adopción de metodologías BIM ha permitido un salto cualitativo en el diseño y la fabricación de acero estructural. Tekla Structures posibilita alcanzar niveles de desarrollo (LOD 400–500) capaces de generar planos de taller, listas de materiales y archivos CNC a partir del modelo digital (BIMForum, 2015).

No obstante, como advierte Aliaga Melo, 2012, en Chile el desarrollo de proyectos con plataformas BIM es aún incipiente y no existe una metodología de trabajo asociada a ellas. Esto implica que las guías y estándares internacionales resultan por el momento inutilizables en el contexto nacional, lo que provoca que cada empresa o maestranza adopte criterios propios de modelado y reporte. La falta de criterios uniformes reduce la interoperabilidad entre actores y dificulta que el BIM cumpla su rol como herramienta de control de calidad y trazabilidad en la producción de acero estructural.

3.2. Definición del Problema y Preguntas de Investigación

A partir de los antecedentes expuestos, se concluye que la principal brecha en la industria nacional radica en la inexistencia de una normativa para el detallamiento estructural. Esta ausencia obliga a que cada maestranza defina sus propios criterios, generando reprocesos, falta de trazabilidad y deficiencias de calidad en comparación con los estándares internacionales. Asimismo, esta heterogeneidad de prácticas reduce la capacidad competitiva de la industria chilena frente a mercados internacionales, donde la existencia de estándares consolidados permite asegurar procesos más eficientes, trazables y con estándares de calidad exportables.

La memoria busca dar respuesta a la siguiente pregunta central de investigación:

¿Qué lineamientos técnicos y normativos permiten estandarizar el proceso de detallamiento estructural en Chile para mejorar la calidad, reducir reprocesos y asegurar la trazabilidad en la fabricación de estructuras metálicas?

De esta pregunta principal se derivan las siguientes interrogantes específicas:

- ¿Qué criterios de identificación y marcado pueden aplicarse en maestranzas chilenas para garantizar trazabilidad en la fabricación y montaje?
- ¿Qué recomendaciones técnicas sobre armado, recortes, pasadas de ratón y soldaduras de continuidad pueden proponerse en base a normas internacionales (AISC, AWS) y prácticas locales?
- ¿Qué formato de reporte técnico, generado desde Tekla Structures, puede estandarizarse para integrar información crítica de modelado BIM al proceso productivo?

4. Metodología

La metodología propuesta para el desarrollo de esta memoria se estructura en torno a los tres objetivos específicos definidos previamente. Cada objetivo se aborda mediante un conjunto de actividades secuenciales, que permiten alcanzar hitos concretos y entregables intermedios. La organización

metodológica asegura coherencia entre los objetivos planteados, las actividades realizadas y los resultados esperados, garantizando así un proceso sistemático y trazable.

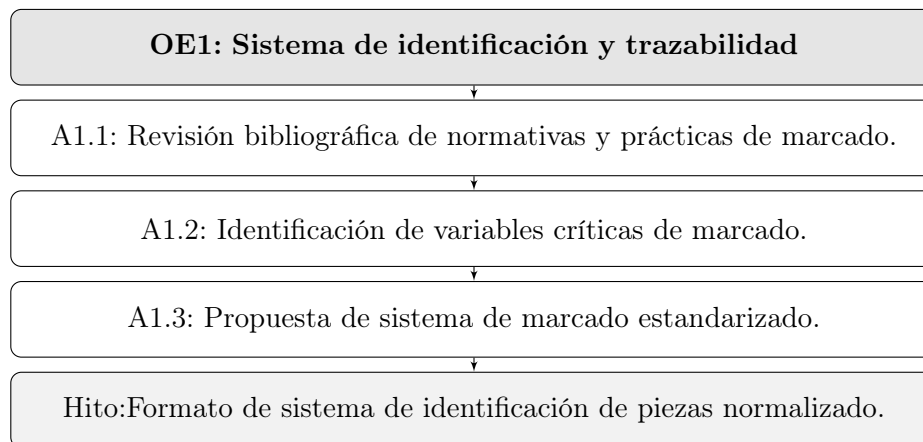
4.1. Objetivo Específico 1

OE1: Definir un sistema de identificación y marcado aplicable en las maestranzas chilenas, que optimice los procesos de fabricación y montaje, y que asegure la trazabilidad de los elementos estructurales.

Para cumplir este objetivo se desarrollarán las siguientes actividades:

- **A1.1:** Revisión bibliográfica de normativas y prácticas de marcado en estructuras metálicas, considerando referencias internacionales (AISC, EN 1090) y experiencias locales.
- **A1.2:** Identificación de variables críticas de marcado relevantes para la trazabilidad en procesos de taller y montaje (códigos de pieza, posición en planos, número de conjunto, proceso, lote, esquema de pintura o caracterización del tratamiento superficial, etc.), evaluando su impacto en la trazabilidad y eficiencia en los procesos de fabricación y montaje.
- **A1.3:** Formulación de una propuesta de sistema de marcado estandarizado aplicable al contexto nacional.

El resultado esperado de este objetivo es un **Formato de sistema de identificación de piezas normalizado**, que servirá como base para la estandarización de procesos de marcado en maestranzas chilenas.



4.2. Objetivo Específico 2

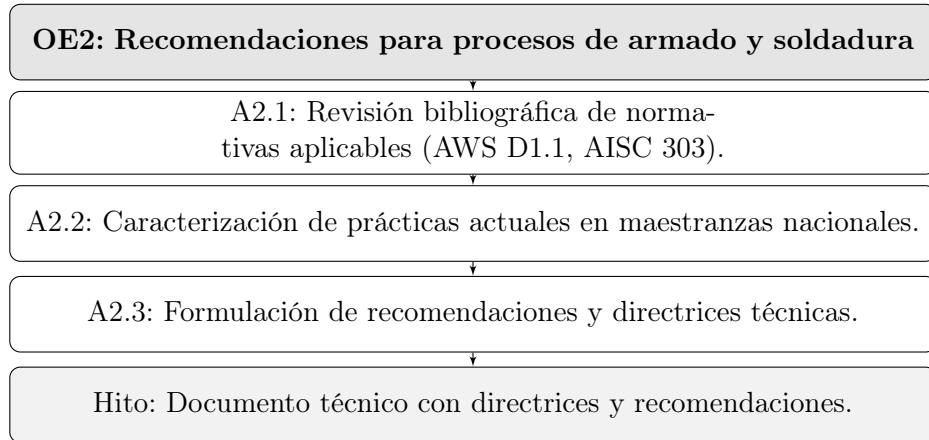
OE2: Formular recomendaciones para la optimización de los procesos de armado y soldadura en estructuras metálicas, estandarización de recortes, pasadas de ratón y soldaduras de continuidad, proponiendo configuraciones de biselado eficientes que cumplan con AWS y AISC y aseguren la funcionalidad estructural.

Este objetivo se desarrolla a través de las siguientes actividades:

- **A2.1:** Revisión bibliográfica de normativas aplicables (AWS D1.1, AISC 303) y manuales técnicos relevantes.

- **A2.2:** Caracterización de prácticas actuales en maestranzas nacionales, mediante levantamiento de información.
- **A2.3:** Formulación de recomendaciones técnicas y directrices ilustradas que integren buenas prácticas internacionales y adapten soluciones al contexto chileno.

El resultado esperado es un **documento técnico con directrices ilustradas y recomendaciones adaptadas a la industria chilena**, que permita reducir la variabilidad de criterios y estandarizar procesos de soldadura y armado.



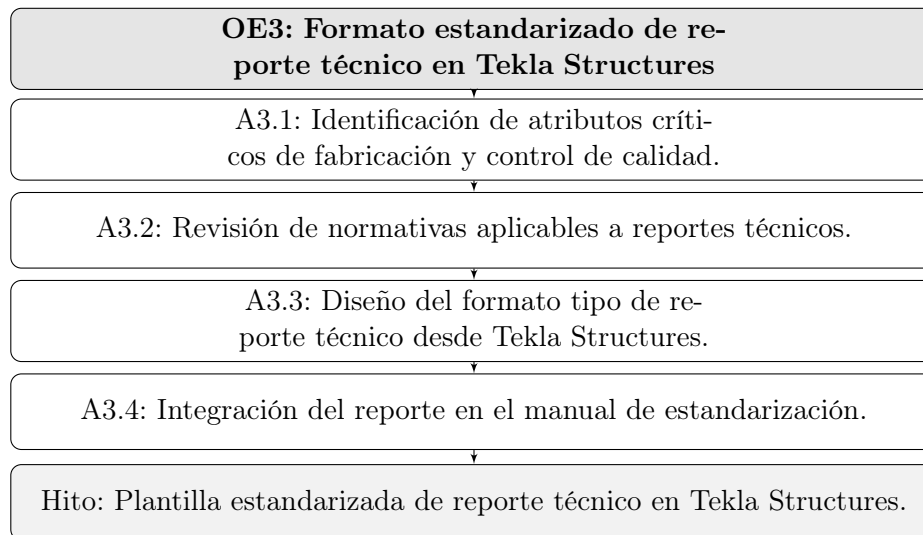
4.3. Objetivo Específico 3

OE3: Definir un formato estandarizado de reporte técnico extraído desde Tekla Structures, que integre información crítica del modelo BIM al proceso de fabricación, facilitando trazabilidad, inspección y control de calidad en la producción de estructuras metálicas.

Las actividades asociadas a este objetivo son:

- **A3.1:** Identificación de atributos críticos de fabricación y control de calidad que deben incorporarse en los reportes.
- **A3.2:** Revisión de normativas técnicas aplicables a la generación y uso de reportes técnicos.
- **A3.3:** Diseño de un formato tipo de reporte técnico generado desde Tekla Structures.
- **A3.4:** Integración del reporte en el manual de estandarización propuesto.

El resultado esperado es una **plantilla estandarizada de reporte técnico en Tekla Structures**, que permita sistematizar la información relevante para la trazabilidad y el control de calidad.



4.4. Resumen Metodológico

En síntesis, la metodología articula tres líneas de trabajo que responden directamente a los objetivos específicos planteados: trazabilidad mediante identificación y marcado (OE1), estandarización de procesos de armado y soldadura (OE2), y desarrollo de un reporte BIM estandarizado (OE3). Cada una de estas líneas produce un entregable concreto que en conjunto conforman el **manual de estandarización y optimización del detallamiento para la fabricación de estructuras metálicas en maestranzas chilenas**.

5. Sistema de identificación y marcado

5.1. Fundamento normativo del marcado de piezas

El marcado de piezas constituye un requisito esencial para garantizar la trazabilidad entre los planos de taller, la fabricación en maestranza y el montaje en obra. La normativa internacional establece lineamientos claros respecto a su organización, aplicación y responsabilidades, siendo las referencias principales el Detailing for Steel Construction AISC, 2009 y el Code of Standard Practice AISC, 2022.

De acuerdo con el Detailing for Steel Construction AISC, 2009, el sistema de marcado debe contemplar distintas categorías de identificación:

- **Sistemas de numeración y marcas de planos:** el uso de prefijos y sufijos en los números de dibujo y en las marcas de envío facilita las operaciones de taller y montaje, permitiendo mantener la correlación entre planos y piezas. En proyectos de gran envergadura, la división en secuencias de envío asegura un flujo ordenado de fabricación y montaje.
- **Marcas de envío o montaje (Shipping/Erection Marks):** cada pieza principal debe contar con una marca única que combine el número de plano de taller con la identificación de la pieza (ejemplo: 1B1). Estas marcas permiten una asociación inmediata entre la pieza fabricada y el plano donde se detalla, y pueden incorporar información adicional como nivel de piso, secuencia de envío o ubicación de grúa.

- **Marcas de ensamblaje (Assembly Marks):** todos los subcomponentes, tales como placas, rigidizadores o ángulos, deben identificarse mediante marcas de ensamblaje. Estas pueden ser alfabéticas, numéricas o combinadas, y se transfieren a plantillas y piezas durante la fabricación para garantizar su correcta asociación al conjunto principal.
- **Piezas derecha/izquierda:** el manual reconoce la necesidad de diferenciar elementos simétricos o espejados, especialmente en columnas y vigas. Se utilizan convenciones como “mano derecha” y “mano izquierda” para evitar errores de montaje en estructuras que presentan simetrías.

Por su parte, el Code of Standard Practice AISC, 2022 establece las responsabilidades del fabricante respecto al marcado. En su Sección 6.1 exige la implementación de procedimientos escritos para la identificación del material y de cada pieza fabricada, incluyendo designación de forma, grado de acero y número de lote cuando corresponda.

En síntesis, el marco normativo internacional define que toda pieza estructural debe contar con un sistema de marcado único, legible y permanente, que asegure la correspondencia entre planos, fabricación y montaje, y que otorgue trazabilidad en todo el ciclo productivo. Estos lineamientos constituyen la base para la propuesta de sistema de identificación y trazabilidad desarrollada en el presente trabajo.

5.2. Respaldo práctico sobre métodos de marcado

La experiencia práctica evidencia que los sistemas de marcado influyen en la legibilidad de las piezas durante el montaje. El método automático, si bien asegura mejor alineación, presenta menor profundidad, lo que reduce su visibilidad después de procesos de pintado o galvanizado como se muestra en las figuras 35 y 36.

En contraste, el método manual (huellas de golpe) ofrece menor regularidad en la alineación, pero logra mayor profundidad de huella, garantizando una lectura más clara incluso después de tratamientos superficiales figuras 37 y 38.

En este contexto, se reconoce la importancia de definir no solo el sistema de nomenclatura, sino también la **técnica de aplicación del marcado**. Para efectos de esta propuesta, se establece como primera opción el **marcado directo sobre la pieza de forma manual**, por su mayor legibilidad y confiabilidad. Como alternativa secundaria, se acepta el uso de placas soldadas con la identificación mediante huella de golpes, aunque esta opción requiere un proceso adicional de soldadura y costo.

5.3. Nomenclatura

Se define el estándar de marcado de piezas y de nomenclatura de elementos, partes y conjuntos. La aplicación de la nomenclatura propuesta se muestra en la tabla 16.

5.3.1. Marcado de elementos

Los elementos se identificarán mediante un sistema de marcado abreviado conformado por dos campos alfanuméricos:

Campo 1: Corresponde a la identificación del proyecto y edificio o área, de acuerdo con la información de diseño establecida por el cliente.

Campo 2: Corresponde a la identificación específica del elemento, siguiendo las tablas definidas para esto.

Tabla 1: Estructura general de la nomenclatura de marcas de elementos

X_1X_2	$PR \quad Z_1Z_2Z_3$
Campo 1	Campo 2
Designación del proyecto (X_1) y Edificio o área (X_2).	Identificación del elemento o conjunto (PR), y Número correlativo de 3 caracteres (Z_1, Z_2, Z_3).

5.3.2. Marcado de partes

Las partes se identificarán mediante un sistema de marcado abreviado conformado por solo un campo alfabético:

Campo 1: Corresponde a la identificación de la parte con su número correlativo correspondiente.

Tabla 2: Estructura general de la nomenclatura de marcas de partes

$Y_1 \quad Z_1Z_2Z_3$
Campo 1
Parte asociada (Y_1) y Número correlativo de 3 caracteres (Z_1, Z_2, Z_3).

Nota: Todos los elementos emitidos como planos y reportes desde Tekla Structures deberán considerar estas configuraciones de nomenclatura.

5.3.3. Nomenclatura de perfiles

La denominación de perfiles viene dada por la tabla 13

5.3.4. Nomenclatura de elementos o conjuntos

La denominación de elementos y conjuntos viene dada por la tabla 14

5.3.5. Nomenclatura de Partes

La denominación de partes viene dada por la tabla 15

6. Directrices de armado y soldadura

6.1. Espesores de soldadura de filete en armado de piezas

La norma AWS, 2020 establece en su Tabla 7.7 (Figura 17) los tamaños mínimos de soldadura en filete, los cuales deben definirse en función del espesor de la parte más delgada que participa en

la unión. La aplicación de esta tabla considera que, cuando se emplean procesos de bajo hidrógeno o se cumple con los requisitos de precalentamiento establecidos por la norma, el espesor relevante para determinar el tamaño mínimo es siempre el de la placa más delgada. Asimismo, la normativa aclara que no es necesario que la soldadura de filete exceda dicho espesor, evitando sobre soldadura innecesaria.

Estos tamaños mínimos no constituyen requisitos de resistencia estructural, sino que corresponden a límites orientados a asegurar una correcta ejecución de la soldadura. La tabla garantiza una adecuada fusión entre las piezas, un control razonable del enfriamiento y niveles mínimos de calidad que evitan defectos típicos en filetes delgados, tales como falta de fusión, reducción de la garganta efectiva o fragilización por enfriamiento acelerado. En conjunto, estos criterios permiten asegurar que la unión mantenga una integridad constructiva mínima en condiciones reales de fabricación.

Complementariamente, la Sección 6.8.4 de la AWS, 2020 establece que las temperaturas de precalentamiento y entre pasadas deben definirse en función de la composición del acero (Figura 18) o mediante métodos alternativos reconocidos. Esto implica que, en situaciones con mayor riesgo de agrietamiento por hidrógeno, puede ser necesario aplicar un precalentamiento superior al mínimo, de modo que los espesores definidos por la norma resulten seguros en la práctica y mantengan una adecuada tenacidad del metal depositado.

Finalmente, cuando las uniones forman parte de estructuras sometidas a solicitaciones cíclicas, la norma fija un tamaño mínimo obligatorio de 3/16" (5 mm), siempre que el espesor del metal base lo permita.

Considerando lo anterior y las condiciones habituales de trabajo en maestranzas nacionales, el presente estándar adopta los siguientes criterios para la determinación del tamaño mínimo de soldaduras en filete:

1. El espesor de referencia para determinar el tamaño mínimo será siempre el de la placa más delgada unida, de acorde a lo impuesto por la norma.
2. El tamaño de la soldadura no deberá superar el espesor de la placa más delgada, manteniendo la coherencia normativa y evitando sobre espesores innecesarios.
3. El tamaño mínimo de soldadura en filete será de 5 mm siempre que el espesor del metal base lo permita, atendiendo a que las estructuras consideradas pueden estar sometidas a solicitaciones cíclicas y siguiendo lo establecido por la AWS, 2020.

En la Tabla 3 se presentan los tamaños mínimos de soldadura en filete adoptado para el presente estándar, los cuales se adaptan correctamente a la realidad nacional y respetan lo dictado por la AWS, 2020

Tabla 3: Estándar de tamaños mínimos de soldaduras de filete

Espesor del metal base (T) [mm]	Tamaño mínimo de filete [mm]
$T \leq 6$	T
$6 < T \leq 12$	5
$12 < T \leq 20$	6
$T > 20$	8

Nota: Solo se permiten espesores de filete menores a 5 mm para metales bases desde 4 mm hacia abajo, siendo el espesor de filete para estos casos igual al espesor del metal base.

6.2. Espesores de soldadura de filete necesarios para desarrollar la resistencia perfiles típicos

La unión entre el alma y las alas en los perfiles utilizados en maestranza debe garantizar la transmisión completa de los esfuerzos que circulan por el elemento estructural. En este tipo de uniones, la soldadura cumple una función resistente fundamental, por lo que el tamaño del filete no puede definirse únicamente a partir de los mínimos constructivos establecidos por la AWS, 2020, sino que debe asegurar que la unión sea capaz de desarrollar la resistencia requerida por el perfil.

En el contexto nacional, el Instituto Chileno del Acero (ICHA) establece espesores mínimos de soldadura utilizados en la fabricación de perfiles, los cuales se definen para garantizar la continuidad del flujo de esfuerzos entre el alma y las alas. Estos valores no corresponden a límites de ejecución, sino a espesores estructuralmente necesarios para que la soldadura participe de manera adecuada en la resistencia del miembro.

En consecuencia, el presente estándar adopta directamente los espesores definidos por el ICHA como criterio obligatorio para las uniones ala-alma. Esta decisión permite asegurar que las uniones presenten una capacidad resistente coherente con la práctica nacional, evitando la aplicación de espesores inferiores que podrían comprometer la integridad estructural del perfil. Asimismo, este enfoque homogeniza los procedimientos de fabricación en maestranzas y garantiza que la soldadura desempeñe el rol estructural para el cual fue proyectada.

Además, los espesores definidos por el ICHA se fundamentan en dos consideraciones técnicas que resultan esenciales para garantizar el comportamiento resistente del perfil. En primer lugar, se incorpora el criterio de mínimo constructivo, el cual exige que el tamaño del filete sea compatible con el espesor de las planchas que conforman el alma y las alas. Esto evita problemas como la falta de fusión o el agrietamiento por enfriamiento rápido, fenómenos que pueden presentarse cuando se emplean filetes demasiado pequeños respecto del espesor del material más grueso.

