

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE POSGRADO EN INGENIERÍA Y CIENCIAS**

**DISEÑO DE CONEXIONES SOLDADAS**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MÁSTER (MSc.)  
EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL**

**AUTOR: ING. VICENTE EDUARDO CAPA GUACHÓN**  
Vicente\_capa@hotmail.com

**DIRECTOR: ING. MSc. ROBERTO ARELLANO BUENO**  
roberto.arellano@epn.edu.ec

**Quito, Marzo, 2009**



## **DECLARACIÓN**

Yo, Vicente Eduardo Capa Guachón, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Vicente E. Capa G.**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Ing. Vicente Eduardo Capa Guachón, bajo mi supervisión.

---

**Ing. MSc. Roberto Arellano Bueno**  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi sincero y eterno agradecimiento al Ing. MSc. Roberto Arellano Bueno, por su apoyo constante para que este proyecto llegue a su feliz culminación.

Su solvencia profesional en el transcurso de la maestría fue el respaldo e incentivo para incursionar cada día más en el campo de la Ingeniería estructural.

**Vicente E. Capa G.**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, pilares fundamentales de mi vida. Su apoyo y motivaciones me han permitido salir adelante en cada proyecto por mi emprendido.

**Vicente E. Capa G.**

# CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	i
CERTIFICACIÓN .....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
CONTENIDO .....	v
RESUMEN.....	viii
PRESENTACIÓN.....	ix

## **1 GENERALIDADES ..... 1**

1.1 GENERALIDADES .....	1
1.2 VENTAJAS DE LA SOLDADURA .....	2
1.3 TIPOS DE SOLDADURA .....	3
1.4 MATERIALES DE SOLDADURA .....	4
1.5 CLASIFICACIÓN DE LAS SOLDADURAS .....	6
1.5.1 SEGÚN EL TIPO DE SOLDADURA.....	6
1.5.2 SEGÚN LA POSICIÓN.....	8
1.5.3 SEGÚN EL TIPO DE JUNTA.....	9
1.6 SÍMBOLOS DE SOLDADURA .....	10
1.7 POSICIONES DE SOLDADURA .....	13
1.8 PROCEDIMIENTOS DE SOLDEO .....	14
1.9 CALIDAD DE LA SOLDADURA .....	15

## **2 BASES DE DISEÑO PARA SOLDADURA ..... 17**

2.1 RESISTENCIA DE LA SOLDADURA.....	17
2.2 ESPECIFICACIONES AISC 2005 .....	19
2.3 ESPECIFICACIONES AISI 1996.....	24

## **3 SOLDADURA DE FILETE..... 28**

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA SOLDADURA DE FILETE.....	28
3.2 ÁREA EFECTIVA EN LA SOLDADURA DE FILETE .....	30
3.3 RESISTENCIA DE LA SOLDADURA DE FILETE.....	32
3.3.1 RESISTENCIA DE DISEÑO (LRFD) Y RESISTENCIA ADMISIBLE (ASD) DE LA SOLDADURA DE FILETE SEGÚN AISC .....	32

3.3.2	RESISTENCIA DE DISEÑO (LRFD) Y RESISTENCIA ADMISIBLE (ASD) DE LA SOLDADURA DE FILETE SEGÚN AISI .....	33
3.4	DISEÑO DE SOLDADURA DE FILETE SIMPLE.....	34
3.5	DISEÑO DE CONEXIONES PARA MIEMBROS CON SOLDADURA DE FILETE LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL .....	38
3.6	LIMITACIONES DE DISEÑO CON SOLDADURA DE FILETE .....	42
<b>4</b>	<b>SOLDADURA DE TOPE O PENETRACIÓN.....</b>	<b>45</b>
4.1	CARACTERÍSTICAS DE LA SOLDADURA DE TOPE O PENETRACIÓN .....	45
4.1.1	SOLDADURA DE PENETRACIÓN TOTAL .....	46
4.1.2	SOLDADURA DE PENETRACIÓN PARCIAL .....	47
4.2	ÁREA EFECTIVA EN LA SOLDADURA A TOPE O PENETRACIÓN .....	48
4.3	RESISTENCIA DE LA SOLDADURA A TOPE O PENETRACIÓN .....	49
4.3.1	RESISTENCIA DE DISEÑO (LRFD) Y RESISTENCIA ADMISIBLE (ASD) DE LA SOLDADURA A TOPE O PENETRACIÓN SEGÚN AISC .....	49
4.3.2	RESISTENCIA DE DISEÑO (LRFD) Y RESISTENCIA ADMISIBLE (ASD) DE LA SOLDADURA A TOPE O PENETRACIÓN SEGÚN AISI.....	51
4.4	DISEÑO DE SOLDADURA A TOPE O DE PENETRACIÓN .....	53
4.5	LIMITACIONES DE DISEÑO CON SOLDADURA A TOPE .....	61
<b>5</b>	<b>SOLDADURA DE TAPÓN Y DE RANURA .....</b>	<b>62</b>
5.1	CARACTERÍSTICAS DE LA SOLDADURA DE TAPÓN Y DE RANURA .....	62
5.2	ÁREA EFECTIVA EN LA SOLDADURA DE TAPÓN Y DE RANURA .....	64
5.3	RESISTENCIA DE LA SOLDADURA DE TAPÓN Y DE RANURA .....	64
5.3.1	RESISTENCIA DE DISEÑO (LRFD) Y RESISTENCIA ADMISIBLE (ASD) DE LA SOLDADURA DE TAPÓN Y DE RANURA SEGÚN AISC .....	64
5.3.2	RESISTENCIA DE DISEÑO (LRFD) Y RESISTENCIA ADMISIBLE (ASD) DE LA SOLDADURA DE TAPÓN Y DE RANURA SEGÚN AISI.....	66
5.3.2.1	Puntos de soldadura por arco [AISI E2.2].....	66
5.3.2.2	Cordones de soldadura por arco [AISI E2.3] .....	70
5.3.2.3	Soldaduras de ranura biselada [AISI E2.3] .....	72
5.4	DISEÑO DE SOLDADURA TAPÓN Y DE RANURA .....	75
5.5	LIMITACIONES DE DISEÑO CON SOLDADURA DE TAPÓN Y DE RANURA .....	85
<b>6</b>	<b>SOLDADURA DE RESISTENCIA .....</b>	<b>87</b>
6.1	CARACTERÍSTICAS DE LA SOLDADURA DE RESISTENCIA.....	87



6.2	RESISTENCIA NOMINAL AL CORTE DE LAS SOLDADURAS DE PUNTO.....	87
6.2.1	SEPARACIÓN DE CONEXIONES EN MIEMBROS A COMPRESIÓN.....	89
<b>7</b>	<b>RESISTENCIA DE LAS CONEXIONES SOLDADAS.....</b>	<b>94</b>
7.1	FILOSOFÍA DE DISEÑO DE LAS CONEXIONES SOLDADAS .....	94
7.2	CONSIDERACIONES ECONÓMICAS PARA EL DISEÑO DE CONEXIONES.....	95
7.3	CONEXIONES SOLDADAS ANTE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO TORSOR .....	96
7.3.1	MÉTODO ELÁSTICO PARA DISEÑO DE CONEXIONES SOLDADAS A CORTANTE Y TORSIÓN .....	97
7.3.2	MÉTODO DE LA ÚLTIMA RESISTENCIA PARA DISEÑO DE CONEXIONES SOLDADAS A CORTANTE Y TORSIÓN .....	101
7.4	CONEXIONES SOLDADAS ANTE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLEXIONANTE	106
7.5	CONEXIONES SOLDADAS SISMORRESISTENTES .....	108
7.5.1	CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO SISMORRESISTENTE DE CONEXIONES SOLDADAS .....	109
<b>8</b>	<b>DISEÑO DE CONEXIONES SOLDADAS PARA ESTRUCTURAS.....</b>	<b>116</b>
8.1	CONEXIONES SOLDADAS PARA MIEMBROS DE ARMADURAS.....	116
8.2	CONEXIONES SOLDADAS ESTANDAR PARA VIGAS .....	123
8.2.1	CONEXIONES CON ÁNGULOS DE ASIENTO SOLDADOS A LAS VIGAS.....	123
8.2.2	CONEXIONES DE VIGA POR ALMA CON ÁNGULOS SOLDADOS .....	128
8.3	CONEXIONES RÍGIDAS VIGA – COLUMNA.....	131
8.3.1	RIGIDIZADORES DE LA CONEXIÓN EN COLUMNAS .....	133
8.4	APOYOS SIMPLES Y DE EMPOTRAMIENTO.....	142
8.4.1	PLACAS DE APOYO RESISTENTES A FLEXIÓN PARA COLUMNAS.....	142
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>152</b>
<b>10</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>154</b>
<b>11</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>156</b>
11.1	HOJAS DE CÁLCULO.....	156