En segundo término, los espesores adoptados permiten asegurar la correcta transmisión del flujo de corte horizontal entre las partes del perfil, requisito indispensable para que la sección estructural actúe como una unidad monolítica. De este modo, la soldadura no solo cumple una función de continuidad geométrica, sino también de transferencia efectiva de esfuerzos, contribuyendo directamente al desarrollo de la resistencia flexional y cortante del miembro.

Finalmente, los valores entregados por el ICHA se alinean con los procedimientos de fabricación históricamente utilizados en Chile, particularmente los establecidos en la normativa asociada a perfiles soldados al arco sumergido. Esta referencia asegura que los espesores especificados sean constructivamente realizables, mantengan uniformidad en la industria nacional y otorguen un nivel adecuado de confiabilidad estructural. En conjunto, estos criterios justifican la adopción de los espesores indicados como requisito obligatorio para las uniones ala–alma en maestranza.

Tabla 4: Espesores mínimos de soldadura ala–alma según criterio ICHA

Espesor del alma [mm]	Espesor mínimo de soldadura ($S_{\min}$) [mm]
$t_w \leq 6$	4
$6 < t_w \leq 8$	5
$8 < t_w \leq 12$	6
$12 < t_w \leq 16$	8
$16 < t_w \leq 18$	10
$18 < t_w \leq 22$	12
$t_w > 22$	14

6.3. Criterios para el armado de perfiles especiales en acero A36

La fabricación de perfiles especiales en maestranza genera configuraciones de alma y alas que no se encuentran cubiertas por los prontuarios del Instituto Chileno del Acero (ICHA). Mientras que los perfiles normalizados tipo H cuentan con espesores mínimos de soldadura definidos industrialmente, los perfiles especiales no poseen un criterio resistente establecido. Debido a ello, es necesario definir un procedimiento que permita determinar el espesor de soldadura ala–alma capaz de transmitir la resistencia requerida por el perfil en acero A36, garantizando un desempeño estructural equivalente al de los perfiles estandarizados.

El criterio propuesto se basa en la igualdad entre la resistencia que desarrolla la placa de acero conectada y la resistencia que ofrece la soldadura, siguiendo metodologías establecidas por la AISC, 2016a y AWS, 2020. Este procedimiento fue complementado con una evaluación geométrica de la garganta efectiva de la soldadura para diversas combinaciones de filete y bisel, lo que permitió generar una tabla final de espesores aplicables a configuraciones no normalizadas de perfiles armados.

6.3.1. Exigencia resistente para perfiles especiales en A36

El punto de partida consiste en asegurar que la soldadura sea capaz de transmitir el esfuerzo correspondiente al alma del perfil especial. Para acero A36, cuya resistencia de fluencia es:

$$F_y = 2,53 \text{ ton/cm}^2, \quad (1)$$

se adopta una tensión admisible al corte igual a:

$$\tau_{\text{adm}} = 0,2 F_y, \quad (2)$$

de acuerdo con los criterios de diseño por tensiones admisibles establecidos por la AISC, 2016a. La resistencia admisible al corte que debe transmitir la soldadura se obtiene como:

$$T = (0,2F_y) t_w L, \quad (3)$$

donde:

- t_w : espesor del alma del perfil especial,
- L : longitud efectiva de la soldadura.

Por otra parte, la resistencia admisible de una soldadura en filete utilizando electrodo E70XX se calcula mediante la tensión admisible del metal de soldadura:

$$F_s = 1,044 \text{ ton/cm}^2. \quad (4)$$

La garganta de un filete corresponde a $0,707s$, por lo que la resistencia de la soldadura resulta:

$$T_w = 2LF_s(0,707s), \quad (5)$$

donde s es el tamaño del filete.

Igualando ambas expresiones y despejando s , se obtiene:

$$s = 0,2 \frac{F_y}{F_s} t_w. \quad (6)$$

Reemplazando $F_y = 2,53$ y $F_s = 1,044$:

$$s = 0,2 \cdot \frac{2,53}{1,044} t_w \approx 0,48 t_w. \quad (7)$$

Por tanto, el espesor requerido de filete para que la unión desarrolle la resistencia del perfil especial en A36 corresponde al 48 % del espesor del alma conectada. Este valor constituye el criterio base para determinar el espesor de soldadura ala-alma.

6.3.2. Respaldo normativo del aumento del 50 % en la resistencia de la soldadura

Según la AISC, 2016a, la resistencia disponible de un filete puede incrementarse mediante el factor:

$$1,0 + 0,50 \sin^{1,5}(\theta), \quad (8)$$

donde:

- θ : ángulo entre la línea de acción de la carga y el eje longitudinal del filete.

Para cargas perpendiculares, $\theta = 90^\circ$, lo que produce:

$$1,0 + 0,50 \sin^{1,5}(90^\circ) = 1,50. \quad (9)$$

Este aumento del 50 % respalda el uso del factor 1.5 en el cálculo resistente aplicado a perfiles especiales en A36, dado que las soldaduras ala-alma se encuentran sometidas a esfuerzo perpendicular bajo condiciones habituales de trabajo.

6.3.3. Garganta requerida para perfiles especiales en A36

Para efectos prácticos, el criterio $s = 0,48t_w$ se expresa en términos de garganta mínima. Dado que:

$$g = 0,707 s, \quad (10)$$

la garganta requerida para transmitir la resistencia del alma se obtiene como:

$$g_{\text{req}} = 0,5 t_w \cdot 0,707. \quad (11)$$

6.3.4. Evaluación de configuraciones de soldadura

Para cada espesor t_w , se evaluaron sistemáticamente distintas combinaciones de:

- filete puro,
- filete más bisel parcial (PJP),

con el fin de proponer soluciones prácticas y resistentes para perfiles especiales en acero A36.

Filete puro

La garganta de un filete se expresa como:

$$g = 0,707 s. \quad (12)$$

La configuración es válida si:

$$0,707 s \geq g_{\text{req}}. \quad (13)$$

Bisel parcial más filete

En espesores mayores, los filetes pueden resultar poco prácticos. Para estos casos se evaluaron configuraciones de bisel parcial combinadas con filete, respetando que en posiciones verticales o sobre cabeza con procesos GMAW/FCAW se descuenta 3 mm de la garganta debido a la menor confiabilidad de fusión en la raíz del bisel bajo esas condiciones tal como lo indica el AISC, 2016a en su tabla J2.1 (Figura 53).

La garganta efectiva se asumirá solo considerando la hipotenusa que llega hasta donde termina la soldadura pjp, esto es más conservador y hace que el filete cumpla una función de dejar un ángulo recto limpio.

Lo anterior se determina como:

$$g = \sqrt{a^2 + s^2} - 3mm, \quad (14)$$

donde a es la profundidad del bisel.

La solución es válida cuando se cumple:

$$g \geq g_{\text{req}}. \quad (15)$$

6.3.5. Límites prácticos de fabricación

En la fabricación de perfiles especiales, el uso de filete puro se limita a almas de hasta 22 mm de espesor, ya que mantener este método por encima de dicho valor vuelve la solución poco práctica. Para espesores mayores, el filete requerido para desarrollar la resistencia del alma crecería en exceso, generando cordones demasiado grandes, de difícil ejecución y con mayor riesgo de distorsión y defectos. Por ello, a partir de espesores mayores a los 22 mm se recurre a configuraciones combinadas de bisel parcial más filete, que permiten alcanzar la garganta necesaria de manera más eficiente y compatible con la operación real de maestranza.

Así:

- Si $t_w \leq 22$ mm, la unión se resuelve mediante filete puro.
- Si $t_w > 22$ mm, la unión debe resolverse mediante bisel parcial más filete, cumpliendo siempre $g \geq g_{\text{req}}$.

6.3.6. Resultados del procedimiento

Aplicando:

- Criterio resistente $s = 0,48t_w$
- Garganta requerida g_{req}
- Evaluación geométrica de filete y PJP
- Límite práctico de filete puro.

Se obtuvieron las combinaciones de soldadura que garantizan que las uniones ala-alma de perfiles especiales en acero A36 desarrollen completamente la resistencia asociada al alma. Estas configuraciones se muestran en la siguiente tabla y las disposiciones geométricas se muestran en las figuras 51 y 52

Tabla 5: Estándar de soldadura para armado de perfiles especiales en acero A36

Espesor Alma t_w [mm]	Bisel a [mm]	Filete s [mm]	Base t [mm]	Garganta g [mm]	Garganta requerida [mm]	FU
6	0	5	N/A	3.5	2.1	0.60
8	0	5	N/A	3.5	2.8	0.80
10	0	6	N/A	4.2	3.5	0.83
12	0	6	N/A	4.2	4.2	1.00
14	0	8	N/A	5.7	4.9	0.88
16	0	8	N/A	5.7	5.7	1.00
18	0	10	N/A	7.1	6.4	0.90
20	0	10	N/A	7.1	7.1	1.00
22	0	12	N/A	8.5	7.8	0.92
25	12	6	14.1	10.4	8.8	0.85
28	12	6	14.1	10.4	9.9	0.95
32	12	8	17.0	11.4	11.3	0.99
35	14	8	17.0	13.1	12.4	0.94
38	14	10	17.0	14.2	13.4	0.95
40	14	10	19.8	14.2	14.1	1.00
50	20	10	22.6	19.4	17.7	0.91
63	24	10	28.3	23.0	22.3	0.97
75	28	10	33.9	26.7	26.5	0.99
100	38	10	45.3	36.3	35.4	0.97

6.4. Criterios de espesores para la aplicación de biseles dobles en soldaduras CJP

6.4.1. Normativa vigente

El AWS, 2020 establece que las soldaduras de penetración completa (CJP) pueden ejecutarse mediante procedimientos precalificados (WSP), siempre que se respeten las limitaciones y tolerancias de la Sección 5 y los detalles de junta definidos en la Figura 5.1 de la norma (Figura 22) Dichos detalles incluyen configuraciones en V simple, bisel simple, doble V y doble bisel, todas ellas válidas para espesores ilimitados, bajo las condiciones de respaldo y preparación de raíz indicadas en el código.

En consecuencia, la norma no fija un umbral específico de espesor para optar por doble V o doble bisel, dejando esta decisión a criterios de diseño y productividad, orientados a reducir distorsiones y optimizar el volumen de soldadura.

6.4.2. Evidencia académica

La selección entre un bisel simple y uno doble en uniones de penetración completa (CJP) depende de la relación entre el espesor de la placa, los volúmenes de aporte requeridos y la capacidad de controlar deformaciones residuales. En espesores reducidos (8–16 mm), las juntas en V simple resultan prácticas y aceptables; sin embargo, a medida que aumenta el espesor, la eficiencia y la calidad de la unión requieren la transición a preparaciones de doble bisel o doble V (International Organization for Standardization, 2013; United States Navy, 1996).

Estos hallazgos refuerzan que, si bien el código AWS D1.1 habilita tanto V simple como doble V para espesores ilimitados, en la práctica el doble bisel se vuelve preferente a partir de espesores medios (16-20 [mm]) y prácticamente indispensable sobre los 25 [mm]. Su adopción permite controlar mejor la distorsión angular, reducir tensiones residuales y asegurar una fusión completa de la raíz con menor consumo de material de aporte.

Diversos estudios han demostrado que la selección de la geometría de junta en soldaduras CJP depende fuertemente del espesor de la placa y de los efectos asociados a tensiones residuales y distorsión angular. Hong et al., 2023 evaluaron mediante simulaciones FEM el comportamiento de placas con espesores de 12,7 mm, 25,4 mm y 50,8 mm.

Los resultados mostraron que el espesor influye de manera decisiva en la distribución de tensiones residuales. Aunque podría esperarse que una placa más gruesa presente mayores tensiones, las simulaciones evidenciaron que la placa de 25,4 mm exhibe una zona más intensamente solicitada que la de 50,8 mm. Esto se debe a que, en espesores intermedios, el cordón afecta proporcionalmente una fracción mayor del espesor total, generando gradientes térmicos más severos y una concentración más marcada de tensiones en la zona del bisel. En placas más gruesas, en cambio, la mayor masa térmica distribuye el gradiente y reduce el pico local, aunque mantenga una zona extensa con tensiones elevadas. Por ello, la geometría de la junta debe ajustarse considerando no solo el espesor absoluto, sino también cómo éste modifica la forma en que se acumulan y redistribuyen las tensiones residuales durante el enfriamiento.

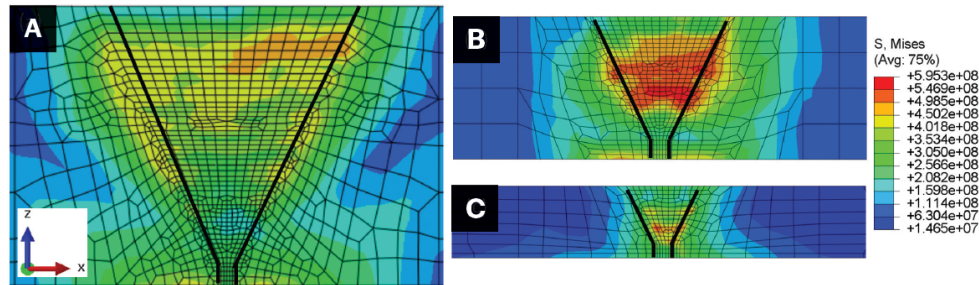


Figura 1: Contornos de tensión para ranuras en V simple con distintos espesores de placa base A: 2 [in]; B: 1[in]; C: 0.5[in]. (Hong et al., 2023).

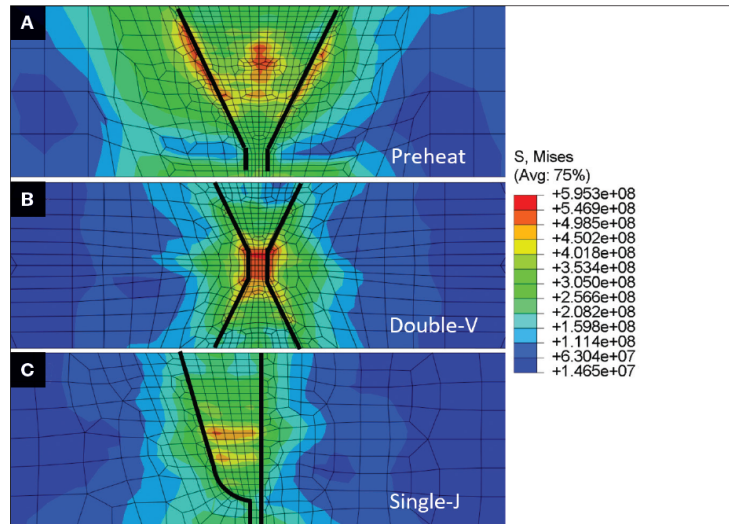


Figura 2: Contornos de tensión en placas de 1 [in] A: Bisel simple con precalentamiento a 232 [°C] por 20 minutos; B: Bisel doble sin precalentamiento; C: Bisel J sin precalentamiento. (Hong et al., 2023).

Los resultados muestran que, a medida que aumenta el espesor, las juntas en V simple concentran tensiones residuales superiores a 400 MPa en zonas extensas, afectando tanto el metal de aporte como la zona afectada por el calor. En contraste, al utilizar una configuración de doble V en placas de 25,4 mm, las tensiones se redistribuyen hacia el centro de la sección, reduciendo los gradientes en la superficie expuesta. Asimismo, configuraciones en bisel en J logran disminuir significativamente la magnitud de las tensiones máximas al reducir el volumen de soldadura requerido.

Complementariamente, Yukler et al., 2018 demostraron que la distorsión angular en uniones a tope depende fuertemente de la geometría de bisel.

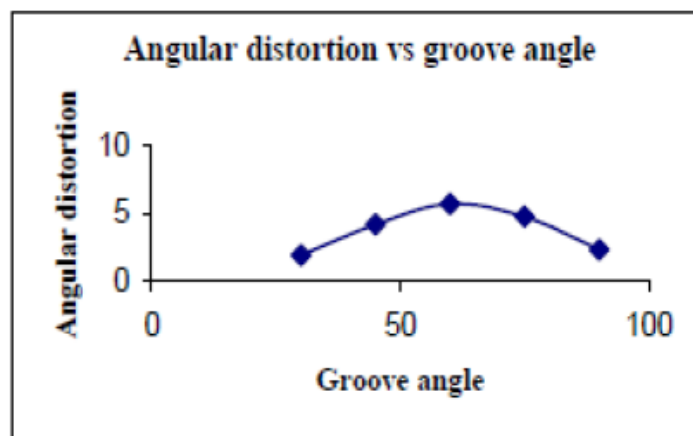


Figura 3: Efecto del ángulo de bisel en la distorsión angular. (Yukler et al., 2018).

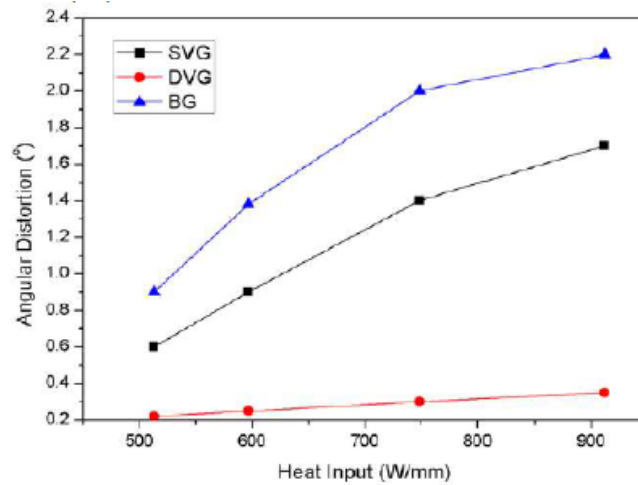


Figura 4: Efecto del aporte de calor en la distorsión angular para juntas a tope con biseles en V simple (SVG), ranura en bisel simple (BG) y ranura en doble V o en X (DVG). (Yukler et al., 2018).

Los resultados muestran que el ángulo y la geometría de la preparación influyen directamente en la distorsión angular. Mientras que en juntas con bisel simple las contracciones térmicas desbalanceadas generan rotaciones indeseadas, las configuraciones en doble V o bisel doble logran un mejor control de este efecto.

6.4.3. Estandarización de tipo de bisel para CJP

De esta forma y con todo el sustento normativo y académico el estándar propuesto define lo siguiente para el tipo de bisel en soldaduras de penetración completa (CJP)

Tabla 6: Criterios de preparación de junta CJP adoptados en el estándar propuesto.

Espesor de placa (mm)	Tipo de bisel
$t \leq 16$	Bisel simple
$t > 16$	Doble V / Bisel doble / Bisel J

6.5. Empalmes Soldados en perfiles doble T

6.5.1. Normativa vigente

Lo que la norma AWS D1.1/D1.1M:2020 establece sobre empalmes:

- Los empalmes deben realizarse en planos transversales al eje del elemento, asegurando la continuidad estructural. Se recomienda su ejecución en taller para garantizar un mejor control de calidad. (Sección 7.19)
- La secuencia de soldadura debe ser equilibrada para minimizar distorsiones y tensiones residuales generadas por la contracción térmica. (Sección 7.20)
- Cuando el empalme deba transmitir completamente los esfuerzos del elemento, debe emplearse soldadura de penetración completa (CJP). (Sección 4.7)

Lo que la norma AWS D1.1/D1.1M:2020 no especifica directamente:

- No establece dimensiones mínimas de traslape en los empalmes.
- No prescribe una geometría específica de empalme.
- No diferencia entre empalmes de vigas o columnas, entregando disposiciones generales aplicables a cualquier miembro estructural soldado.
- Al trabajar solo con perfiles laminados, sus empalmes son con cortes rectos, haciendo que la soldadura vaya en un solo plano de la falla.

6.5.2. Evidencia académica

En el trabajo de Tork-Ladani et al., 2019 se evaluó experimentalmente el comportamiento a flexión de distintos tipos de empalmes de columna, mediante ensayos en los que se registraron curvas de histéresis momento-rotación y momento-desplazamiento. Los resultados evidenciaron que el empalme soldado a tope con penetración completa (CJP) presentó el mayor nivel de rigidez y capacidad resistente, alcanzando el momento plástico del perfil más débil sin manifestar daño apreciable en la zona de soldadura.

A continuación, en la Figura 5, se presenta la comparación entre las curvas histeréticas obtenidas para empalmes soldados y aquellos con placa de extremo (End plate).