## **RESUMEN**

El presente proyecto expone detalladamente los criterios para diseño de conexiones soldadas con soporte en las especificaciones AISC 2005 y AISI 1996. Se introduce con una ligera descripción de los procesos y características de soldeo, para luego exponer a detalle los tipos de soldadura más aplicables en nuestro medio, tales como: soldadura de filete, soldadura de tope o penetración, soldadura de tapón y de ranura y soldadura de resistencia.

Consecuentemente, los procesos de análisis y diseño de los tipos de soldadura se aplican a conexiones soldadas resistentes a los diferentes casos de carga como fuerza axial, cortante, momento flexionante y momento torsor; solicitaciones a las que se encuentran sometidas comúnmente las estructuras.

Como parte de esta guía de diseño de conexiones soldadas se aplican los métodos LRFD y ASD, para ello se hace una exposición clara de cada uno de ellos, según el caso, y se incluyen ejemplos didácticos, resueltos de una forma paralela por los dos métodos.

## **PRESENTACIÓN**

En nuestro medio no se dispone de una guía detallada para el diseño de conexiones soldadas en estructuras, por lo que varios profesionales cometen muchos errores al momento de elegir el procedimiento más adecuado de análisis y diseño, demostrando incluso una notable equivocación en la aplicación de las normas de diseño referentes a perfiles laminados en caliente y perfiles formados en frío.

Por tanto, presento al lector este documento, que de seguro se convertirá en una guía de diseño de conexiones soldadas, basada en las especificaciones de mayor uso en nuestro medio. Siendo la intención de parte del autor colaborar con el entendimiento de análisis y diseño de este tipo de conexiones.

# CAPÍTULO 1

## 1 GENERALIDADES

### 1.1 GENERALIDADES

La soldadura estructural es un proceso de fabricación por medio del cual se unen partes metálicas a través del calentamiento de sus superficies y pasando a un estado plástico que facilita la unión de las partes con o sin el incremento de otro material fundido. El metal adicional es depositado por un electrodo especial, que es componente de un circuito que incluye a la parte conectada o metal base. Una soldadura diseñada y hecha de manera apropiada puede ser más fuerte que el mismo metal base, ya que logra la penetración requerida y no es frágil.

Sin embargo, una desventaja de la soldadura en estructuras grandes es la consideración de la contracción de grandes soldaduras, dado la presencia de un efecto acumulativo. Además para llevar a cabo este proceso se requiere de trabajadores calificados para soldar y la inspección puede ser a veces difícil y cara, aunque esto último se puede controlar con el empleo de soldadura de taller en vez de soldadura de campo, siempre que sea posible.

Las conexiones soldadas se usan con frecuencia por su simplicidad de diseño, menos partes, menos material y reducción de mano de obra. Las conexiones que son extremadamente complicadas con los sujetadores pueden resultar muy simples con el uso de soldadura. Está determinado que las conexiones soldadas tienen una rigidez que puede ser ventajosa si se aplican de manera conveniente en el diseño.

Se ha establecido que las reglas que gobiernan la calificación de los soldadores, las mejores técnicas utilizadas y los requerimientos para la mano de obra son las especificaciones de la AWS <<American Welding Society>>, las cuales hacen de la inspección de los trabajos relacionados a este tema un problema menos

complicado, por lo que actualmente la soldadura se permite en la mayoría de los trabajos de ingeniería estructural.

## **1.2 VENTAJAS DE LA SOLDADURA**

Aunque la soldadura moderna ya existe desde hace muchos años atrás, sin embargo en las últimas décadas ha ganado gran espacio en el diseño y construcción de estructuras, debido a las ventajas que proporciona y de las cuales se puede mencionar las siguientes:

1. El empleo de soldadura permite un considerable ahorro económico, por la reducción del peso de acero utilizado, ya que se elimina un gran porcentaje de placas de unión y de empalme utilizadas en el caso de conexiones remachadas o atornilladas. Además la soldadura demanda de menos trabajo que el de remachado, con lo que un soldador puede sustituir sin ningún inconveniente a un equipo normal de cuatro remachadores.
2. La soldadura permite una gran variedad de conexiones, cosa que no se puede lograr con remaches o tornillos.
3. Las conexiones soldadas son más rígidas que las demás, ya que por lo general no utilizan ángulos de conexión o placas auxiliares, que son blanco de deformación durante la aplicación de cargas, sino más bien la conexión por lo general es directa.
4. La aplicación de conexiones soldadas permite obtener estructuras continuas, estáticamente indeterminadas, esbeltas y muy llamativas; con la notoria eliminación de las pesadas placas de conexión empleadas en el caso de conexiones remachadas o atornilladas.
5. Las conexiones soldadas permiten ajustes de proyecto de una manera más sencilla y rápida que otro tipo de conexiones.
6. Las conexiones soldadas ofrecen mejores condiciones de trabajo, ya que la tarea es relativamente silenciosa en comparación con el remachado, lo cual permite no ocasionar problemas de ruido en locales escolares, de salud, oficinas cercanas, de ser el caso.

7. En este tipo de conexiones hay un ahorro considerable en el cálculo, detallado, construcción y montaje de las estructuras.

### 1.3 TIPOS DE SOLDADURA

La soldadura eléctrica resulta indispensable para un gran número de industrias, por ser un sistema de costo reducido y de fácil y rápida utilización. Dentro de este proceso se han ideado diversos métodos de soldadura, pero en la práctica el que se emplea de forma casi exclusiva en las estructuras metálicas es la soldadura por fusión mediante arco eléctrico, consistente en unir las piezas ocasionando un arco eléctrico entre las mismas y un electrodo que actúa a modo de ánodo.

- a. **Soldadura de arco eléctrico.-** En este tipo de soldadura se usa una barra metálica denominada electrodo, la misma que se funde dentro de la junta. El proceso de este tipo de soldadura consiste en provocar la fusión de los bordes que se desea soldar mediante el calor intenso desarrollado por un arco eléctrico, en donde los bordes en fusión de las piezas y el material fundido que se separa del electrodo se combinan íntimamente formando al enfriarse una pieza única resistente y homogénea.

Al momento de llevar a cabo un proceso de soldadura, se debe identificar claramente el tipo de electrodo a utilizar, ya que ello afecta determinadamente en sus propiedades en cuanto a su resistencia, ductilidad y resistencia a la corrosión. Cuando se usan electrodos de recubrimiento ligero no se pretende prevenir la oxidación por lo que no se genera escoria; en tanto que los electrodos de recubrimiento pesado se usan comúnmente en la soldadura estructural, ya que al fundirse generan una protección de vapor o atmósfera favorable para el trabajo, como también una capa de escoria de protección y obteniéndose principalmente soldaduras más resistentes a la corrosión y más dúctiles que las ejecutadas con electrodos de recubrimiento ligero.

- b. Soldadura por gas u oxiacetilénica-** En esta soldadura se usa una barra metálica denominada llenador o barra de soldar. Por tanto, en la boquilla de un soplete se quema una mezcla de oxígeno con ayuda de algún tipo adecuado de gas combustible, que por lo general es acetileno, en donde la flama obtenida puede ser empleada para soldadura o corte de metales. Este proceso es lento y comúnmente se utiliza para trabajos de reparación y mantenimiento.
  