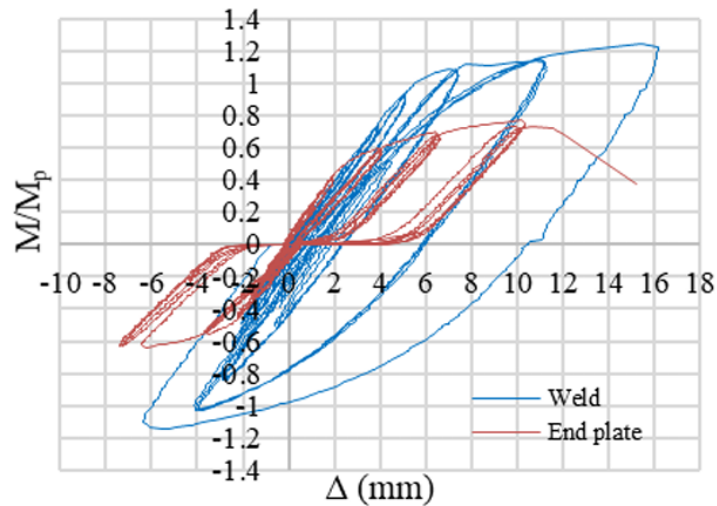
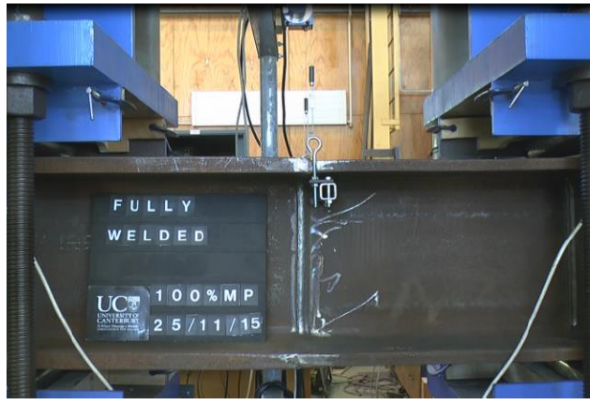
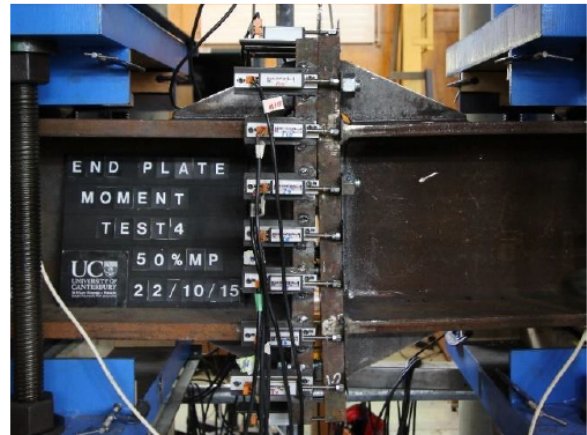


Figura 5: Gráfico de histéresis M/M_p vs desplazamiento Δ . (Tork-Ladani et al., 2019).



(a) Empalme soldado (weld)



(b) Empalme con placa de extremo (end plate)

Figura 6: Especímenes ensayados (Tork-Ladani et al., 2019)

Las curvas de histéresis correspondientes al empalme soldado exhibieron una respuesta elasto-plástica estable, con mínima degradación de rigidez y reducida deformación rotacional, lo que evidencia un comportamiento prácticamente continuo del elemento y una transmisión integral de los esfuerzos a través del empalme. En contraste, las uniones apernadas con placa de extremo mostraron mayores deformaciones y pérdida progresiva de rigidez a medida que aumentaba la demanda cíclica, reflejando una disipación energética inferior y la aparición de concentraciones locales de deformación. En consecuencia, el empalme soldado a penetración completa se comporta como una prolongación monolítica del perfil, sin constituir una zona de plastificación, garantizando así la continuidad estructural y la integridad del flujo de esfuerzos a lo largo del miembro.

6.5.3. Empalmes soldados en perfiles doble T

De acorde a lo revisado anteriormente y las prácticas comunes de maestranzas Chilenas se define usar una configuración "Z" para los empalmes con las siguientes características:

- Traslapo de 500 mm de cada ala sobre el alma y no inferior a un tercio de la altura total del perfil
- Soldadura CJP con bisel simple respetando los espesores establecidos en la memoria y un bisel abierto hacia afuera

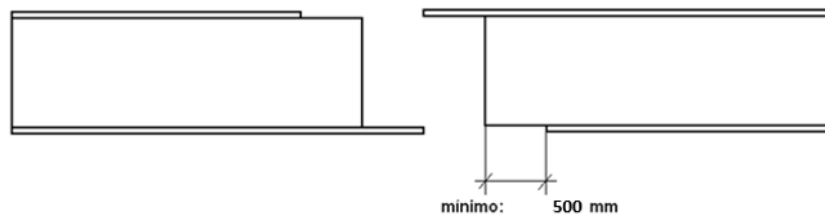


Figura 7: Empalme en Z para perfiles doble T

6.6. Estándar de separadores de perfiles XL

Los perfiles XL corresponden a elementos compuestos formados por dos perfiles tipo L que trabajan solidariamente bajo compresión. Para evitar que uno de los perfiles componentes pandee antes que el perfil XL completo, es necesario controlar la esbeltez del perfil L mediante separadores transversales.

La esbeltez del perfil compuesto y del componente se define como:

$$\lambda = \frac{L}{r}, \quad \lambda' = \frac{L'}{r'} \quad (16)$$

donde L es la longitud no arriostrada del perfil XL, r su radio de giro mínimo, L' la distancia entre separadores y r' el radio de giro del perfil L. Para asegurar que la inestabilidad ocurra en el perfil compuesto, se impuso la condición:

$$\lambda' \leq 0,75 \lambda \quad (17)$$

lo que conduce a la expresión:

$$L' = 0,75 L \frac{r'}{r} \quad (18)$$

La evaluación de distintas combinaciones habituales de perfiles L y XL mostró que la razón L'/L se mantiene en un rango acotado entre 0.35 y 0.37. La Tabla 7 presenta los valores obtenidos para configuraciones representativas de uso frecuente en maestranza.

Tabla 7: Valores obtenidos de L' en función de L para perfiles XL típicos

Perfil XL	Perfil L	L'/L
XL 40	L 20	0.36
XL 35	L 17.5	0.36
XL 30	L 15	0.36
XL 25	L 12.5	0.36
XL 20	L 10	0.36
XL 16	L 8	0.36–0.37
XL 13	L 6.5	0.36–0.37
XL 10	L 5	0.36–0.37
XL 8	L 4	0.36–0.37
XL 6	L 3	0.35
XL 5	L 2.5	0.35
XL 4	L 2	0.35

Dado que el valor mínimo obtenido es cercano a $0,35L$, se propone como criterio práctico disponer los separadores a una distancia aproximada de:

$$L' \approx \frac{L}{3} \quad (19)$$

lo cual garantiza que el pandeo ocurra en el perfil XL completo y entrega un patrón de arriostamiento simple y consistente con los procesos habituales de fabricación.

6.7. Intermitencia de soldaduras

6.7.1. Evidencia académica

La influencia del espaciamiento entre cordones de soldadura en la rigidez y capacidad portante de los elementos comprimidos ha sido objeto de diversos estudios experimentales y numéricos. Entre ellos, destaca el trabajo de Khedmati et al., 2007, quienes realizaron un análisis mediante el método de los elementos finitos (FEM) para evaluar el comportamiento de placas rigidizadas unidas con soldaduras de filete intermitentes sometidas a carga axial de compresión en su plano. El estudio permitió determinar cómo la longitud del tramo sin soldadura (gap) afecta la resistencia última, la rigidez inicial y el modo de pandeo local del conjunto placa-rigidizador.

Los autores analizaron distintos modelos variando la relación entre la longitud del cordón y el espacio libre (w/g), observando que al aumentar la distancia sin soldadura se produce una pérdida progresiva de rigidez y una reducción significativa de la resistencia última. Este comportamiento se atribuye al pandeo local en los tramos no soldados, que induce concentraciones de esfuerzos en los extremos de los cordones y puede originar la falla prematura del elemento antes de alcanzar el esfuerzo de fluencia.

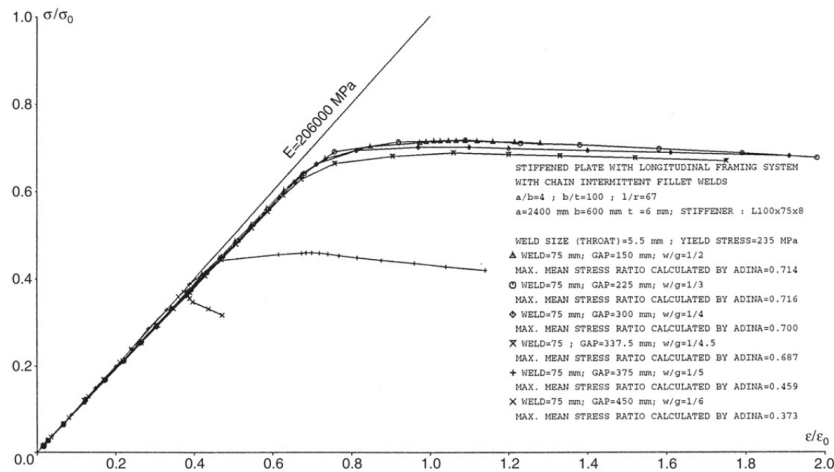


Figura 8: Curvas esfuerzo deformación para diferentes w/g (Khedmati et al., 2007).

En dicha figura se aprecia claramente que los modelos con mayor espaciamiento entre cordones presentan una pendiente más reducida en la curva esfuerzo-deformación, reflejando una disminución de rigidez y una caída anticipada en la resistencia. Esto confirma que el espaciamiento excesivo genera una zona flexible en la unión, comprometiendo la capacidad portante global del miembro comprimido.

La Tabla 4 del estudio (Figura 34) muestra, además, los modos de deformación y plastificación que se desarrollan al superar el espaciamiento crítico. En los modelos con relaciones w/g bajas (mayor distancia sin soldadura), se evidencia la aparición de pandeo localizado entre las líneas de soldadura, donde el material base entra en plastificación alrededor de los extremos de los cordones. Este comportamiento valida la hipótesis de que los tramos no soldados actúan como segmentos esbeltos susceptibles a inestabilidad local.

Las simulaciones presentadas por Khedmati et al., 2007 evidencian el comportamiento de las placas rigidizadas al aumentar la distancia sin soldadura entre cordones.

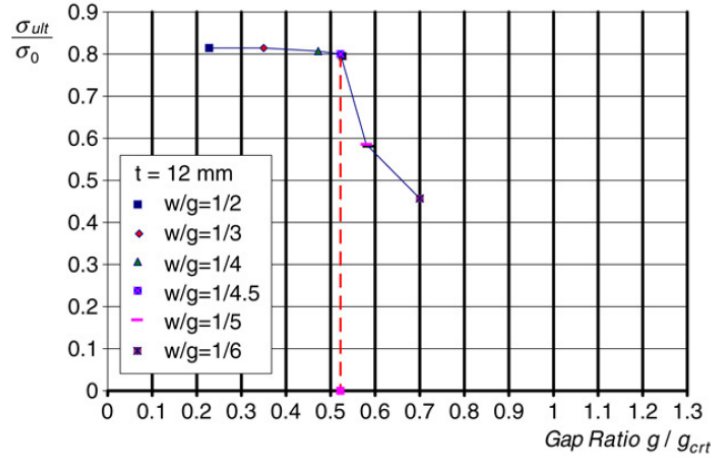


Figura 9: Variación de resistencia última vs relación espaciamiento libre entre cordones y longitud crítica de pandeo (Khedmati et al., 2007).

En la Figura 9 se observa el **decaimiento progresivo de la rigidez** y el **inicio del pandeo local** en los tramos no soldados, fenómeno que se intensifica conforme crece el espaciamiento libre. Este resultado demuestra que el exceso de intermitencia genera una pérdida de capacidad resistente incluso antes de alcanzar el esfuerzo de fluencia del material.

A partir de este análisis los autores introducen el concepto de “**gap permisible**”, definido como la *longitud máxima sin soldadura* que puede existir entre cordones intermitentes sin comprometer la estabilidad local ni la resistencia última del conjunto. Este valor corresponde al límite a partir del cual el *tramo no soldado se comporta como una columna delgada sometida a compresión*, y su inestabilidad genera el pandeo local de la placa entre cordones, reduciendo la capacidad portante hasta en un 30 % respecto del valor teórico.

El análisis desarrollado por Khedmati et al., 2007 modela el tramo libre entre cordones como una **columna corta empotrada o simplemente apoyada**, cuya longitud crítica de pandeo (g_{crt}) se obtiene igualando el *esfuerzo de pandeo elástico de Euler* al *esfuerzo de fluencia del acero* (F_y), entendido como el límite de fluencia del material de la placa según la terminología de la AWS, 2020:

$$F_y = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{k g_{crt}}{r_p} \right)^2} \quad (20)$$

donde:

- E es el módulo de elasticidad del acero (MPa),
- k es el factor de longitud efectiva, que depende de las condiciones de apoyo ($k = 0,5$ para extremos empotrados y $k = 1,0$ para apoyados),

- r_p es el radio de giro de la placa, que para una sección rectangular se aproxima como $r_p = \frac{t}{\sqrt{12}}$,
- t es el espesor de la placa (mm),
- g_{crt} es la longitud crítica de pandeo del tramo sin soldadura,
- F_y es el esfuerzo de fluencia del acero de la placa.

Despejando g_{crt} de la ecuación anterior se obtiene la **longitud crítica del gap**:

$$g_{crt} = \pi t \sqrt{\frac{E}{3 F_y}} \quad (21)$$

para el caso de una placa delgada con comportamiento equivalente a una *columna empotrada en ambos extremos* ($k = 0,5$). En cambio, para placas más gruesas o rígidas donde el tramo libre actúa como una *columna simplemente apoyada* ($k = 1,0$) el valor crítico se ajusta como:

$$g_{crt} = \pi t \sqrt{\frac{E}{12 F_y}} \quad (22)$$

El *gap permisible* (g_{Per}) se define, entonces, como la **longitud libre máxima admisible** que mantiene la estabilidad del tramo no soldado sin producir pandeo local:

$$g_{Per} = \begin{cases} \pi t \sqrt{\frac{E}{3 F_y}}, & \text{para placas delgadas } (\beta > 2,6) \\ \pi t \sqrt{\frac{E}{12 F_y}}, & \text{para placas intermedias o gruesas } (\beta \leq 2,6) \end{cases} \quad (23)$$

donde el parámetro de **esbeltez del panel** se expresa como:

$$\beta = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (24)$$

donde:

- b es el ancho de la placa entre rigidizadores (mm).

Estas expresiones permiten determinar, de manera racional, el espaciamiento máximo seguro entre cordones intermitentes según el espesor y las propiedades del material. En consecuencia, los límites de espaciamiento establecidos por Khedmati et al., 2007 coinciden conceptualmente con los criterios de la norma AWS, 2020, que también buscan restringir la longitud libre sin soldadura para **evitar el pandeo local y mantener la rigidez efectiva equivalente a una unión continua** en miembros sometidos a compresión.

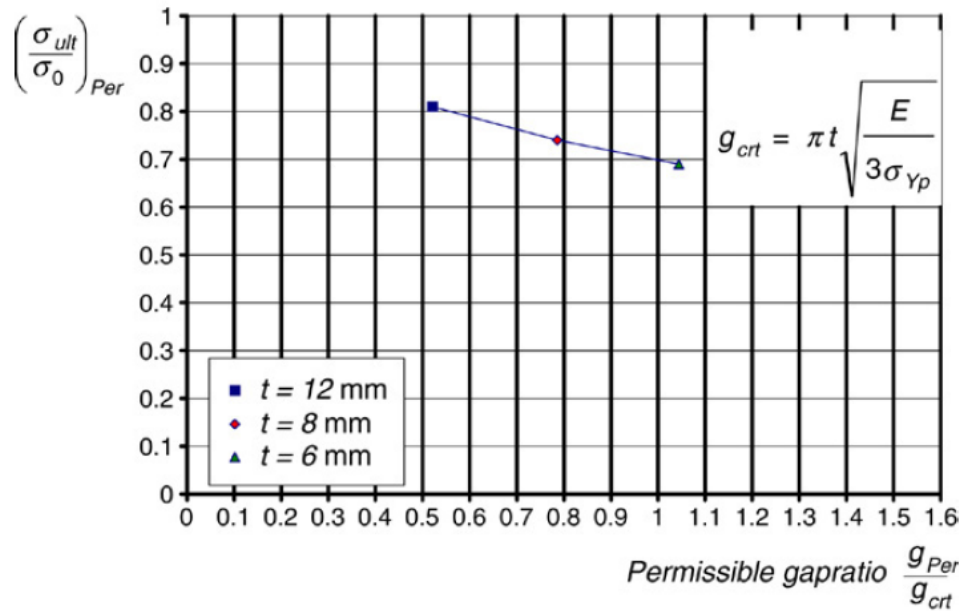


Figura 10: Espaciamiento permisible máximo entre cordones según el espesor de la placa. (Khedmati et al., 2007).

Finalmente, la Figura 10 resume los **límites experimentales y numéricos del espaciamiento permisible** (g_{Per}) para placas de diferentes espesores. Se observa que las placas delgadas pueden admitir una longitud libre cercana al valor crítico teórico, mientras que las placas más gruesas requieren una menor separación entre cordones para evitar el pandeo local, resultados que coinciden con las ecuaciones propuestas y los criterios normativos de la AWS, 2020.

6.7.2. Estándar de intermitencia de soldadura de filete en placas, perfiles de doble alma y elementos armado con perfiles laminados

Para el caso de perfiles de doble alma y perfiles armados destinados a elementos no principales como vigas de soporte liviano, elementos de enrejados, entre otros. Se permite la intermitencia de soldadura de filete con los siguientes criterios basados en la sección 4.12, 4.4 y 4.8 del AWS, 2020 la cual garantiza la correcta transferencia de esfuerzos.

Si bien el análisis realizado por Khedmati et al., 2007 permite comprender y cuantificar las separaciones mínimas entre cordones de soldadura intermitente desde un punto de vista teórico y numérico, el presente estándar tiene como objetivo entregar criterios y recomendaciones de aplicación práctica para el trabajo en maestranza. En este sentido, las disposiciones aquí propuestas adoptan los lineamientos establecidos por la norma AWS, 2020, asegurando su compatibilidad con la práctica industrial, y a la vez validan los resultados experimentales y numéricos obtenidos por Khedmati et al., 2007, integrando ambos enfoques en un marco coherente de diseño y ejecución. Los criterios implementados se presentan a continuación:

Tabla 8: Requisitos para soldaduras intermitentes

Categoría	Requisitos principales
General	- La longitud mínima del cordón de una soldadura intermitente debe ser 4 veces el tamaño del filete y nunca menor a 38 mm. - Se prohíbe la soldadura intermitente para soldaduras CJP y PJP
Placas	- Separación centro a centro ≤ 24 veces el espesor de la placa más delgada. - Máximo absoluto: 300 mm. - Tramos sin soldar deben sellarse con electrodo E7024.
Perfiles laminados	Igual a criterio de placas, pero el máximo absoluto permitido aumenta a 600 mm.

Miembros en compresión:

En miembros sometidos a compresión, la aplicación de soldaduras intermitentes se restringe debido a los riesgos de pandeo local y pérdida de rigidez en los tramos no soldados. Cuando los cordones se disponen en un solo lado, se genera una distribución asimétrica de esfuerzos que induce flexión secundaria, por lo que la AWS, 2020 limita estrictamente su espaciamiento. En cambio, la disposición alternada en ambas caras mejora la simetría estructural y la transferencia de carga, aunque mantiene restricciones transversales para garantizar una rigidez equivalente a la de una unión continua.

Tabla 9: Requisitos dimensionales para soldaduras intermitentes de filete según AWS D1.1:2020.

Condición	Fórmula	Límite absoluto	Aplicación
Espaciamiento longitudinal (Cordones en un solo lado)	$0,73 t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	≤ 300 mm	Placas exteriores en miembros comprimidos
Espaciamiento longitudinal (Cordones alternados en ambos lados)	$1,10 t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	≤ 460 mm	Placas exteriores angostas
Espaciamiento transversal entre líneas de soldadura	$1,46 t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,46 t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	Ancho libre sin soldadura transversal

6.8. Pasadas de ratón (Weld Acces Holes)

6.8.1. Requisitos normativos sobre pasadas de ratón

La AWS, 2020 establece en su Sección 7.16 los criterios generales para los orificios de acceso a la soldadura, también conocidos como pasadas de ratón o *Weld Acces Holes*. Estos orificios tienen como función principal permitir la continuidad del cordón de soldadura y evitar concentraciones de

esfuerzos que pudieran derivar en iniciación de grietas. A continuación se presenta lo exigido por la norma:

- Los orificios de acceso, recortes redondeados y superficies de corte deben estar libres de entallas y ángulos agudos, generando una transición suave.
- La longitud mínima del orificio debe ser al menos 1,5 veces el espesor del material, medida desde el borde de la junta sin exceder los 38 mm; la altura mínima es el espesor del material pero no menor a 20 mm, y la altura máxima no debe exceder 50 mm.
- En secciones laminadas, el borde del alma debe ser curvado o en pendiente hacia el orificio, con radios no menores a 10 mm.
- En secciones armadas, también se exige un radio mínimo de 10 mm, y cuando los orificios se realicen después de soldar, el extremo puede ser perpendicular siempre que sea como mínimo igual al tamaño de la soldadura. Las soldaduras en filete no deben terminar dentro del orificio.
- En perfiles destinados a galvanizado, los orificios y recortes deben esmerilarse hasta metal brillante para evitar la formación de capas superficiales duras y reducir la tendencia a grietas.
- En perfiles pesados (ala > 50 [mm] o placas > 50 [mm]), antes del corte térmico debe aplicarse un precalentamiento mínimo de 65 °C que se extienda 75[mm] desde donde será cortada la curva.
- Las superficies cortadas térmicamente deben ser esmeriladas hasta metal brillante e inspeccionadas visualmente para asegurar que estén libres de grietas antes de soldar.

En la Figura 33 se presenta la geometría típica de los orificios de acceso a la soldadura definida por la norma.

6.8.2. Propuesta de estandarización de pasadas de ratón

Si bien la AWS, 2020 establece los requisitos mínimos, no entrega una tabla de radios estandarizados según espesor de pieza. Para resolver esta brecha y facilitar la aplicación práctica en maestranzas, el presente estándar propone un sistema de valores normados para las pasadas de ratón en planchas y en alas de perfiles doble T con soldaduras CJP.

La propuesta fija radios mínimos (R) en función del espesor del alma, garantizando un dimensionamiento consistente con la norma pero adaptado a la realidad de fabricación nacional.

Tabla 10: Dimensiones de pasadas de ratón para planchas en general

Espesor Alma (t)	Pasadas Ratón Triangulares	Pasadas de Ratón Circulares (R)				
	Esp. Atiesador (e) ≤ 10 mm	Desde 12 mm	18–20 mm	22–25 mm	28–32 mm	> 32 mm
Hasta 12 mm	30 × 30	30	30	35	40	45
Desde 14 mm	30 × 30	30	35	40	45	50

Tabla 11: Dimensiones de pasadas de ratón para soldaduras CJP en alas de perfiles doble T

Espesor Alma (t)	Desde 5 mm	18–20 mm	22–25 mm	28–32 mm	Sobre 32 mm
Pasadas de Ratón (R)	30	35	40	45	50

Nota: Para casos donde por cálculo de soldadura no se puede aplicar lo estipulado en las tablas anteriores se debe reducir a recortes de 10x10 [mm] e indicar sellar

Cabe destacar que los radios adoptados en la propuesta no son inferiores a los mínimos exigidos por la AWS, 2020, lo que asegura la conformidad normativa y, al mismo tiempo, otorga un margen adicional de seguridad en fabricación.

6.9. Método y estándar de perforaciones

6.9.1. Requerimientos normativos

AISC360

La AISC, 2016a fija los tipos y límites de agujeros permitidos, asegurando holgura suficiente para montaje sin pérdida de resistencia.

- Entrega los tamaños máximos de perforaciones para pernos (Figura 43) y para casos de base de columnas se permiten perforaciones más grande debido a que se necesita una mayor tolerancia.
- Se permiten ranuras cortas o largas según la dirección de carga, y agujeros sobremedidos únicamente cuando estén justificados por diseño o montaje.
- Los espaciamientos mínimos entre centros no deben ser menores que 2,67 veces el diámetro del perno y preferentemente debiese ser del triple del diámetro del perno.
- Se prohíben perforaciones de sobremedida en conexiones del tipo aplastamiento.
- La disposición de golillas se proporcionan de acorde a la RCSC, 2020

RCSC - Especificación para uniones estructurales con pernos de alta resistencia

- Según la Sección 3.3, el uso de agujeros sobremedidos o ranurados debe ser indicado explícitamente en los planos de diseño y justificado por condiciones de montaje o tolerancia dimensional.
- La Sección 6.2.3 establece que, cuando se utilicen agujeros sobremedidos o ranurados, se deben disponer arandelas endurecidas (hardened washers) o placas de refuerzo (plate washers) que cubran completamente la abertura.
- Para ranuras cortas o largas, la arandela debe cubrir toda la longitud de la ranura. Si la arandela estándar no es suficiente, se debe utilizar una placa endurecida o barra continua de espesor equivalente al especificado en la figura 44.
- En agujeros estándar se permite una arandela endurecida bajo cabeza o tuerca, mientras que en agujeros sobremedidos o ranurados la arandela endurecida es obligatoria bajo ambos lados del conjunto (cabeza y tuerca).
- La Sección 6.2.4 especifica que, en ranuras largas, la arandela debe orientarse perpendicular al eje de la ranura, asegurando una correcta transmisión de carga.
- Los agujeros deben permitir el paso libre del perno sin forzado, mantener los bordes limpios y sin rebabas.

6.9.2. Estándar adoptado

Considerando las disposiciones de las normas AISC, 2016a, RCSC, 2020 y AWS, 2020, junto con las capacidades reales de fabricación en maestranzas nacionales, se establece el siguiente estándar de perforaciones. Este reúne criterios dimensionales y prácticos que aseguran uniformidad, precisión y compatibilidad con las tolerancias constructivas internacionales, tal como se muestra a continuación:

Tabla 12: Estándar de perforaciones

ESTÁNDAR DE PERFORACIONES		
Elemento o Tipo	Diámetro o criterio aplicable	Observaciones
Perfiles C, CA, L y doble T ($T \leq 250$ mm)	Un solo diámetro en todos los ejes	Homogeneidad de perforaciones
Perfiles mayores	Diámetros preferentes: $\frac{3}{4}"$ y $1"$	Mantener uniformidad para facilitar mecanizado
Placa base inferior doble (con silla) – Perno de anclaje	$\varnothing$ del perno $+ \frac{5}{16}"$	Regla por defecto si no está en planos
Placa superior (silla) – Perno de anclaje	$\varnothing$ del perno $+ \frac{3}{16}"$	Regla por defecto si no está en planos
Sin silla – Perno de anclaje	Se debe incluir golillón (plate washer)	Cliente debe confirmar para considerar espesor en largo del perno
Punzonado ovalado	$\phi 27 \times 40$, $\phi 21 \times 40$, $\phi 18 \times 40$, $\phi 14 \times 30$, $\phi 12 \times 30$ mm	Ajustable según disponibilidad de punzón
Punzonado/taladrado circular	8, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 40, 46 mm	Valores recomendados
Aberturas grandes ($\varnothing \geq 38$ mm)	Mediante oxicorte	Sin restricciones dimensionales

Nota: Los diámetros de perforaciones de placas base se rigen bajo la tabla 2.3 del AISC, 2016b (Figura 54).

6.10. Refuerzos en zona panel

La zona panel corresponde al sector del alma de la columna comprendido entre las prolongaciones de las alas de la viga, donde se concentran las tensiones cortantes generadas por la interacción de momentos y esfuerzos axiales. Su comportamiento influye directamente en la rigidez y resistencia del nudo viga–columna, por lo que constituye una región crítica del sistema estructural.

Cuando el cálculo evidencia que el alma no cumple con las verificaciones de corte o flexión, especialmente en perfiles esbeltos o bajo altas demandas sísmicas, una solución habitual es el refuerzo de la zona panel. Este consiste en la incorporación de planchas o elementos adicionales soldados al alma, con el fin de incrementar su resistencia efectiva y controlar la distorsión angular del nudo.

En la práctica nacional, las maestranzas presentan una carencia de criterios unificados respecto a la ejecución de los refuerzos en zona panel, lo que se refleja en diferencias en la selección de espesores, tipos de soldadura y configuración de las planchas de refuerzo. Esta variabilidad responde principalmente a la falta de lineamientos prácticos adaptados a las capacidades de fabricación locales.

A partir del levantamiento técnico realizado junto a maestranzas nacionales y del análisis de las recomendaciones presentes en la literatura especializada, se desarrolló un estándar de refuerzo de zona panel que busca unificar criterios constructivos, asegurar la coherencia con las exigencias normativas y facilitar su aplicación en el contexto productivo chileno.

6.10.1. Refuerzo de zona panel mediante plancha de refuerzo

Para este tipo de refuerzo de zona panel se debe considerar lo siguiente:

- Este tipo de unión se recomienda en situaciones donde no existan puntales en la zona de panel, es decir, cuando la plancha de refuerzo no recibe esfuerzos perpendiculares y los espesores considerados sean relativamente reducidos.
- La soldadura deberá ejecutarse de acuerdo con lo especificado para soldaduras de penetración completa (CJP). En caso de que la plancha de refuerzo tenga un espesor ≥ 6 mm, será obligatorio realizar biselado en sus bordes.
- La unión soldada de la plancha de refuerzo deberá extenderse completamente hacia las alas y/o los atiesadores del elemento reforzado, cubriendo sus cuatro lados.
- Desde el punto de vista de fabricación, este procedimiento resulta más sencillo, por lo que deberá privilegiarse siempre que sea viable estructuralmente.

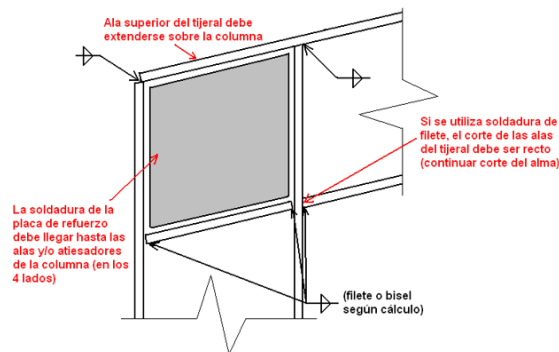


Figura 11: Plancha de refuerzo en extremo de columna

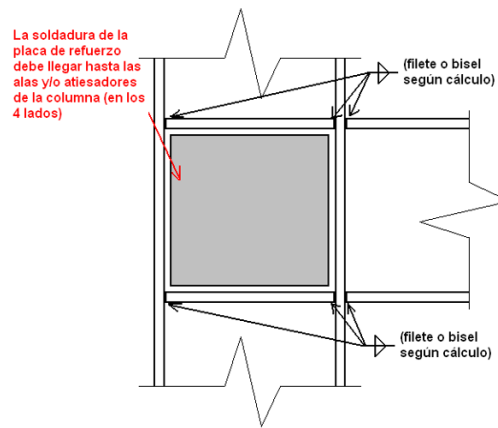


Figura 12: Plancha de refuerzo en zona intermedia de columna

Además, para las placas de refuerzo el estándar de holguras para la soldadura se presenta en la figura 39 anexada a este documento.

6.10.2. Refuerzo de zona panel mediante remplazo del alma

Para este tipo de refuerzo de zona panel se debe considerar lo siguiente:

- Esta solución se recomienda cuando en la zona de panel confluyen puntales en dirección perpendicular y cuando los espesores de las planchas de refuerzo son significativos.
- La unión entre el alma y la plancha de refuerzo deberá ejecutarse mediante soldadura de penetración completa (CJP).
- En cuanto al proceso de fabricación, se debe preparar primero el alma con las planchas de refuerzo correspondientes, para luego proceder al armado del perfil mediante la soldadura ala-alma.
- El corte de ajuste entre el alma y la plancha de refuerzo deberá realizarse en forma recta.

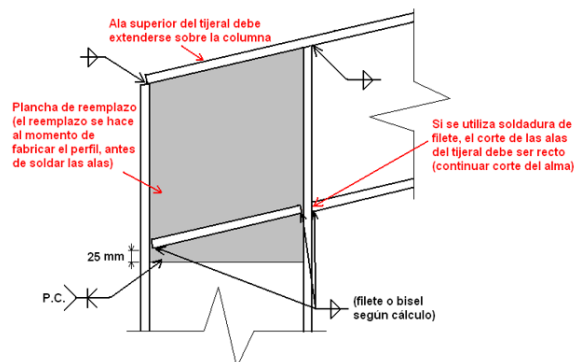


Figura 13: Remplazo de alma en extremo de columna

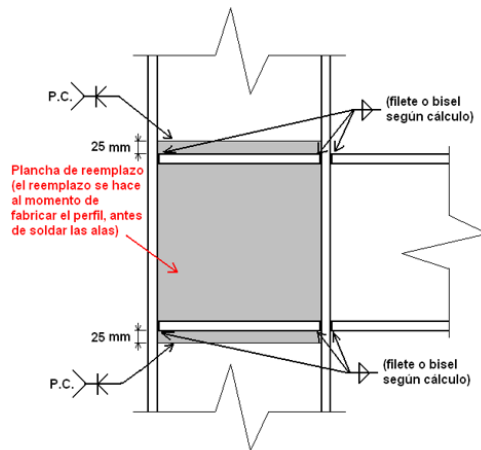


Figura 14: Remplazo de alma en zona intermedia de columna

6.11. Ensanche de alas

Las normas AWS, 2020 y AISC, 2022 no abordan el ensanche de alas como un procedimiento estandarizado, pero entregan las condiciones necesarias para su correcta ejecución (tipos de soldaduras para unión de planchas, espesores de filete, etc.). En la práctica, el diseño de estos ensanches se basa en los principios de transferencia total de esfuerzos entre el ala original y la plancha añadida, utilizando soldaduras de penetración completa (CJP) para unión de planchas y filete continuo para uniones ala-alma, y asegurando la continuidad del flujo de tensiones. Por tanto, el estándar desarrollado en este trabajo busca complementar la normativa existente con criterios específicos de aplicación en maestranzas nacionales.

6.11.1. Estándar de ensanche de alas

Para el ensanche de alas se llega a lo siguiente:

- Soldadura de penetración completa (CJP) para unir la plancha a las alas y filete continuo para la unión con el alma.
- Si el ensanche es de esquina (extremo de elemento), se permite usar el mismo espesor del ala para el ensanche.
- Si el ensanche no es de esquina, el espesor del ensanche debe ser mayor al espesor del ala más el espesor de la soldadura.
- Respecto a la holgura de las soldaduras, en el caso de esquina no se requiere separación, ya que debe dejarse a tope con el ala; si es intermedia, debe dejarse una holgura de al menos 2 mm en cada lado de la plancha.
- La plancha debe llevar de forma obligatoria bisel, siguiendo el estándar de biselado expuesto en el presente documento.

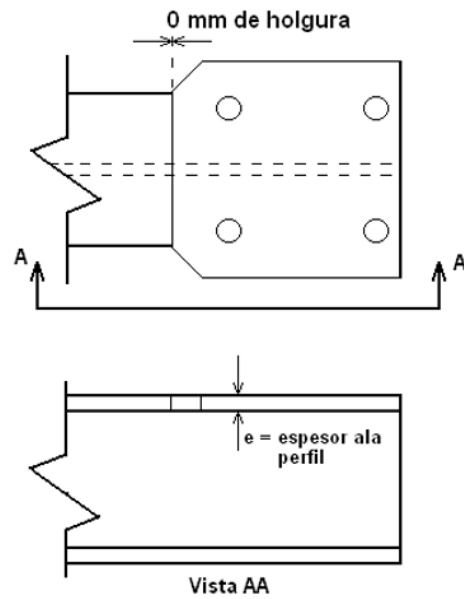


Figura 15: Ensanche de ala en esquina del elemento

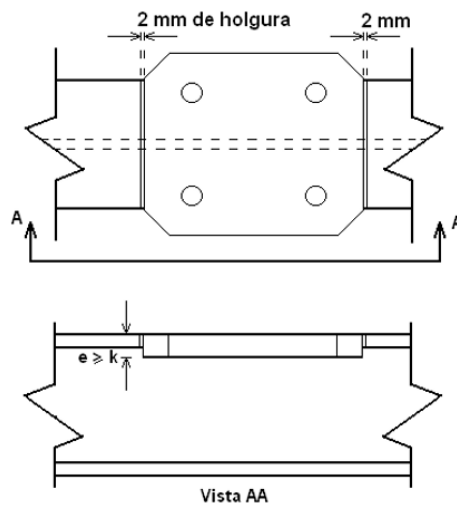


Figura 16: Ensanche de ala en un punto intermedio del elemento

NOTA: Para el caso de alas de espesor pequeño (< 18 mm) se puede ensanchar con planchas soldadas al ala (suples) del mismo espesor del ala y las mismas consideraciones de soldaduras presentadas en esta sección.

6.12. Accesos para soldadura de filete

En este estándar se adopta como referencia el criterio del AISC, 2009, dado que la AWS, 2020 no define las condiciones geométricas para la ejecución de soldaduras de filete, sino que se limita

a garantizar su correcta aplicación dentro de las geometrías de junta precalificadas. En cambio, él AISC, 2009 describe de forma explícita los parámetros prácticos de acceso y maniobra necesarios para ejecutar este tipo de soldaduras, incluyendo las dimensiones mínimas de holgura, la posición del electrodo y las distancias requeridas para asegurar la visibilidad y continuidad del cordón durante el proceso.

De acuerdo con el AISC, 2009, las principales consideraciones prácticas son las siguientes:

Soldadura por arco manual con electrodo revestido (SMAW)

- El electrodo empleado debe medir aproximadamente entre 35 y 45 cm de largo con un diámetro de 9,5 mm.
- Debe existir un espacio libre o *shelf* mínimo que permita el paso del electrodo y el depósito completo del filete. Este espacio está en función del espesor del filete (Figura 42)

Disposiciones generales de filete

- El ángulo óptimo de trabajo es de 30°; puede reducirse hasta 20° en casos de acceso restringido, manteniendo la continuidad del cordón (Figuras 40 y 41).
- Debe permitirse el libre movimiento del electrodo y la observación directa de la raíz del cordón durante la soldadura, asegurando una deposición continua y controlada.
- En zonas con interferencias, puede aplicarse un biselado o corte opcional en el ala o ángulo de conexión para mejorar la holgura.

Estas recomendaciones complementan los criterios generales de accesibilidad indicados en la AWS, 2020, permitiendo definir parámetros concretos de ejecución y verificación en taller.

7. Reporte estandarizado

El sistema de reportes implementado en el presente estándar tiene por objetivo garantizar la trazabilidad documental entre el modelo tridimensional, los planos de fabricación y la información técnica generada en taller.

Este sistema se sustenta en la integración directa de Tekla Structures con archivos de reporte automatizados, los cuales consolidan datos de fabricación, inspección y emisión bajo un formato estandarizado aplicable al contexto de maestranzas nacionales.

A continuación, se describen los principales tipos de reportes definidos en el estándar, sus funciones específicas y los criterios de estructuración adoptados.

7.1. Reporte de lista de partes

Ilustrado en la figura 45, corresponde al listado general de componentes contenidos en un conjunto (assembly), identificados por su marca, cantidad, perfil, material, peso y área. Este reporte constituye la base de control interno del taller, ya que permite verificar la correspondencia entre las piezas modeladas y las fabricadas. En el estándar se establece que toda lista debe incluir:

- Identificación de proyecto y número de archivo (Trannsmittal).
- Marca de conjunto y partes de acorde a Tablas 1 y 2.
- Descripción, dimensiones y material del perfil correspondiente a cada parte.

La emisión de este reporte se realiza automáticamente desde el modelo conectado y se asocia a la revisión vigente (Rev. A, B o 0).

7.2. Reporte de lista de submateriales

Este reporte mostrado en la figura 46, detalla las piezas modificadas o remplazadas dentro de cada conjunto. Su estandarización permite controlar el abastecimiento de material. Cada registro incluye:

- Identificación del conjunto principal.
- Código de partes y cantidad.
- Tipo de perfil, espesor y dimensiones.
- Peso y tratamiento superficial.
- Observación en caso de ser modificada una parte del conjunto.

El formato definido en el manual asegura la trazabilidad de todos los elementos incorporados al conjunto, permitiendo su revisión cruzada con la *Part List* y los planos de armado.

7.3. Reporte de lista de embarque

Este reporte consolida la información de los conjuntos que se emiten desde el modelo, traspasando directamente los datos registrados en el cuadro de revisiones del plano correspondiente. Tal como se muestra en la figura 47

De esta forma, la lista de embarque refleja el propósito que tiene el plano, asegurando coherencia entre la documentación generada en *Tekla Structures* y los planos liberados.

Su estructura agrupa los elementos e incluye los siguientes campos principales:

- Número de proyecto, prioridad y secuencia.
- Identificación de conjunto, peso total y observaciones (Agrega cota, agrega secciones, etc).
- Revisión, fecha de emisión y propósito del plano.

La lista de embarque, por tanto, constituye el vínculo directo entre la información técnica del modelo y el control documental de los planos emitidos, manteniendo la trazabilidad establecida por el estándar.