- c. Soldadura por arco sumergido.-** Esta soldadura utiliza un electrodo metálico continuo y desnudo, en donde el arco se produce entre el alambre y la pieza bajo una capa de fundente granular que se va depositando delante del arco; después de la soldadura se retira el fundente que no ha intervenido en la operación. Constituye un proceso de soldadura rápido, eficiente, de gran calidad, alta resistencia al impacto, la corrosión y de notable ductilidad.
  
- d. Soldadura de resistencia.-** Constituye un grupo de procesos de soldadura, donde el calentamiento es producido por el paso de la corriente eléctrica a través de la unión de las piezas.

Refiriéndonos específicamente a las estructuras de acero conformado en frío, dentro de este campo las soldaduras utilizadas se clasifican en soldaduras por fusión o soldaduras de arco y soldaduras de resistencia. Las soldaduras de arco se usan para conectar entre si los miembros de acero conformado en frío y además para unir estos miembros a pórticos de acero laminado en caliente.

## **1.4 MATERIALES DE SOLDADURA**

Para conexiones soldadas en edificios, los aceros estructurales se presentan en la Tabla No.1, en donde los electrodos y fundentes de soldeo deben cumplir con las respectivas normas de la AWS [11].

**Tabla No.1:** Requisitos de acoplamiento entre el metal de aporte y el metal base para soldaduras de penetración completa en construcción de edificios [11].

Metal Base (*)	Proceso de Soldeo			
	Arco metálico Protegido	Arco sumergido	Arco metálico de gas	Arco de fundente coloreado
A36 (a), A53 grado B A500 grados A y B A501, A529 y A570 grados 30 a 50	AWS A5.1 o A5.5 (c) E60XX E70XX E70XX-X	AWS A5.17 o A5.23 (c) F6XX-EXXX F7XX-EXXX o F7XX-EXX-XX	AWS A5.18 ER70S-X	AWS A5.20 E6XT-X E7XT-X Excepto -2, -3, -10, -GS
A242 (b), A441, A572 grado 42 y 50, y A588 (b) (4 pulg y menos)	AWS A5.1 o A5.5 (c) E7015, E7016, E7018, E7028 E7015-X, E7016-X, E7018-X	AWS A5.17 o A5.23 (c) F7XX-EXXX F7XX-EXX-XX	AWS A5.18 ER70S-X	AWS A5.20 E7XT-X Excepto -2, - 3, -10, -GS
A572 grados 60 y 65	AWS A5.5 (c) E8015X, E8016-X E8018-X	AWS A5.23 (c) F8XX-EXX-XX	AWS A5.28 (c) ER80S-X	AWS A5.29 (c) E8XTX-X
A514 sobre 2 1/2 pulg de espesor	AWS A5.5 (c) E10015-X, E10016-X, E10018-X	AWS A5.23 (c) F10XX-EXX-XX	AWS A5.28 (c) ER100S-X	AWS A5.29 (c) E10XTX-X
A514 2 1/2 pulg de espesor o menos	AWS A5.5 (c) E11015-X E11016-X E11018-X	AWS A5.23 (c) F11XX-EXX-XX	AWS A5.28 (c) ER110S-X	AWS A5.29 (c) E11XTX-X

- (\*) En uniones que involucran metales base de diferentes grupos, pueden utilizarse los requisitos del metal de aportación de bajo contenido de hidrógeno aplicables al grupo de menor resistencia. Los procesos de bajo contenido de hidrógeno están sujetos a los requisitos técnicos aplicables al grupo de mayor resistencia.
- (a) Solamente pueden utilizarse electrodos de bajo contenido de hidrógeno para soldar acero A36 de más de 1 pulg de espesor para estructuras con cargas dinámicas.
- (b) Pueden requerirse materiales y procedimientos de soldeo especiales (por ejemplo, electrodos E80XX-X de baja aleación) para acoplar la tenacidad de muesca del metal base (para aplicaciones que implican carga de impacto o baja temperatura) o para corrosión atmosférica y características de autoprotección contra la intemperie.
- (c) El metal de soldadura depositado debe tener una resistencia de impacto mínima de 20 libra-pie a 0 °F cuando se requieren probetas de tenacidad charpy de muesca en V.