7.4. Reporte de registro de emisiones

Tal como de muestra en la figura 48, es un documento que controla la emisión y revisión de planos, modelos y reportes. Cada registro corresponde a un envío formal realizado mediante un *transmittal* y consigna la fecha, revisión, tipo de documento y marca.

Su función principal es mantener un historial verificable del flujo documental, permitiendo reconstruir las revisiones realizadas en cada etapa del proyecto. El formato estandarizado adoptado contiene los campos:

- Número de transmittal correlativo.
- Tipo de emisión (emisión para compra, aprobación o fabricación).
- Descripción del contenido y número de documentos enviados.
- Fecha y observaciones.

Este procedimiento se alinea con las prácticas descritas en el AISC, 2009, donde se establece que toda emisión de planos, listas o documentos técnicos debe ir acompañada de un formulario de *Transmittal*, el cual actúa como registro oficial de envío y recepción entre las partes. Dicho registro debe consignar el número de transmittal, la revisión, el propósito de la emisión y el tipo de documento enviado, asegurando la trazabilidad completa del flujo documental.

7.5. Transmittal de assemblies y gathers

Estos documentos consolidan la información enviada en cada emisión, incluyendo planos, reportes y archivos CNC o DXF. Actúan como respaldo formal del envío y aseguran la correspondencia entre lo emitido y lo aprobado. Se muestran en las figuras 49 y 50 respectivamente.

Cada transmittal contiene:

- Código correlativo de emisión.
- Listado de documentos adjuntos.
- Observaciones y fecha.

7.6. Estandarización de estructura y control

La revisión de los reportes se rige por el siguiente criterio:

- Rev. A $\rightarrow$ Emisión para compra.
- Rev. B $\rightarrow$ Emisión para aprobación.
- Rev. 0 $\rightarrow$ Emisión para fabricación y montaje.
- Se respeta el estándar de nomenclatura dados por la sección 5

Todos los archivos se almacenan en repositorios digitales organizados por transmittal, garantizando trazabilidad completa y correspondencia con el modelo tridimensional.

8. Conclusiones y comentarios

El trabajo desarrollado permitió abordar la ausencia de criterios estandarizados para el detallamiento estructural en la fabricación de estructuras metálicas en Chile. A través del análisis normativo, la revisión de literatura especializada y el levantamiento de prácticas de maestranzas nacionales, se evidenció que la variabilidad en procedimientos de marcado, armado, soldadura y documentación genera reprocesos, dificultades en trazabilidad y diferencias en calidad de fabricación. Esta carencia constituye una brecha relevante dentro del ciclo de diseño-fabricación, afectando directamente la eficiencia y consistencia del producto final.

Respecto al Objetivo Específico 1, se elaboró un sistema de identificación y marcado basado en los criterios del AISC y adaptado a capacidades reales de taller. El sistema propuesto uniforma la nomenclatura de elementos y partes, define métodos de marcado y establece su integración con los reportes generados desde Tekla Structures. Esto permite mejorar la trazabilidad y reducir interpretaciones ambiguas durante la fabricación y el montaje.

En relación con el Objetivo Específico 2, se establecieron directrices técnicas para armado y soldadura, incorporando espesores mínimos, exigencias resistentes ala-alma, criterios para soldaduras CJP y PJP, intermitencia, pasadas de ratón, refuerzos de zona panel y ensanche de alas. Estas recomendaciones se sustentan en disposiciones explícitas de AWS, 2020, AISC, 2022, AISC, 2016a y RCSC, 2020, además de estudios académicos que permitieron complementar las decisiones técnicas en aspectos no cubiertos directamente por la normativa. El resultado es un conjunto de criterios aplicables y consistentes con las prácticas actuales de maestranzas.

Para el Objetivo Específico 3, se definió un formato de reportes estandarizados provenientes de Tekla Structures, que incluye listas de partes, submateriales, embarque y registro de emisiones. La estructura propuesta permite mantener coherencia documental entre el modelo BIM, los planos liberados y el control de calidad en taller. También se establecieron criterios de revisión y numeración que facilitan la gestión del flujo de información.

En conjunto, estos tres ejes permiten conformar un manual técnico de estandarización que entrega criterios claros y operativos para la fabricación en maestranzas chilenas. Su aplicación puede mejorar la consistencia de los productos, disminuir reprocesos y fortalecer la trazabilidad, especialmente en proyectos donde no existe una especificación detallada de parte del proyectista.

No obstante, el trabajo presenta limitaciones. Si bien las propuestas fueron desarrolladas a partir de normativa, literatura especializada y validación directa con una maestranza nacional, no se realizó una medición cuantitativa de su impacto en tiempos de fabricación, reducción de reprocesos o tasas de no conformidades. Asimismo, existen ámbitos específicos como inspección avanzada, control documental automatizado o integración con sistemas de planificación que podrían profundizarse en estudios posteriores.

Como proyección, se espera que el estándar continúe evaluándose en distintos tipos de proyectos y maestranzas con capacidades diversas. Es importante destacar que todo lo desarrollado en esta memoria se materializó en el “Manual de Estándar para Fabricación y Detallamiento de Estructuras Metálicas”, elaborado e implementado durante un proceso de trabajo continuo con una maestranza, donde el levantamiento de necesidades, la revisión de criterios y los ajustes se realizaron de forma

iterativa con el taller. La aplicación práctica permitió validar la coherencia técnica del manual y su utilidad operativa. En futuras investigaciones, sería pertinente complementar esta validación cualitativa con un análisis cuantitativo que evalúe su impacto en productividad, trazabilidad y calidad de fabricación.

Finalmente, el desarrollo del manual permitió abordar de manera concreta la carencia normativa existente en Chile respecto al detallamiento estructural. Si bien no reemplaza a una norma oficial, el documento establece criterios verificables y coherentes con estándares internacionales, ofreciendo una base técnica que actualmente no está disponible en el país. En este sentido, la propuesta constituye un avance relevante hacia la sistematización del detallamiento en la fabricación de estructuras metálicas, entregando un marco de referencia que puede servir como punto de partida para futuras guías o normativas nacionales.

Referencias

- Aliaga Melo, G. D. (2012). *Implementación y metodología para la elaboración de modelos BIM para su aplicación en proyectos industriales multidisciplinarios*.
- American Institute of Steel Construction. (2009). *Detailing for steel construction* (3rd).
- American Institute of Steel Construction. (2016a). *Specification for structural steel buildings (ansi/aisc 360-16)* (16th).
- American Institute of Steel Construction. (2016b). *Steel design guide 1: Base plate and anchor rod design* (2nd).
- American Institute of Steel Construction. (2022). *Code of standard practice for steel buildings and bridges (ansi/aisc 303-22)* (17th).
- American Institute of Steel Construction. (2023). *Recycling*. Consultado el 2 de septiembre de 2025, desde <https://www.aisc.org/sustainability/recycling/>
- American Welding Society. (2020). *Código de soldadura estructural—Acero (AWS D1.1/D1.1M:2020)* (24a).
- Arias Rosales, J. C. (2017). *Aplicación del control de calidad en las estructuras metálicas de la Unidad Minera Santander*.
- BIMForum. (2015). *Level of Development (LOD) Specification*. Consultado el 2 de septiembre de 2025, desde <https://bimforum.org/resource/lod-level-of-development-lod-specification/>
- Detailing standards: Fabrication and autocad instructions* [Incluye instrucciones de taller, soldadura, conexiones y prácticas de detailing]. (2010). Manual interno.
- Dobbie, H. (2003). Structural Steel Detailing Practices—Good and Bad. *Engineering Journal*, 41 (3), 117-124.
- Hong, Y., Pickle, T., Vidal, J., Augustine, C., & Yu, Z. (2023). Impact of Plate Thickness and Joint Geometry on Residual Stresses in 347H Stainless Steel Welds. *Welding Journal*, 102, 021. <https://doi.org/10.29391/2023.102.021>
- INN. (2016). *NCh 427/1 Construcción estructuras de acero: Requisitos para el cálculo de estructuras de acero para edificios*.
- INN. (2017). *NCh 428 Ejecución de construcciones de acero - Perfiles laminados, soldados y tubos*.
- International Organization for Standardization. (2013). *ISO 9692-1:2013 Welding and allied processes — Types of joint preparation — Part 1: Manual metal arc welding, gas-shielded metal arc welding, gas welding, TIG welding, and beam welding of steels*. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c022fda0-641d-4c3a-8295-8961f63de9e8/iso-9692-1-2013>
- Khedmati, M. R., Rastani, M., & Ghavami, K. (2007). Numerical study on the permissible gap of intermittent fillet welds of longitudinally stiffened plates under in-plane axial compression. *Journal of Constructional Steel Research*, 63, 1415-1428. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2006.11.016>
- Pereira, A. B., & de Melo, F. J. M. Q. (2020). Quality Assessment and Process Management of Welded Joints in Metal Construction—A Review. *Metals*, 10(1), 115. <https://doi.org/10.3390/met10010115>
- Quiroga Bohórquez, E. P. (2023). *Aspectos considerados en el control de calidad de las actividades para las estructuras metálicas utilizadas en la I.E.T.I.G.J., Sogamoso, Boyacá* [Trabajo de grado]. Universidad La Gran Colombia, Facultad de Ingeniería Civil.
- RCSC. (2020). *Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts*. Research Council on Structural Connections.

- Silva Chavez, V. I., & Manrique Reto, K. S. (2024). *Mejora para incrementar el nivel de entrega a tiempo de los proyectos de estructuras metálicas en una empresa metalmecánica utilizando SMED y Planeamiento de Producción.*
- Stenberg, T., Barsoum, Z., Åstrand, E., Ericson Öberg, A., Schneider, C., & Hedegård, J. (2017). Quality control and assurance in fabrication of welded structures subjected to fatigue loading. *Weld World*, 61, 1003-1015. <https://doi.org/10.1007/s40194-017-0490-5>
- Tork-Ladani, F., Chase, J. G., & Macrae, G. A. (2019). Bending stiffness and strength performance of different column splice connections. *2019 Pacific Conference on Earthquake Engineering and Annual NZSEE Conference*, 1-12.
- United States Navy. (1996). *Steelworker, Volume 1 (NAVEDTRA 14250)* [Approved for public release; distribution is unlimited]. Naval Education; Training Professional Development; Technology Center.
- World Steel Association. (2023). *Worldsteel.org*. Consultado el 2 de septiembre de 2025, desde <https://worldsteel.org/>
- Yukler, A. I., Kurtulmus, M., & Dogan, E. (2018). Angular Distortion in Butt Arc Welding. *International Journal of Engineering Science and Application*, 2(4), 140-146.

A. Apéndice 1

Tabla 13: Nomenclatura de perfiles

Denominación Perfiles			
Tipo de Perfil	Denominación (Dimensiones en [mm])	Materiales Recomendados	Ejemplo
Ángulo Laminado	LL a X b X e	A36	LL100X100X5
Ángulo Plegado	L a X b X e	A36/A270ES/A240ES	L100X100x5
Ángulo Soldado	LS a X b X e	A36	LS100X100X5
Barras	D $\varnothing$ [mm]	SAE1020	D19.0
Canal Plegada (comerciales o especiales)	C H X B X e	A36/A270ES/A240ES	C250X75X5
Canal Soldada	CS H X B X e	A36/A270ES/A240ES	CS250X75X5
Canal Atiesada	CA H X B X C x e	A36/A270ES/A240ES	CA200X50X15X4
Doble T (Serie IN)	IN H X B X t _f X t _w	A36	IN250X150X14X6
Doble T (Serie HN)	HN H X B X t _f X t _w	A36	HN300X300X28X14
Doble T (Especial Alas Iguales)	IE H X B X t _f X t _w	A36	IE300X250X22X10
Doble T (Especial Alas Desiguales)	IE H X B1 X B2 X tf1 X tf2 X t _w	A36	IE300X250X200X22X20X10
Costanera Perfil Z	Z A X Bs X C X e	A270ES/A240ES	Z150X50X15X1.6
Parrilla de Piso	PL espesor [mm]	ARSX	PL32
Plancha	PL espesor [mm]	A36 o A572GR50	PL10
Plancha Diamantada	PL espesor [mm]	DIAMX	PL5
Sección T Soldada	T H X B X t _f X t _w	A36	T200X100X8X10
Sección T Especial	TE H X B X t _f X t _w	A36	TE180X150X10X12
Perfiles Cajón	CJ H X B X e	A36/A270ES/A240ES	CJ100X100X5
Tubular Circular - Cañería	CAN $\varnothing$ [mm] X e	A53GRB	CAN168.3X7.11
Tubular Circular – Estructural	TUB $\varnothing$ [en mm] X e	A500	TUB50.8X3.00
Perfiles Tubest CINTAC	TB HXBXeoxes	A36	TB 250X150X4X3
Perfiles Tubest FORMAC	MM HXBXeoxes	A36	MM 250X150X4X3
Tuerca Hexagonal	TH $\varnothing$ [mm]	A307	TH10.0
Golilla Colgadores	GC $\varnothing$ [mm]	A307	GC10.0

Consideraciones:

- En las barras se denominará el diámetro con un decimal.
- En perfiles Z se denominará el espesor con un decimal.
- En los perfiles tubulares circulares (tubos estructurales y cañerías) se denominará con un decimal el diámetro y con dos decimales el espesor.
- El grado de acero para plegados dependerá del espesor a utilizar; consultar a cliente.
- Tener la precaución de no dejar espacios en blanco en la denominación de los perfiles.
- El peso ingresado a la base de datos considerará 2 decimales.
- El área de la sección ingresada a la base de datos considerará 3 decimales.
- La nomenclatura de perfiles internacionales (AISC, europeos, etc.) deberá regirse de acuerdo al catálogo o manual respectivo.
- En el plano deberá mostrarse un detalle (sección) de perfiles especiales (IE, TE, LS y CS) y de perfiles ICHA que sean soldados (armados en terreno).

B. Apéndice 2

Tabla 14: Nomenclatura de elementos o conjuntos

Código	Elemento	Código	Elemento	Código	Elemento
AB	ANGULO_BORDE	ER	ENREJADO	PL	PLANCHA
AN	ANGULO	ES	ESCALERA_ARMADA	PN	PANEL
BA	BARANDA	PP	PARRILLA_PISO	PS	PASILLO
BR	BARANDA_REMOVIBLE	J	JAMBA	PT	PLATAFORMA
C	COLUMNA	LE	LIMON_ESCALERA	PU	PUNTAL
CE	COLUMNA_ENREJADA	LN	LAINA	PX	PLANCHA_CIERRE (lisa)
L	COSTANERA_MURO	MC	MISCELANEO	SP	SOPORTE
N	COSTANERA_TECO	INS	INSERTO	TJ	TIJERAL
D	DIAGONAL	MR	MARCO	V	VIGA
DA	DIAGONAL_APERNADO	PB	POSTE_BARANDA	VE	VIGA_ENREJADA
DE	DIAGONAL_ENREJADO	PA	PERNO_ANCLAJE	VG	VIGA_PORTARIEL
DN	DINTEL	PD	PLANCHA_DESGASTE	VM	VIGA_MONORRIEL
EG	ESCALA_GATO	PE	PELDAÑO	XT	COLGADOR_TECO
		PLD	PLANCHA_DIAMANTADA	XL	COLGADOR_LATERAL

C. Apéndice 3

Tabla 15: Nomenclatura de partes

Código	Parte	Código	Parte	Código	Parte
h	Perfil doble T	t	Perfil Te	x	Misceláneos
hr	Perfil doble T con recorte	tr	Perfil Te con recorte	xm	Misceláneos de calidad comerciales
ii	Perfil H doble alma (cajón soldado)	p	Planchas con perforaciones	xs	Pernos Stud
c	Perfil canal	n	Planchas ciegas	xf	Fierros redondos (colgadores)
cr	Perfil canal con recorte	b	Planchas con bisel	xc	Tubos Circulares
ca	Perfil canal atiesado	pd	Planchas dobladas (plegadas)	r	Tubos Rectangulares
a	Perfil ángulo	pp	Planchas de piso	pj	Planchas de backing y sellos
ar	Perfil ángulo con recorte	g	Parrillas de piso (grating)		

D. Apéndice 4

Tabla 7.7
Tamaños mínimos de soldaduras en filete (ver 7.13)

Espesor del metal base (T) ^a		Tamaño mínimo de soldadura en filete ^b	
pulg.	mm	pulg.	mm
$T \leq 1/4$	$T \leq 6$	1/8 ^c	3 ^c
$1/4 < T \leq 1/2$	$6 < T \leq 12$	3/16	5
$1/2 < T \leq 3/4$	$12 < T \leq 20$	1/4	6
$3/4 < T$	$20 < T$	5/16	8

^a En el caso de los procesos que no son de bajo hidrógeno y no tienen precalentamiento calculado de conformidad con 6.8.4, T es igual al espesor de la parte más gruesa unida; se deben utilizar soldaduras de pasada única.

Tanto en los procesos de bajo hidrógeno como en los que no lo son y están establecidos para evitar el agrietamiento de conformidad con 6.8.4, T es igual al espesor de la parte unida más delgada; no se aplica el requisito de pasada única.

^b Excepto que no es necesario que el tamaño de la soldadura supere el espesor de la parte más delgada unida.

^c El tamaño mínimo para las estructuras cargadas ciclicamente debe ser de 3/16 pulg. [5 mm].

Figura 17: Tamaños mínimos de soldadura en filete (AWS, 2020)

E. Apéndice 5

Tabla 5.8 Temperatura precalificada mínima de precalentamiento y entre pasadas (ver 5.7)							
C A T E G O R Í A	Especificación del acero		Proceso de soldadura	Espesor de la parte más gruesa del punto de soldadura		Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas	
				pulg.	mm	°F	°C
A	ASTM A36		SMAW con electrodos que no sean debajo hidrógeno				
	ASTM A53	Grado B					
	ASTM A106	Grado B					
	ASTM A131	Grados A, B, D, E					
	ASTM A139	Grado B					
	ASTM A381	Grado Y35					
	ASTM A500	Grados A, B, C		1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32*	0*
	ASTM A501	Grado A					
	ASTM A516	Grados 55, 60		Más de 3/4 hasta 1-1/2 incl.	Mayor de 20 hasta 38 incl.	150	65
	ASTM A524	Grados I, II					
	ASTM A573	Grados 58, 65					
	ASTM A709	Grado 36		Más de 1-1/2 hasta 2-1/2 incl.	Mayor de 38 hasta 65 incl.	225	110
	ASTM A1008 SS	Grado 30 Grado 33 Tipo 1 Grado 40 Tipo 1					
	ASTM A1011 SS	Grados 30, 33 Grado 36 Tipo 1 Grado 40 Grado 45 Tipo 1		Más de 2-1/2	Más de 65	300	150
ASTM A1018 SS	Grados 30, 33, 36, 40						
API 5L	Grados B, X42						
ABS	Grados A, B, D, E						
B	ASTM A36		SMAW con electrodos de bajo hidrógeno, SAW, GMAW, FCAW				
	ASTM A53	Grado B					
	ASTM A106	Grado B					
	ASTM A131	Grados A, B, D, E AH 32, 36 DH 32, 36 EH 32, 36					
	ASTM A139	Grado B					
	ASTM A381	Grado Y35		1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32*	0*
	ASTM A500	Grados A, B, C					
	ASTM A501	Grados A, B		Más de 3/4 hasta 1-1/2 incl.	Mayor de 20 hasta 38 incl.	50	10
	ASTM A516	Grados 55, 60, 65, 70					
	ASTM A524	Grados I, II					
	ASTM A529	Grados 50, 55					
	ASTM A537	Clases 1, 2		Más de 1-1/2 hasta 2-1/2 incl.	Mayor de 38 hasta 65 incl.	150	65
	ASTM A572	Grados 42, 50, 55					
	ASTM A573	Grados 58, 65					
	ASTM A588			Más de 2-1/2	Más de 65	225	110
	ASTM A595	Grados A, B, C					
	ASTM A606						
	ASTM A618	Grados Ib, II, III					
	ASTM A633	Grados A, C, D					
	ASTM A709	Grados 36, 50, 50S, 50W, HPS50W					

Figura 18: Tabla 5.8 (AWS, 2020)

Tabla 5.8 (Continuación)																			
Temperatura precalificada mínima de precalentamiento y entre pasadas (ver 5.7)																			
C A T E G O R Í A	Especificación del acero		Proceso de soldadura	Espesor de la parte más gruesa del punto de soldadura		Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas													
				pulg.	mm	°F	°C												
B (cont.)	ASTM A710	Grado A, Clase 2 > 2 pulg. [50 mm]	SMAW con electrodos de bajo hidrógeno, SAW, GMAW, FCAW	1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	50	10												
	ASTM A847																		
	ASTM A913	Grado 50						Más de 3/4 hasta 1-1/2 incl.	Mayor de 20 hasta 38 incl.	50	10								
	ASTM A992																		
	ASTM A1008 HSLAS	Grado 45 Clase 1 Grado 45 Clase 2 Grado 50 Clase 1 Grado 50 Clase 2 Grado 55 Clase 1 Grado 55 Clase 2										Más de 1-1/2 hasta 2-1/2 incl.	Mayor de 38 hasta 65 incl.	225	110				
	ASTM A1008 HSLAS-F	Grado 50																	
	ASTM A1011 SS	Grados 50, 55														Más de 2-1/2	Más de 65	300	150
	ASTM A1011 HSLAS	Grado 45 Clase 1 Grado 45 Clase 2 Grado 50 Clase 1 Grado 50 Clase 2 Grado 55 Clase 1 Grado 55 Clase 2																	
	ASTM A1011 HSLAS-F	Grado 50																	
	ASTM A1018 HSLAS	Grado 45 Clase 1 Grado 45 Clase 2 Grado 50 Clase 1 Grado 50 Clase 2 Grado 55 Clase 1 Grado 55 Clase 2																	
	ASTM A1018 HSLAS-F	Grado 50																	
	ASTM A1018 SS	Grados 30, 33, 36, 40																	
	ASTM A1066	Grado 50																	
	ASTM A1085																		
	API 5L	Grados B, X42																	
	Espec. API 2H	Grado 50																	
	API 2MT1	Grado 50																	
	API 2W	Grados 42, 50, 50T																	
	API 2Y	Grados 42, 50, 50T																	
	ABS	Grados A, B, D, E AH 32, 36 DH 32, 36 EH 32, 36																	

Figura 19: Tabla 5.8 (AWS, 2020) - Continuación

Tabla 5.8 (continuación) Temperatura precalificada mínima de precalentamiento y entre pasadas (ver 5.7)							
C A T E G O R Í A	Especificación del acero		Proceso de soldadura	Espesor de la parte más gruesa del punto de soldadura		Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas	
				pulg.	mm	°F	°C
C	ASTM A572	Grados 60, 65	SMAW con electrodos de bajo hidrógeno, SAW, GMAW, FCAW	1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	50	10
	ASTM A633	Grado E					
	ASTM A709 ^a	Grado HPS70W					
	ASTM A710	Grado A, Clase 2 ≤ 2 pulg. [50 mm]		Más de 3/4 hasta 1-1/2 incl.	Mayor de 20 hasta 38 incl.	150	65
	ASTM A710	Grado A, Clase 3 > 2 pulg. [50 mm]					
	ASTM A913	Grados 60, 65, 70					
	ASTM A1018 HSLAS	Grado 60 Clase 2		Más de 1-1/2 hasta 2-1/2 incl.	Mayor de 38 hasta 65 incl.	225	110
		Grado 70 Clase 2					
	ASTM A1018 HSLAS-F	Grado 60 Clase 2					
		Grado 70 Clase 2		Más de 2-1/2	Más de 65	300	150
	ASTM A1066	Grados 60, 65, 70					
D	API 2W	Grado 60					
	API 2Y	Grado 60					
	API 5L	Grado X52					
	ASTM A710	Grado A (todas las clases)	SMAW, SAW, GMAW y FCAW con electrodos o combinación de electrodo-fundente capaces de depositar el metal de soldadura con un contenido máximo de hidrógeno difusible de 8 ml/100 g (H ₈), cuando se ensaya según AWS A4.3.	Todos los espesores Más de 1/8 pulg.	Todos los espesores Más de [3 mm]	32 ^a	0 ^a
	ASTM A913	Grados 50, 60, 65					
E	ASTM A1066	Grados 50, 60, 65	SMAW, SAW, GMAW y FCAW con electrodos o combinaciones electrodo-fundente capaces de depositar el metal de soldadura con un contenido máximo de hidrógeno difusible de 8 ml/100 g (H ₈), cuando se ensaya según AWS A4.3.	1/8 a 1 incl.	3 a 25 incl.	50	10
				Más de 1	Mayor de 25	120	50

^a Cuando la temperatura del metal base está por debajo de 32 °F [0 °C], el metal base debe ser precalentado a un mínimo de 70 °F [20 °C] y se debe mantener la temperatura mínima entre pasadas durante la soldadura.

^b Para ASTM A709 Grado HPS70W, las temperaturas máximas de precalentamiento y entre pasadas no deben exceder de 400 °F [200 °C] para espesores de hasta 1-1/2 pulg. [40 mm], inclusive y 450 °F [230 °C] para espesores mayores.

Notas:

1. Para modificar los requisitos de precalentamiento de SAW con electrodos paralelos o múltiples, ver 5.7.3.
2. Consulte los requisitos de temperatura ambiente y del metal base en 7.11 y 7.6.
3. ASTM A570 y ASTM A607 se han eliminado.
4. Al soldar metales base de diferentes categorías, ver 5.7.2.

Figura 20: Tabla 5.8 - Continuación. (AWS, 2020)

F. Apéndice 6

Soldadura en filete (12)
 Junta en T (T)
 Junta en esquina (C)
 Junta traslapada (L)

Los diagramas muestran tres tipos de juntas soldadas en filete precalificadas:

- Junta en T (T):** Muestra dos placas de espesores T_1 y T_2 que se cruzan en un ángulo de 90 grados. La soldadura se aplica en la raíz. Se indica la distancia R desde la raíz hasta el borde de la placa más gruesa (T_1). Se muestran los ángulos de inclinación S de la soldadura.
- Junta en esquina (C):** Muestra una placa de espesor T_1 que se solda a un ángulo de 90 grados. Se indica la distancia R desde la raíz hasta el borde de la placa.
- Junta traslapada (L):** Muestra dos placas de espesores T_1 y T_2 que se superponen. La soldadura se aplica en la interfaz entre las placas. Se indica la distancia R desde la raíz hasta el borde de la placa más gruesa (T_1). Se muestran los ángulos de inclinación S de la soldadura.

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base T_1 o T_2	Diseño/Geometría de la junta			Posiciones de soldadura permitidas	Notas		
			Abertura de la raíz	Tolerancias					
				Según detalle	Según acoplamiento				
SMAW	TC-F12	< 75	$R = 0$	$+2, -0$	5 máx.	Todo	a, b, d		
	TC-F12a	≥ 75			8 máx.		a, b, d		
	L-F12	< 75			5 máx.		a, b, c		
	L-F12a	≥ 75			8 máx.		a, b, c		
GMAW FCAW	TC-F12-GF	< 75	$R = 0$	$+2, -0$	5 máx.	Todo	a, b, d		
	TC-F12a-GF	≥ 75			8 máx.		a, b, d		
	L-F12-GF	< 75			5 máx.		a, b, c		
	L-F12a-GF	≥ 75			8 máx.		a, b, c		
SAW	TC-F12-S	< 75	$R = 0$	$+2, -0$	5 máx.	F, H	a, b, d		
	TC-F12a-S	≥ 75			8 máx.		a, b, d		
	L-F12-S	< 75			5 máx.		a, b, c		
	L-F12a-S	≥ 75			8 máx.		a, b, c		

Notas para la Figura 5.3

^a Tamaño de la soldadura en filete ("S"). Ver en 4.4.2.8 y la Sección 7.13 los tamaños mínimos de soldadura en filete. Ver Tabla 5.1 para el tamaño máximo de pasada única.

^b Ver 7.21.1 para conocer las excepciones o requisitos del montaje de la soldadura en filete adicional.

^c Ver 4.4.2.9 para conocer el tamaño máximo de la soldadura en juntas traslapadas.

^d La perpendicularidad de los miembros debe ubicarse dentro de $\pm 10^\circ$.

Figura 21: Detalle juntas soldadas en filete precalificadas (dimensiones en mm). (AWS, 2020)

G. Apéndice 7

Soldadura en ranura en escuadra (1)

Junta a tope (B)

Junta en esquina (C)

B-L1a

C-L1a

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Tolerancias				
					Según lo detallado (ver 5.4.1.1)	Como ajuste (ver 5.4.1.8)			
SMAW	B-L1a	6 máx.	—	R = T ₁	+2, -0	+6, -2	Todo	—	e, j
	C-L1a	6 máx.	U	R = T ₁	+2, -0	+6, -2	Todo	—	e, j
FCAW GMAW	B-L1a-GF	10 máx.	—	R = T ₁	+2, -0	+6, -2	Todo	No se requiere	a, j

Soldadura en ranura en escuadra (1)

Junta a tope (B)

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Tolerancias				
					Según lo detallado (ver 5.4.1.1)	Como ajuste (ver 5.4.1.8)			
SMAW	B-L1b	6 máx.	—	$R = \frac{T_1}{2}$	+2, -0	+2, -3	Todo	—	d, e, j
GMAW FCAW	B-L1b-GF	10 máx.	—	R = 0 a 3	+2, -0	+2, -3	Todo	No se requiere	a, d, j
SAW	B-L1-S	10 máx.	—	R = 0	±0	+2, -0	F	—	j
SAW	B-L1a-S	16 máx.	—	R = 0	±0	+2, -0	F	—	d, j

Figura 22: Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)

Soldadura en ranura en escuadra (1)
 Junta en T (T)
 Junta en esquina (C)

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas			
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Tolerancias							
					Según lo detallado (ver 5.4.1.1)	Como ajuste (ver 5.4.1.8)						
SMAW	TC-L1b	6 máx.	U	$R = \frac{T_1}{2}$	+2, -0	+2, -3	Todo	—	d, e, g			
GMAW FCAW	TC-L1-GF	10 máx.	U	R = 0 a 3	+2, -0	+2, -3	Todo	No se requiere	a, d, g			
SAW	TC-L1-S	10 máx.	U	R = 0	±0	+2, -0	F	—	d, g			

Soldadura simple en ranura en V (2)
 Junta a tope (B)

Tolerancias	
Según lo detallado (ver 5.4.1.1)	Como ajuste (ver 5.4.1.8)
R = +2, -0	+6, -2
α = +10°, -0°	+10°, -5°

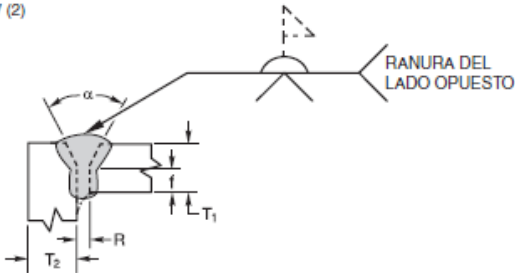
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura		Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura			
SMAW	B-U2a	U	—	R = 6	α = 45°	Todo	—	e, j
				R = 10	α = 30°	F, V, OH	—	e, j
				R = 12	α = 20°	F, V, OH	—	e, j
GMAW FCAW	B-U2a-GF	U	—	R = 5	α = 30°	F, V, OH	Se requiere	a, j
				R = 10	α = 30°	F, V, OH	No se req.	a, j
				R = 6	α = 45°	F, V, OH	No se req.	a, j
SAW	B-L2a-S	50 máx.	—	R = 6	α = 30°	F	—	j
SAW	B-U2-S	U	—	R = 16	α = 20°	F	—	j

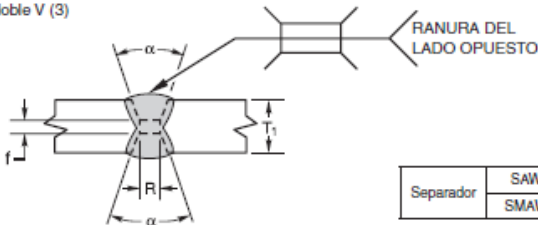
Figura 23: Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)

Soldadura simple en ranura en V (2) Junta en esquina (C)				Tolerancias				
				Según lo detallado (ver 5.4.1.1)	Como ajuste (ver 5.4.1.8)			
				R = +2, -0	+6, -2			
				α = +10°, -0°	+10°, -5°			
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura		Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T1	T2	Apertura de la raíz	Ángulo de la ranura			
SMAW	C-U2a	U	U	R = 6	α = 45°	Todo	—	e, o
				R = 10	α = 30°	F, V, OH	—	e, o
				R = 12	α = 20°	F, V, OH	—	e, o
GMAW FCAW	C-U2a-GF	U	U	R = 5	α = 30°	F, V, OH	Se requiere	a
				R = 10	α = 30°	F, V, OH	No se req.	a, o
				R = 6	α = 45°	F, V, OH	No se req.	a, o
SAW	C-L2a-S	50 máx.	U	R = 6	α = 30°	F	—	o
SAW	C-U2-S	U	U	R = 16	α = 20°	F	—	o

Soldadura simple en ranura en V (2) Junta a tope (B)									
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T1	T2	Apertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias				
		Según lo detallado (ver 5.4.1.1)	Como ajuste (ver 5.4.1.8)						
SMAW	B-U2	U	—	R = 0 a 3 f = 0 a 3 α = 60°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 Ilimitado +10°, -5°	Todo	—	d, e, j
				R = 0 a 3 f = 0 a 3 α = 60°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 Ilimitado +10°, -5°	Todo	No se requiere	a, d, j
SAW	B-L2c-S	Más de 12 hasta 25	—	R = 0 f = 6 máx. α = 60°	R = ±0 f = +0, -f α = +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	—	d, j
		Más de 25 hasta 38	—	R = 0 f = 12 máx. α = 60°					
		Más de 38 hasta 50	—	R = 0 f = 16 máx. α = 60°					

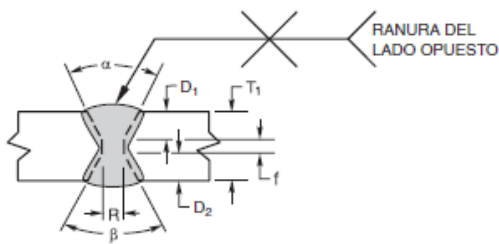
Figura 24: Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)

Soldadura simple en ranura en V (2) Junta en esquina (C)									
									
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U - ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
				Apertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias				
		T ₁	T ₂			Según lo detallado (ver 5.4.1.1)			
SMAW	C-U2	U	U	R = 0 a 3 f = 0 a 3 α = 60°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 ilimitado +10°, -5°	Todo	—	d, e, g, j
GMAW FCAW	C-U2-GF	U	U	R = 0 a 3 f = 0 a 3 α = 60°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 ilimitado +10°, -5°	Todo	No se requiere	a, d, g, j
SAW	C-U2b-S	U	U	R = 0 a 3 f = 6 máx. α = 60°	±0 +0, -6 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	—	d, g, j

Soldadura en ranura de doble V (3) Junta a tope (B)						Tolerancias	
						Según lo detallado (ver 5.4.1.1)	Como ajuste (ver 5.4.1.8)
						R = ±0	+6, -0
						f = ±0	+2, -0
						α = +10°, -0°	+10°, -5°
Separador	SAW	±0	+2, -0				
	SMAW	±0	+3, -0				

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U - ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
				Abertura de la raíz	Cara de la raíz	Ángulo de la ranura			
		SMAW	B-U3a	U Separador = 1/8 x R	—	R = 6	f = 0 a 3	α = 45°	
R = 10	f = 0 a 3					α = 30°	F, V, OH	—	
R = 12	f = 0 a 3					α = 20°	F, V, OH	—	
SAW	B-U3a-S	U Separador = 1/4 x R	—	R = 16	f = 0 a 6	α = 20°	F	—	d, h, j

Figura 25: Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)

Soldadura en ranura de doble V (3) Junta a tope (B)				Solo para B-U3c-S					
				T1	D1				
				Mayor de	a	35			
				50	60				
				60	80	45			
				80	90	55			
				90	100	60			
				100	120	70			
				120	140	80			
				140	160	95			
Para T1 > 160 o T2 ≤ 50 D1 = 2/3(T1 - 6)									
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U - ilimitado)		Preparación de la ranura		Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas	
		T1	T2	Apertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias Según lo detallado (ver 5.4.1.1) Como ajuste (ver 5.4.1.8)				
SMAW	B-U3b	U	—	R = 0 a 3 f = 0 a 3 α = β = 60°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 ilimitado +10°, -5°	Todo	—	d, e, h, j
GMAW FCAW	B-U3-GF						No se requiere	a, d, h, j	
SAW	B-U3c-S	U	—	R = 0 f = 6 min. α = β = 60°	+2, -0 +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 +6, -0 +10°, -5°	F	—	d, h, j
				Para encontrar D1, ver la tabla de arriba: D2 = T1 - (D1 + f)					

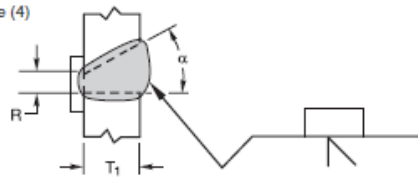
Soldadura en ranura con bisel simple (4) Junta a tope (B)				Tolerancias				
				Según lo detallado (ver 5.4.1.1)	Como ajuste (ver 5.4.1.8)			
				R = +2, -0	+6, -2			
				α = +10°, -0°	+10°, -5°			
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U - ilimitado)		Preparación de la ranura		Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T1	T2	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura			
SMAW	B-U4a	U	—	R = 6	α = 45°	Todo	—	c, e, j
				R = 10	α = 30°	Todo	—	c, e, j
GMAW FCAW	B-U4a-GF	U	—	R = 5	α = 30°	Todo	Se requiere	a, c, j
				R = 6	α = 45°	Todo	No se req.	a, c, j
				R = 10	α = 30°	F, H	No se req.	a, c, j
				R = 10	α = 30°	F	—	c, j
SAW	B-U4a-S	U	—	R = 6	α = 45°			

Figura 26: Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)

Soldadura en ranura con bisel simple (4)							Tolerancias	
Junta en T (T)							Según lo detallado (ver 5.4.1.1)	Como ajuste (ver 5.4.1.8)
Junta en esquina (C)							R = +2, -0	+6, -2
							$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	+10°, -5°

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U - ilimitado)		Preparación de la ranura		Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura			
SMAW	TC-U4a	U	U	R = 6	$\alpha = 45^\circ$	Todo	—	e, g, k, o
				R = 10	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	—	e, g, k, o
GMAW FCAW	TC-U4a-GF	U	U	R = 5	$\alpha = 30^\circ$	Todo	Se requiere	a, g, k, o
				R = 10	$\alpha = 30^\circ$	F	No se req.	a, g, k, o
				R = 6	$\alpha = 45^\circ$	Todo	No se req.	a, g, k, o
SAW	TC-U4a-S	U	U	R = 10	$\alpha = 30^\circ$	F	—	g, k, o
				R = 6	$\alpha = 45^\circ$			

Soldadura en ranura con bisel simple (4)									
Junta a tope (B)									
									

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U - ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Tolerancias				
					Según lo detallado (ver 5.4.1.1)	Como ajuste (ver 5.4.1.8)			
SMAW	B-U4b	U	—	R = 0 a 3	+2, -0	+2, -3	Todo	—	c, d, e, j
GMAW FCAW	B-U4b-GF	U	—	f = 0 a 3 $\alpha = 45^\circ$	+2, -0 +10°, -0°	ilimitado 10°, -5°	Todo	No se requiere	a, c, d, j
SAW	B-U4b-S	U	—	R = 0 f = 6 máx. $\alpha = 60^\circ$	± 0 +0, -3 +10°, -0°	+6, -0 ± 2 10°, -5°	F	—	c, d, j

Figura 27: Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)