En conexiones soldadas para edificios, los electrodos o fundentes indicados en la tabla anterior, deben aplicarse al hacer soldaduras de penetración completa.

## 1.5 CLASIFICACIÓN DE LAS SOLDADURAS

Se distinguen tres clasificaciones para las soldaduras, de acuerdo al siguiente detalle:

### 1.5.1 SEGÚN EL TIPO DE SOLDADURA

Se incluyen en este grupo principalmente las soldaduras de filete y de ranura, que son las más comunes en los proyectos estructurales. También se tienen en esta clasificación las soldaduras de tapón y de muesca.

- **Soldadura de Filete.-** Es la que se utiliza con mayor frecuencia, especialmente para unir superficies aproximadamente a ángulos rectos entre si. Para cargas livianas es la más económica en virtud de que requiere poca preparación del material (figura 1.1).

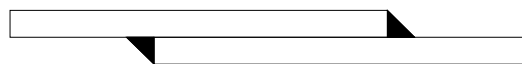


Figura 1.1: Soldadura de filete

- **Soldadura de Ranura.-** La aplicación de la soldadura de ranura está dada principalmente cuando los miembros que se desean unir están dispuestos en una misma alineación y su uso es muy común en conexiones, como empalmes en columnas y las conexiones de patines de vigas a columnas (figura 1.2).

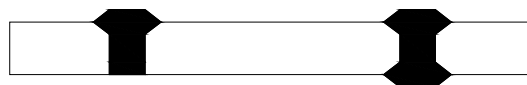
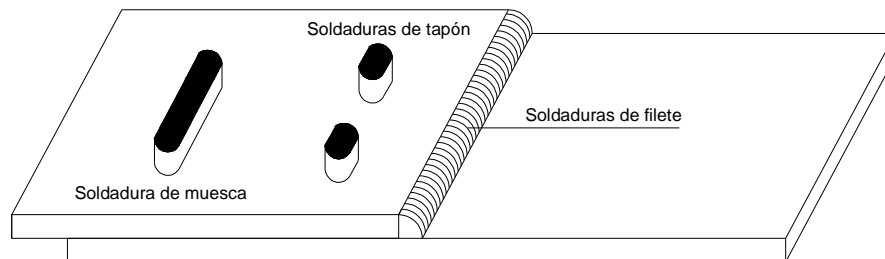


Figura 1.2: Soldadura de ranura

Generalmente la soldadura de ranura es más costosa que la soldadura de filete, debido al costo de preparación. En efecto, la soldadura de ranura puede costar entre un 50% y 100% más que la soldadura de filete.

- **Soldadura de tapón.-** Constituye una soldadura circular que une dos piezas, con ayuda de una o más perforaciones necesarias en uno de los miembros para el depósito de la suelda.
- **Soldadura de muesca.-** Esta soldadura es formada en una muesca o agujero alargado, que une un miembro con otro mediante la muesca (figura 1.3).