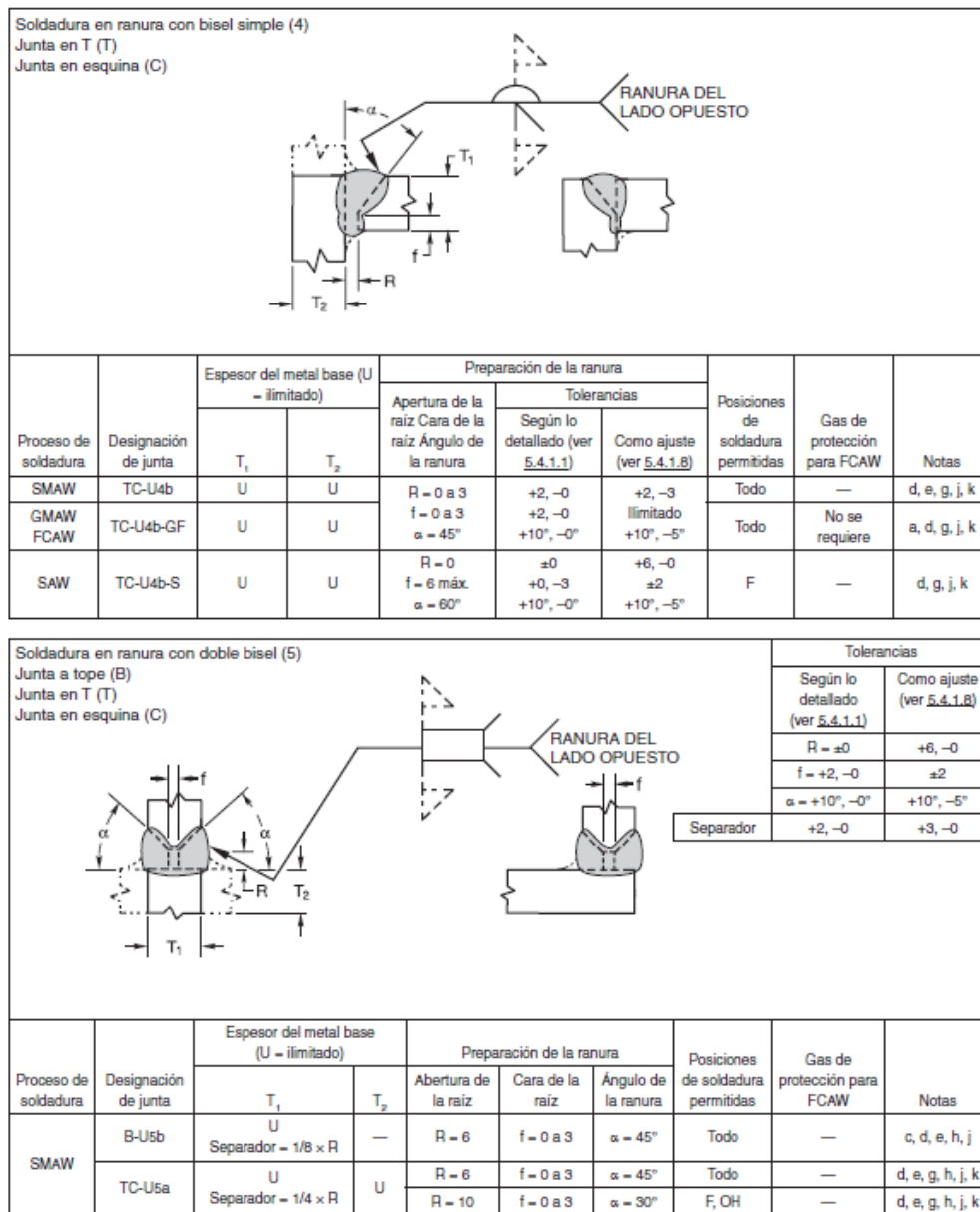


Figura 28: Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)

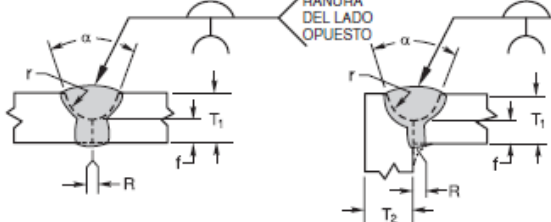
Soldadura en ranura con doble bisel (5)
 Junta a tope (B)

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas	
				Apertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias					
		T ₁	T ₂		Según lo detallado (ver 5.4.1.1)	Como ajuste (ver 5.4.1.8)				
SMAW	B-U5a	U	—	R = 0 a 3 f = 0 a 3 $\alpha = 45^\circ$ $\beta = 0^\circ$ a 15°	+2, -0 +2, -0 $\alpha + \beta = +10^\circ, -0^\circ$	+2, -3 Ilimitado $\alpha + \beta = +10^\circ, -5^\circ$	Todo	—	c, d, e, h, j	
GMAW FCAW	B-U5-GF	U	—	R = 0 a 3 f = 0 a 3 $\alpha = 45^\circ$ $\beta = 0^\circ$ a 15°	+2, -0 +2, -0 $\alpha + \beta = +10^\circ, -0^\circ$	+2, -3 Ilimitado $\alpha + \beta = +10^\circ, -5^\circ$	Todo	No se requiere	a, c, d, h, j	

Soldadura en ranura con doble bisel (5)
 Junta en T (T)
 Junta en esquina (C)

Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura			Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas			
		T ₁	T ₂	Apertura de la raíz Cara de la raíz Ángulo de la ranura	Tolerancias							
					Según lo detallado (ver 5.4.1.1)	Como ajuste (ver 5.4.1.8)						
SMAW	TC-U5b	U	U	R = 0 a 3 f = 0 a 3 $\alpha = 45^\circ$	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 ilimitado +10°, -5°	Todo	—	d, e, g, h, j, k			
GMAW FCAW	TC-U5-GF	U	U		+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 ilimitado +10°, -5°	Todo	No se requiere	a, d, g, h, j, k			
SAW	TC-U5-S	U	U	R = 0 f = 6 máx. $\alpha = 60^\circ$	±0 +0, -5 +10°, -0°	+2, -0 ±2 +10°, -5°	F	—	d, g, h, j, k			

Figura 29: Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)

Soldadura simple de ranura en U (6) Junta a tope (B) Junta en esquina (C) 		Tolerancias								
		Según lo detallado (ver 5.4.1.1)	Como ajuste (ver 5.4.1.8)							
		$R = +2, -0$	$+2, -3$							
		$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$							
		$f = \pm 2$	Ilimitado							
		$r = +3, -0$	$+3, -0$							
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura				Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	B-U6	U	—	$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 45^\circ$	$f = 3$	$r = 6$	Todo	—	d, e, j
				$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 3$	$r = 6$	F, OH	—	d, e, j
	C-U6	U	U	$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 45^\circ$	$f = 3$	$r = 6$	Todo	—	d, e, g, j
				$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 3$	$r = 6$	F, OH	—	d, e, g, j
GMAW FCAW	B-U6-GF	U	—	$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 3$	$r = 6$	Todo	No se req.	a, d, j
	C-U6-GF	U	U	$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 3$	$r = 6$	Todo	No se req.	a, d, g, j

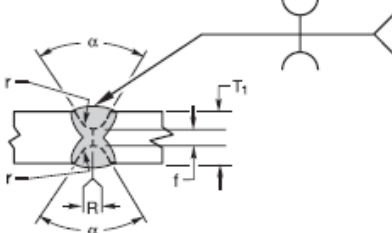
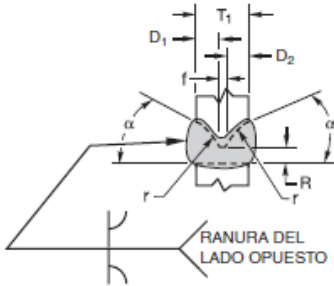
Soldadura en ranura de doble U (7) Junta a tope (B) 		Tolerancias								
		Según lo detallado (ver 5.4.1.1)	Como ajuste (ver 5.4.1.8)							
		Para B-U7 y B-U7-GF								
		$R = +2, -0$	$+2, -3$							
		$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$							
		$f = \pm 2, -0$	Ilimitado							
		$r = +6, -0$	± 2							
		Para B-U7-S								
		$R = +0$	$+2, -0$							
		$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$							
		$f = +0, -6$	± 2							
		$r = +6, -0$	± 2							
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura				Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	B-U7	U	—	$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 45^\circ$	$f = 3$	$r = 6$	Todo	—	d, e, h, j
				$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 3$	$r = 6$	F, OH	—	d, e, h, j
GMAW FCAW	B-U7-GF	U	—	$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 3$	$r = 6$	Todo	No se requiere	a, d, i, h
SAW	B-U7-S	U	—	$R = 0$	$\alpha = 20^\circ$	$f = 6 \text{ máx.}$	$r = 6$	F	—	d, h, j

Figura 30: Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)

Soldadura simple en ranura en J (B)								Tolerancias			
Junta a tope (B)								Según lo detallado (ver 5.4.1.1)		Como ajuste (ver 5.4.1.2)	
								B-U8 y B-U8-GF			
								$R = +2, -0$		$+2, -3$	
								$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$		$+10^\circ, -5^\circ$	
								$f = +3, -0$		ilimitado	
								$r = +6, -0$		$\pm 1/16$	
								B-U8-S			
								$R = \pm 0$		$+3, -0$	
								$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$		$+10^\circ, -5^\circ$	
								$f = +0, -3$		± 2	
								$r = +6, -0$		± 2	
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura				Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas	
		T_1	T_2	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura	Cara de la raíz	Radio del bisel				
SMAW	B-U8	U	—	$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 45^\circ$	$f = 3$	$r = 10$	Todo	—	c, d, e, j	
GMAW FCAW	B-U8-GF	U	—	$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 30^\circ$	$f = 3$	$r = 10$	Todo	No se req.	a, c, d, j	
SAW	B-U8-S	U	—	$R = 0$	$\alpha = 45^\circ$	$f = 6 \text{ máx.}$	$r = 10$	F	—	c, d, j	

Soldadura simple en ranura en J (B)								Tolerancias			
Junta en T (T)								Según lo detallado (ver 5.4.1.1)		Como ajuste (ver 5.4.1.2)	
Junta en esquina (C)								TC-U8a y TC-U8a-GF			
								$R = +2, -0$		$+2, -3$	
								$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$		$+10^\circ, -5^\circ$	
								$f = +2, -0$		ilimitado	
								$r = +6, -0$		$\pm 1/16$	
								TC-U8a-S			
								$R = \pm 0$		$+6, -0$	
								$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$		$+10^\circ, -5^\circ$	
								$f = +0, -3$		± 2	
								$r = +6, -0$		± 2	
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura				Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas	
		T_1	T_2	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura	Cara de la raíz	Radio del bisel				
SMAW	TC-U8a	U	U	$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 45^\circ$	$f = 3$	$r = 10$	Todo	—	d, e, g, j, k	
				$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 45^\circ$	$f = 3$	$r = 10$	F, OH	—	d, e, g, j, k	
GMAW FCAW	TC-U8a-GF	U	U	$R = 0 \text{ a } 3$	$\alpha = 45^\circ$	$f = 3$	$r = 10$	Todo	No se requiere	a, d, g, j, k	
SAW	TC-U8a-S	U	U	$R = 0$	$\alpha = 45^\circ$	$f = 6 \text{ máx.}$	$r = 10$	F	—	d, g, j, k	

Figura 31: Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)

Soldadura en ranura de doble J (9) Junta a tope (B)								Tolerancias		
								Según lo detallado (ver 5.4.1.1)	Como ajuste (ver 5.4.1.8)	
								R = +2, -0	+2, -3	
								α = +10°, -0°	+10°, -5°	
								f = +2, -0	Ilimitado	
								r = +3, -0	±2	
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura				Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	B-U9	U	—	R = 0 a 3	α = 45°	f = 3	r = 10	Todo	—	c, d, e, h, j
GMAW FCAW	B-U9-GF	U	—	R = 0 a 3	α = 30°	f = 3	r = 10	Todo	No se requiere	a, c, d, h, j

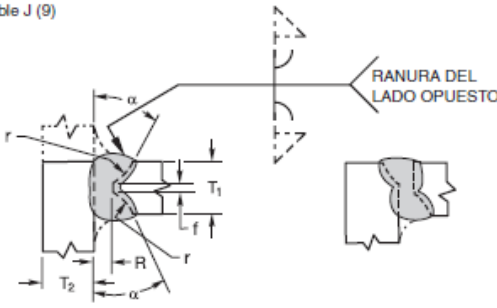
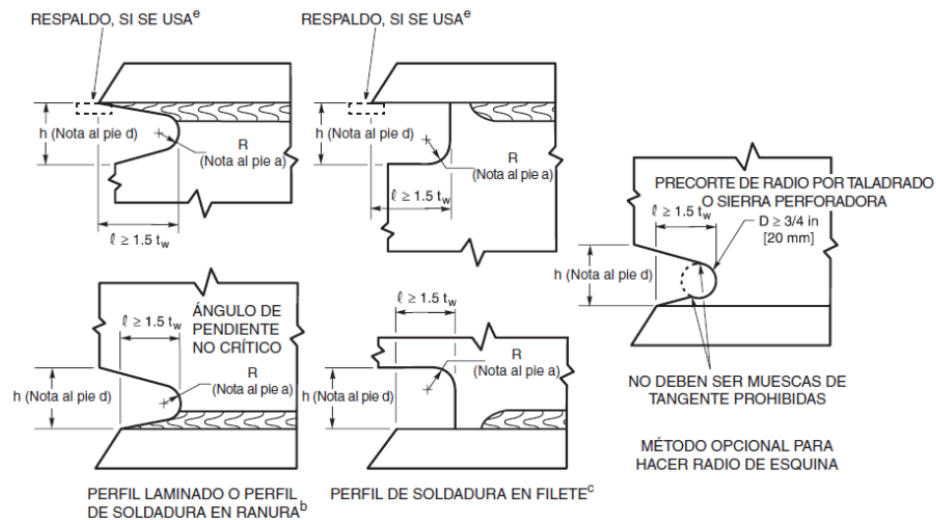
Soldadura en ranura de doble J (9) Junta en T (T) Junta en esquina (C)								Tolerancias		
								Según lo detallado (ver 5.4.1.1)	Como ajuste (ver 5.4.1.8)	
								R = +2, -0	+2, -3	
								α = +10°, -0°	+10°, -5°	
								f = +2, -0	Ilimitado	
								r = 3, -0	±2	
Proceso de soldadura	Designación de junta	Espesor del metal base (U = ilimitado)		Preparación de la ranura				Posiciones de soldadura permitidas	Gas de protección para FCAW	Notas
		T ₁	T ₂	Abertura de la raíz	Ángulo de la ranura	Cara de la raíz	Radio del bisel			
SMAW	TC-U9a	U	U	R = 0 a 3	α = 45°	f = 3	r = 10	Todo	—	d, e, g, h, j, k
				R = 0 a 3	α = 30°	f = 3	r = 10	F, OH	—	d, e, g, h, j, k
GMAW FCAW	TC-U9a-GF	U	U	R = 0 a 3	α = 30°	f = 3	r = 10	Todo	No se requiere	a, d, g, h, j, k

Figura 32: Detalles de la junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada (dimensiones en mm) . (AWS, 2020)

H. Apéndice 8



^a El radio debe proporcionar una transición suave sin entallas; $R \geq 3/8 \text{ pulg. [10 mm]}$ (típico $1/2 \text{ pulg. [12 mm]}$).

^b Orificio de acceso realizado después de soldar el alma a la brida.

^c Orificio de acceso realizado antes de soldar el alma a la brida. La soldadura de alma a la brida no debe retornarse a través del orificio.

^d $h_{\min.} = 3/4 \text{ pulg. [20 mm]}$ o t_w (espesor del alma), el que sea mayor, $h_{\min.}$ no debe exceder 2 pulg. [50 mm] .

^e Estos son los detalles típicos para juntas soldadas desde un lado contra el respaldo de acero. Se deben considerar diseños de junta alternativos.

Figura 33: Geometría de orificio de acceso de soldadura. (AWS, 2020)

I. Apéndice 9

Table 4
Plotted FEA results for the stiffened plate with $b/t = 75$ for various values of w/g

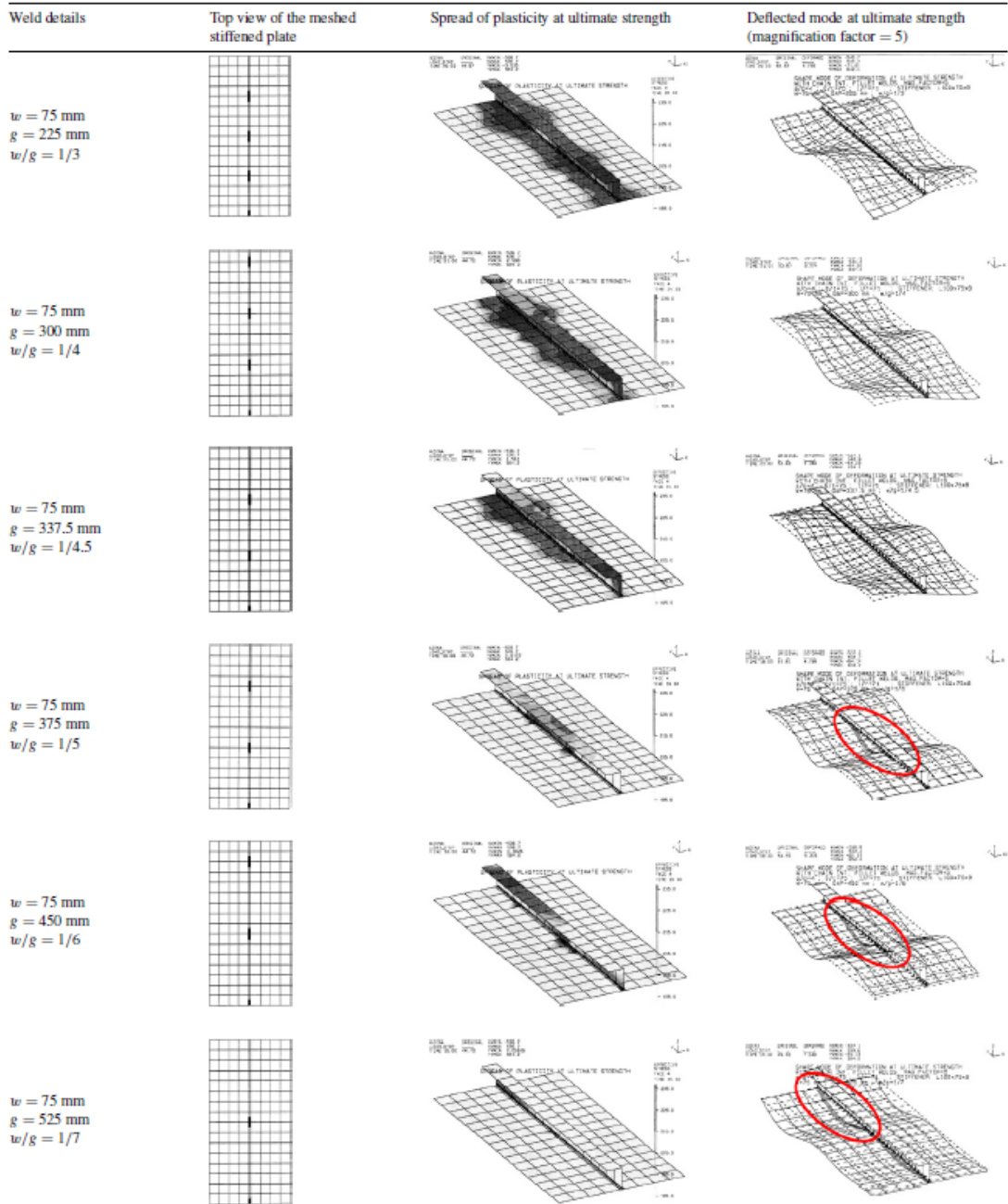


Figura 34: Modos de pandeo y distribución de plasticidad para diferentes w/g . (Khedmati et al., 2007)

J. Apéndice 10



Figura 35: Marca automática sin tratamiento superficial



Figura 36: Marca automática con tratamiento superficial



Figura 37: Marca manual sin tratamiento superficial



Figura 38: Marca manual con tratamiento superficial

K. Apéndice 11

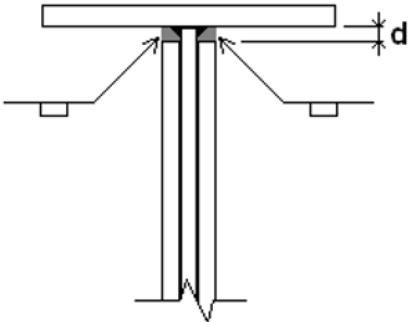
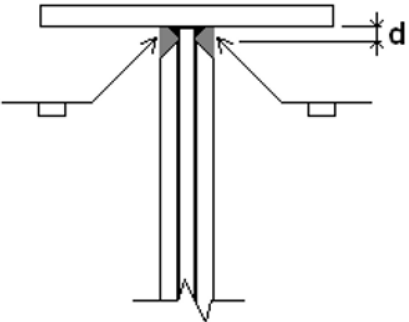
SOLDADURA PLACA DE REFUERZO			
Refuerzo sin Bisel		Refuerzo Biselado	
			
Espesor refuerzo [mm]	Holgura “d” [mm]	Espesor refuerzo [mm]	Holgura “d” [mm]
5	S + 1	8 y superiores	S + 1
6	S + 1		
<u>Notas:</u> - El valor de “S” corresponde a la soldadura de armado del perfil.			

Figura 39: Detalle de soldadura de placa de refuerzo para zona panel

L. Apéndice 12

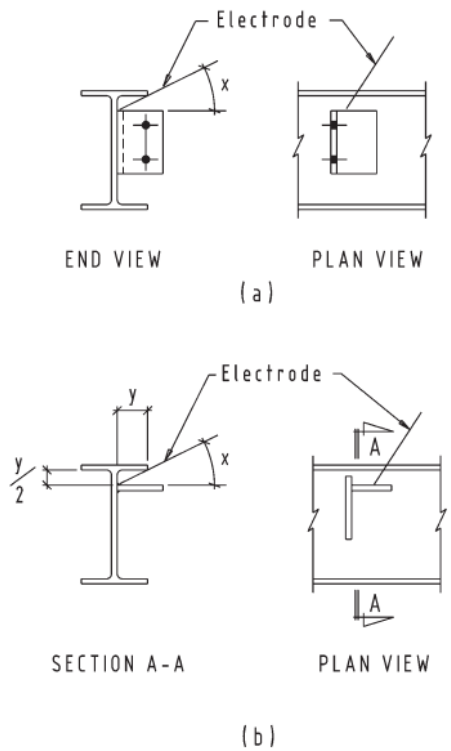


Figura 40: Posición preferente del electrodo para soldadura de filete horizontal. (AISC, 2009).