**Figura 1.3:** Soldaduras de tapón y de muesca

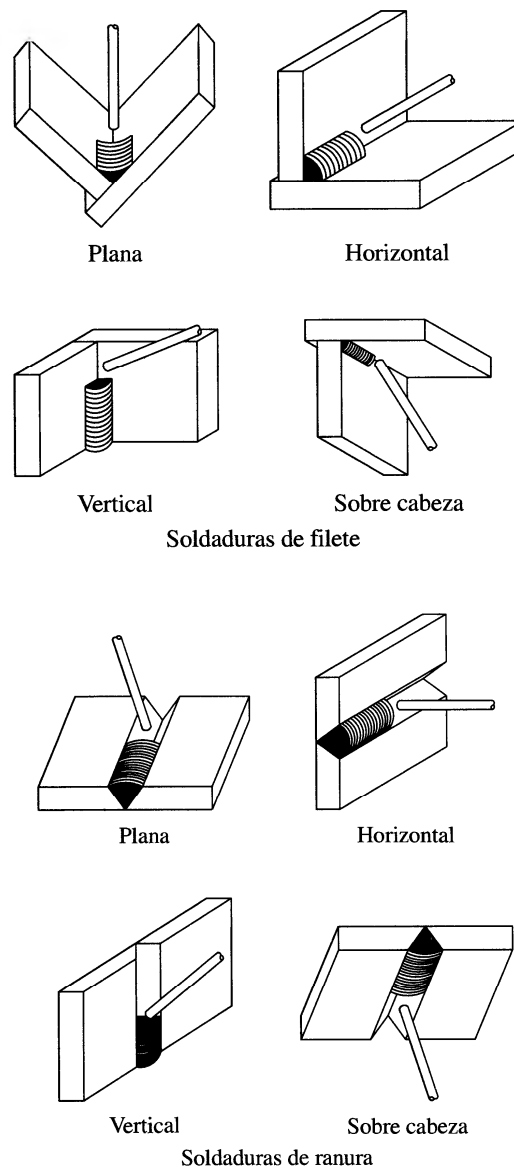
En general las soldaduras de tapón y de muesca se efectúan colocando cordones en los bordes de un agujero circular o de una abertura alargada de bordes circulares. Su uso se justifica, por ejemplo, si el espacio disponible para colocar cordones de soldadura resulta insuficiente para garantizar el buen funcionamiento de la unión, con lo que realizando perforaciones en el centro de una de las piezas a conectar, se puede incrementar la longitud disponible para el soldeo depositando el material de soldadura en las ranuras ejecutadas. Además pueden usarse para unir partes de un miembro como en el caso de tener que fijar las cubreplacas de un miembro compuesto.

### 1.5.2 SEGÚN LA POSICIÓN

De acuerdo a la posición en que se realizan las soldaduras se clasifican en:

- Planas
- Horizontales
- Verticales
- Sobre cabeza

En la figura 1.4 se indican este tipo de soldaduras.



**Figura 1.4:** Soldaduras según la posición

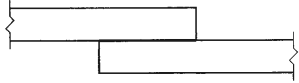
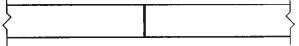
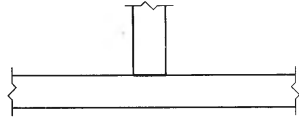
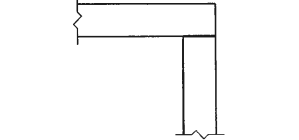
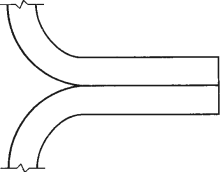
La soldadura plana es la más económica y la ejecutada en la parte superior la más costosa.

### 1.5.3 SEGÚN EL TIPO DE JUNTA

Según el tipo de junta empleada, las soldaduras se clasifican en:

- Traslapada
- A tope
- En Te
- En esquina
- De borde

En la figura 1.5 se indican este tipo de soldaduras.