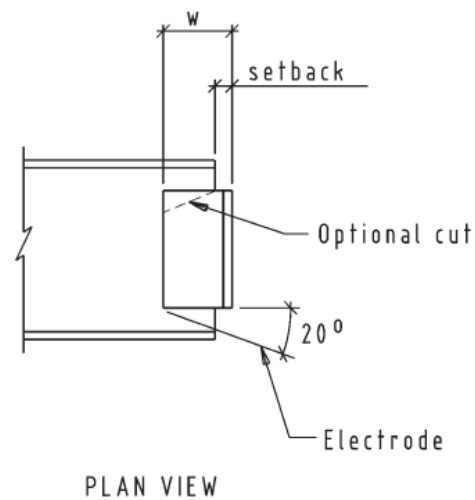


Figure 7-83. Welding clearance.

Figura 41: Caso de acceso restringido para soldadura de filete. (AISC, 2009).

Vertical or horizontal section

for $\frac{3}{16}$ fillets			$\frac{1}{2}$	Minimum
"	$\frac{1}{4}$	"	$\frac{9}{16}$	"
"	$\frac{5}{16}$	"	$\frac{5}{8}$	"
"	$\frac{3}{8}$	"	$\frac{11}{16}$	"
"	$\frac{7}{16}$	"	$\frac{3}{4}$	"
"	$\frac{1}{2}$	"	$\frac{13}{16}$	"

Figura 42: Distancia mínima de apoyo para soldaduras de filete SMAW [in]. (AISC, 2009).

M. Apéndice 13

TABLA J3.3 Dimensiones de Agujero Nominal, in				
Diámetro Perno	Dimensiones Agujero			
	Estándar (Dia.)	Sobretamaño (Dia.)	Ranura Corta (Ancho x Largo)	Ranura Larga (Ancho x Largo)
$\frac{1}{2}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{9}{16} \times \frac{11}{16}$	$\frac{9}{16} \times 1\frac{1}{4}$
$\frac{5}{8}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{11}{16} \times \frac{7}{8}$	$\frac{11}{16} \times 1\frac{9}{16}$
$\frac{3}{4}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{13}{16} \times 1$	$\frac{13}{16} \times 1\frac{7}{8}$
$\frac{7}{8}$	$\frac{15}{16}$	$1\frac{1}{16}$	$\frac{15}{16} \times 1\frac{1}{8}$	$\frac{15}{16} \times 2\frac{3}{16}$
1	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{8} \times 1\frac{5}{16}$	$1\frac{1}{8} \times 2\frac{1}{2}$
$\geq 1\frac{1}{8}$	$d + \frac{1}{8}$	$d + \frac{5}{16}$	$(d + \frac{1}{8}) \times (d + \frac{3}{8})$	$(d + \frac{1}{8}) \times 2.5d$

Figura 43: Dimensiones de agujero nominal. (AISC, 2016a).

Table 6.1
Washer Requirements for
Pretensioned and Slip-Critical
Bolted Joints with Oversized and
Slotted Holes in the Outer Ply

Bolt Group	Nominal Bolt Diameter, d_b , in.	Hole Type in Outer Ply		
		Oversized	Short-Slotted	Long-Slotted
Group 120	$\frac{1}{2} - 1\frac{1}{2}$	ASTM F436 ^a		$\frac{5}{16}$ -in.-thick plate washer or continuous bar ^{b,c}
	≤ 1			
Group 144 and 150	> 1	ASTM F436 extra thick ^{a,b,d}		ASTM F436 washer with either a $\frac{3}{8}$ -in.-thick plate washer or continuous bar ^{b,c}

^a This requirement shall not apply at the head at round heads of ASTM F3125 Grades F1852 and F2280, or F3148 Grade 144 *bolting assemblies* with round heads that meet the requirements in Section 2.4 and provide a bearing circle diameter that meets the requirements of the relevant ASTM Standard.

^b See ASTM F436 Section 1.2. Multiple washers with a combined thickness of $\frac{5}{16}$ in. or larger do not satisfy this requirement.

^c The plate washer or bar shall be of structural-grade steel material, but need not be hardened.

^d Alternatively, a $\frac{3}{8}$ -in.-thick plate washer and an ordinary thickness F436 washer may be used. The plate washer need not be hardened.

Figura 44: Requisitos de arandelas para uniones empernadas pretensadas y de tipo deslizamiento crítico con agujeros sobremedidos y ranurados en la capa exterior. (RCSC, 2020).

N. Apéndice 14

Marca	Significado Campo 1	Significado Campo 2
C3BA21	Proyecto: C; Edificio: 3	Elemento o Conjunto: Baranda; Número correlativo: 21
CPER2	Proyecto: C; Edificio: P	Elemento o Conjunto: Enrejado; Número correlativo: 2
b232	Parte: Plancha con bisel; Número correlativo: 232	N/A

Tabla 16: Aplicación de estándar de marcado

Ñ. Apéndice 15

LISTA DE PARTES - CLIENTE

PROYECTO : PROYECTO: CONCESIÓN AUTOPISTA (X1)
 ÁREA : PASARELA (X2)
 ELEMENTO O CONJUNTO : BARANDA (PR)
 Nº OT : xxxxxx
 PRIORIDAD : 2
 TRANSMITTAL : TT010
 FECHA : DD.MM.AAAA

Marca Parte	Tipo Perfil	Cantidad	Material	Largo [mm]	Área Total [m2]	Peso Total [kg]
xc140	TUB50.8X3.00	4	A500	828	0,255	1,89
xc141	TUB50.8X3.00	152	A500	910	10,648	78,81
xc142	TUB50.8X3.00	1	A500	941	0,072	0,54
xc143	TUB50.8X3.00	5	A500	983	0,378	2,8
xc144	TUB50.8X3.00	9	A500	915	0,634	4,69
b145	PL10	3	A36	894	0,207	1,53
b146	PL10	3	A36	36	0,008	0,06
b147	PL10	4	A36	1028	0,317	2,34
b148	PL10	108	A36	1448	12,042	89,13
b149	PL10	4	A36	1405	0,433	3,2
Total :		293			24,994	184,99

Figura 45: Reporte lista de partes desde Tekla Structures.

SUBMATERIAL - CLIENTE

PROYECTO : PROYECTO: CONCESIÓN AUTOPISTA (X1)
 ÁREA : PASARELA (X2)
 Nº OT : xxxxxx
 PRIORIDAD : 2
 TRANSMITTAL : TT010
 FECHA : DD.MM.AAAA

Total	Parcial	Elemento/Perfil	Material	Largo [mm]	Parte	Peso U. [kg]	Peso T. [kg]	Area U. [m2]	Area T. [m2]	Cod	T.E.	Observaciones
1		BARANDA				184,99	184,99	24,994	24,994	BA		
4	4	TUB50.8X3.00	A500	828	xc140	0,47	1,89	0,064	0,255			CAN50.3X3.00
152	152	TUB50.8X3.00	A500	910	xc141	0,52	78,81	0,070	10,648			CAN50.3X3.00
1	1	TUB50.8X3.00	A500	941	xc142	0,54	0,54	0,072	0,072			CAN50.3X3.00
5	5	TUB50.8X3.00	A500	983	xc143	0,56	2,80	0,076	0,378			
9	9	TUB50.8X3.00	A500	915	xc144	0,52	4,69	0,070	0,634			
3	3	PL10	A36	894	b145	0,51	1,53	0,069	0,207			
3	3	PL10	A36	36	b146	0,02	0,06	0,003	0,008			
4	4	PL10	A36	1028	b147	0,59	2,34	0,079	0,317			
108	108	PL10	A36	1448	b148	0,83	89,13	0,112	12,042			
4	4	PL10	A36	1405	b149	0,80	3,20	0,108	0,433			
1		ENREJADO				19,63	19,63	0,087	0,087	ER		
1	1	PL10	A36	72	b150	0,04	0,04	0,006	0,006			
2	2	PL10	A36	514	b151	0,30	0,59	0,040	0,079			
2	2	LL100X100X6	A36	1254	a152	9,50	19,00	0,001	0,002			L100X100X6

PESO TOTAL 204,62
AREA TOTAL 25,08

Figura 46: Reporte lista de submateriales desde Tekla Structures.

LISTA DE EMBARQUE - CLIENTE

PROYECTO : PROYECTO: CONCESIÓN AUTOPISTA (X1)
 ÁREA : PASARELA (X2)
 Nº OT : xxxxxx
 PRIORIDAD : 2
 TRANSMITTAL : TT010
 FECHA : DD.MM.AAAA

Marca	Cant.	ELEMENTO O CONJUNTO	Largo (mm)	Peso Unit (Kg)	Peso Total (Kg)	Perfil	Tipo Transp.	Rev.	Observaciones
xc140	4	BARANDA	828	0,47	1,89	TUB50.8X3.00	Normal	0	
xc141	152	BARANDA	910	0,52	78,81	TUB50.8X3.00	Normal	1	AGREGA COTA
xc142	1	BARANDA	941	0,54	0,54	TUB50.8X3.00	Normal	1	AGREGA SECCIONES
xc143	5	BARANDA	983	0,56	2,80	TUB50.8X3.00	Normal	1	AGREGA COTA
xc144	9	BARANDA	915	0,52	4,69	TUB50.8X3.00	Normal	0	
b145	3	BARANDA	894	0,51	1,53	PL10	Normal	0	
b146	3	BARANDA	36	0,02	0,06	PL10	Normal	0	
b147	4	BARANDA	1028	0,59	2,34	PL10	Normal	0	
b148	108	BARANDA	1448	0,83	89,13	PL10	Normal	0	
b149	4	BARANDA	1405	0,80	3,20	PL10	Normal	0	
b150	1	ENREJADO	72	0,04	0,04	PL10	Normal	0	
b151	2	ENREJADO	514	0,30	0,59	PL10	Normal	0	
a152	2	ENREJADO	1254	9,50	19,00	LL100X100X6	Normal	0	
TOTAL	55				PESO TOTAL (Kg) : 204,62				
					CANT. MARCAS: 13				

Figura 47: Reporte lista de embarque desde Tekla Structures.

REPORTE REGISTRO EMISIONES - CLIENTE

PROYECTO : PROYECTO: CONCESIÓN AUTOPISTA (X1)
 ÁREA : PASARELA (X2)
 Nº OT : xxxxxx
 PRIORIDAD : 2
 FECHA : DD.MM.AAAA

DOCUMENTO	REV.	CANT.	PESO U.	PESO T.	C.E.	TIPO PLANO	FECHA	Nº TT	PRIORIDAD	ESTATUS	NOTA
BA1	0	1	184,99	184,99	--	Assembly	DD.MM.AAAA	TT010	2	REV B	
BA2	0	1	184,99	184,99	--	Assembly	DD.MM.AAAA	TT010	2	REV B	
BA3	0	1	184,99	184,99	--	Assembly	DD.MM.AAAA	TT010	2	REV B	
BA4	0	1	184,99	184,99	--	Assembly	DD.MM.AAAA	TT010	2	REV B	
cx140	0	1	0,4725	1,89	--	Gathers	DD.MM.AAAA	TT010	2	REV B	
cx141	0	1	0,518486842	78,81	--	Gathers	DD.MM.AAAA	TT010	2	REV B	
cx142	0	1	0,54	0,54	--	Gathers	DD.MM.AAAA	TT010	2	REV 0	
cx143	0	1	0,56	2,8	--	Gathers	DD.MM.AAAA	TT010	2	REV 0	
cx144	0	1	0,521111111	4,69	--	Gathers	DD.MM.AAAA	TT010	2	REV 0	
cx145	0	1	0,51	1,53	--	Gathers	DD.MM.AAAA	TT010	2	REV 0	
cx146	0	1	0,02	0,06	--	Gathers	DD.MM.AAAA	TT011	3	REV 0	
cx147	0	1	0,585	2,34	--	Gathers	DD.MM.AAAA	TT012	4	REV 0	
cx148	0	1	0,825277778	89,13	--	Gathers	DD.MM.AAAA	TT013	5	REV 0	
cx149	0	1	0,8	3,2	--	Gathers	DD.MM.AAAA	TT014	6	REV 0	
PESO TOTAL				185							

Figura 48: Reporte registro de emisiones desde Tekla Structures.

TRANSMITTAL ASSEMBLIES - CLIENTE

PROYECTO : PROYECTO: CONCESIÓN AUTOPISTA (X1)
 ÁREA : PASARELA (X2)
 Nº OT : xxxxxx
 PRIORIDAD : 2
 FECHA : DD.MM.AAAA

DOCUMENTO	REV.	TT	FECHA	OBSERVACIONES	REEMPLAZA POR	REEMPLAZA A
BA1	0	TT010	DD.MM.AAAA	APROBADO PARA FABRICACION		
BA2	0	TT010	DD.MM.AAAA	APROBADO PARA FABRICACION		
BA3	0	TT010	DD.MM.AAAA	APROBADO PARA FABRICACION		
BA4	0	TT010	DD.MM.AAAA	APROBADO PARA FABRICACION		

Figura 49: Reporte transmittal de assemblies desde Tekla Structures.

TRANSMITTAL GATHERS - CLIENTE

PROYECTO : PROYECTO: CONCESIÓN AUTOPISTA (X1)

ÁREA : PASARELA (X2)

Nº OT : xxxxx

PRIORIDAD : 2

FECHA : DD.MM.AAAA

DOCUMENTO	REV.	TT	FECHA	OBSERVACIONES	REEMPLAZA POR	REEMPLAZA A
xc140	0	TT010	DD.MM.AAAA	APROBADO PARA FABRICACION		
xc141	0	TT010	DD.MM.AAAA	APROBADO PARA FABRICACION		
xc142	0	TT010	DD.MM.AAAA	APROBADO PARA FABRICACION		
xc143	0	TT010	DD.MM.AAAA	APROBADO PARA FABRICACION		
xc144	0	TT010	DD.MM.AAAA	APROBADO PARA FABRICACION		
b145	0	TT010	DD.MM.AAAA	APROBADO PARA FABRICACION		
b146	0	TT010	DD.MM.AAAA	APROBADO PARA FABRICACION		
b147	0	TT010	DD.MM.AAAA	APROBADO PARA FABRICACION		
b148	0	TT010	DD.MM.AAAA	APROBADO PARA FABRICACION		
b149	0	TT010	DD.MM.AAAA	APROBADO PARA FABRICACION		

Figura 50: Reporte transmittal de gathers desde Tekla Structures.

O. Apéndice 16

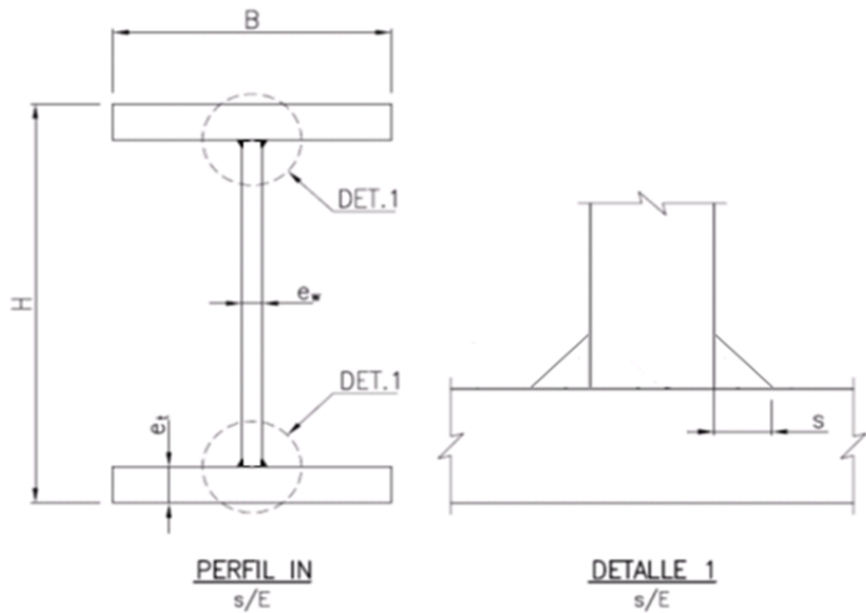


Figura 51: Disposición geométrica para armado de perfiles especiales hasta 22 mm

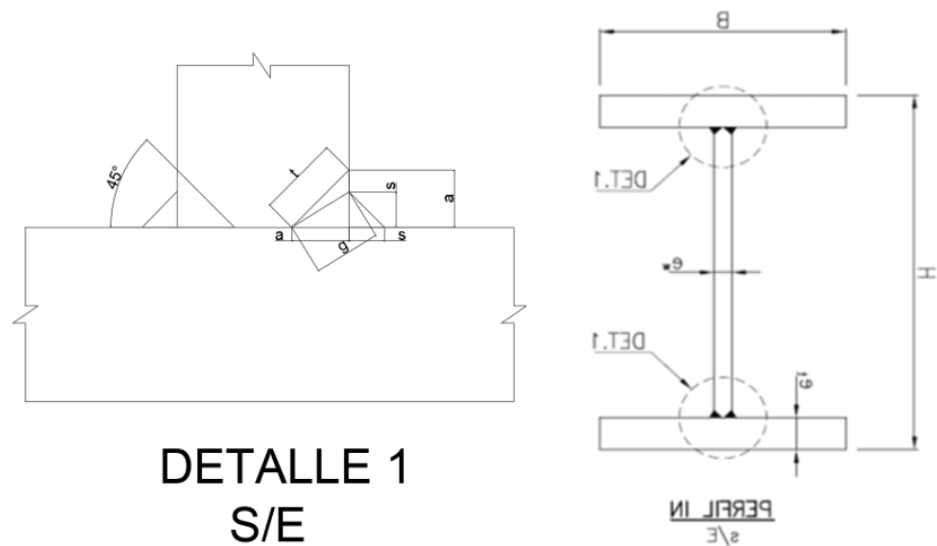


Figura 52: Disposición geométrica para armado de perfiles especiales sobre 22 mm

P. Apéndice 17

TABLA J2.1 Garganta Efectiva de Soldaduras de tope con Junta de Penetración Parcial			
Proceso de Soldado	Posición de Soldado F (plano), H (horizontal), V (vertical), OH (sobre cabeza)	Tipo de surco (Figura 3.3, AWS D1.1)	Garganta Efectiva
Arco de electrodo revestido (SMAW)	Todos	Bisel J o U	Profundidad del bisel
Arco metálico y gas (GMAW) Arco con núcleo de fundente (FCAW)		60° V	
Arco Sumergido (SAW)	F	Bisel J o U Bisel 60° o V	Profundidad del bisel
Arco metálico y gas (GMAW) Arco con núcleo de fundente (FCAW)	F, H	Bisel 45°	
Arco de electrodo revestido (SMAW)	Todos	Bisel 45°	Profundidad del bisel menos 3 mm
Arco metálico y gas (GMAW) Arco con núcleo de fundente (FCAW)	V, OH	Bisel 45°	

Figura 53: Garganta efectiva de acorde al proceso de soldado (AISC, 2016a).

Q. Apéndice 18

Table 2.3. Recommended Sizes for Anchor Rod Holes in Base Plates			
Anchor Rod Diameter, in.	Hole Diameter, in.	Min. Washer Dimension, in.	Min. Washer Thickness, in.
$\frac{3}{4}$	$1\frac{5}{8}$	2	$\frac{1}{4}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{5}{8}$	$2\frac{1}{2}$	$\frac{5}{16}$
1	$1\frac{3}{4}$	3	$\frac{3}{8}$
$1\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{8}$	3	$\frac{1}{2}$
$1\frac{1}{2}$	$2\frac{5}{8}$	$3\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
$1\frac{3}{4}$	$2\frac{3}{4}$	4	$\frac{5}{8}$
2	$3\frac{1}{4}$	5	$\frac{3}{4}$
$2\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{4}$	$5\frac{1}{2}$	$\frac{7}{8}$
Notes: 1. Circular or square washers meeting the size shown are acceptable. 2. Adequate clearance must be provided for the washer size selected. 3. See discussion below regarding the use of alternate $1\frac{1}{8}$ -in. hole size for $\frac{3}{4}$ -in.-diameter anchor rods, with plates less than $1\frac{1}{4}$ in. thick.			

Figura 54: Diámetros de perforaciones para placas base (AISC, 2016b).