Tipos de uniones	
Traslapada	
A tope	
Te	
Esquina	
De borde	

**Figura 1.5:** Soldaduras según el tipo de junta

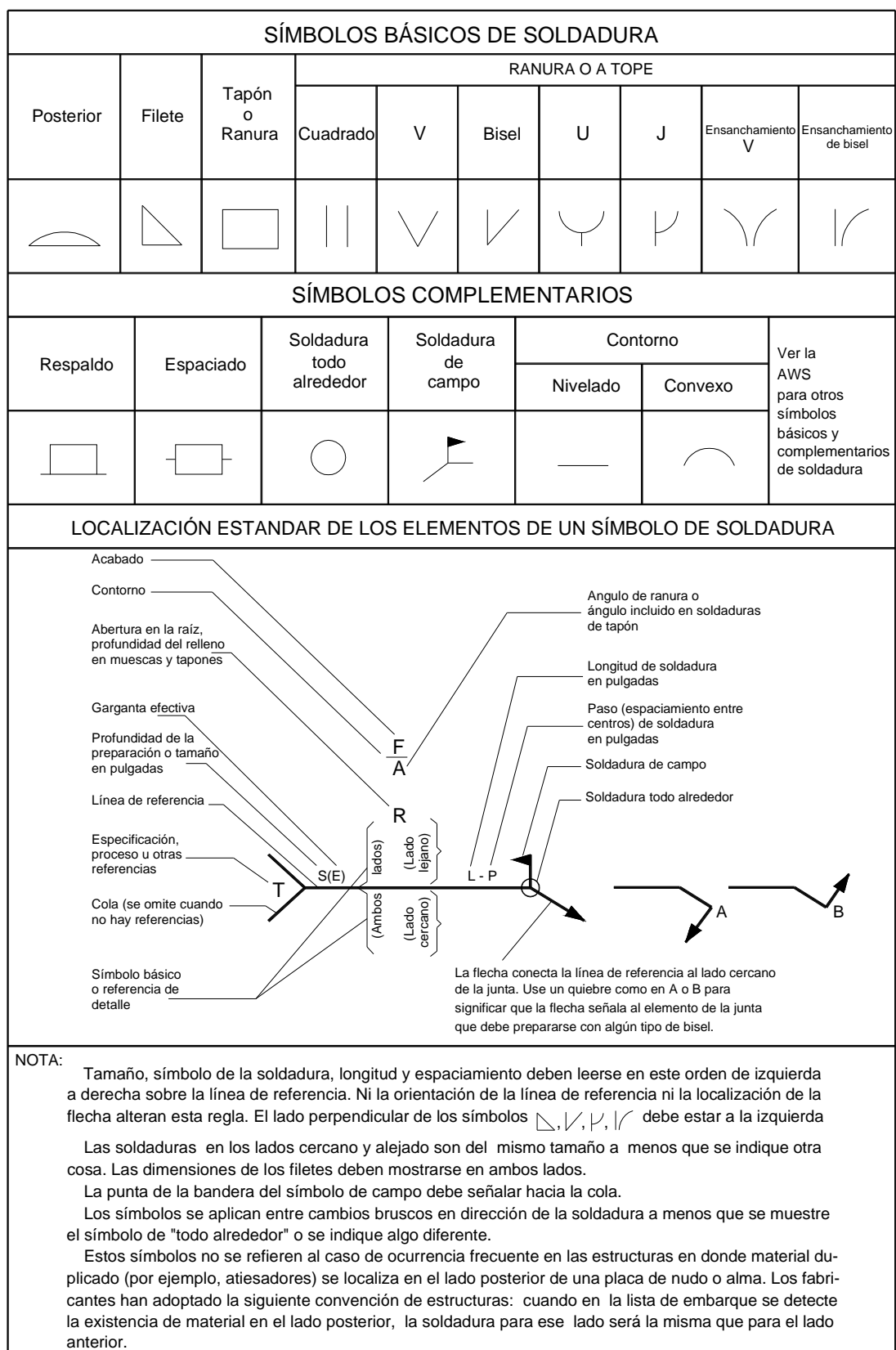
Al seleccionar una soldadura, se debe considerar no solamente el tipo de junta sino también el tipo de soldadura que demandaría de una mínima cantidad de metal, lo que implicaría un ahorro en material y en tiempo.

En una conexión puede usarse más de un tipo de soldadura; si esto ocurre, la capacidad admisible de la conexión es la suma de las capacidades efectivas de cada tipo de soldadura empleada, calculadas por separado con respecto al eje del conjunto.

## **1.6 SÍMBOLOS DE SOLDADURA**

Cuando las soldaduras son especificadas en planos y dibujos isométricos de ingeniería de fabricación, se usa un conjunto de símbolos para identificar el tipo de soldadura, las dimensiones y otras informaciones referentes al proceso y al acabado.

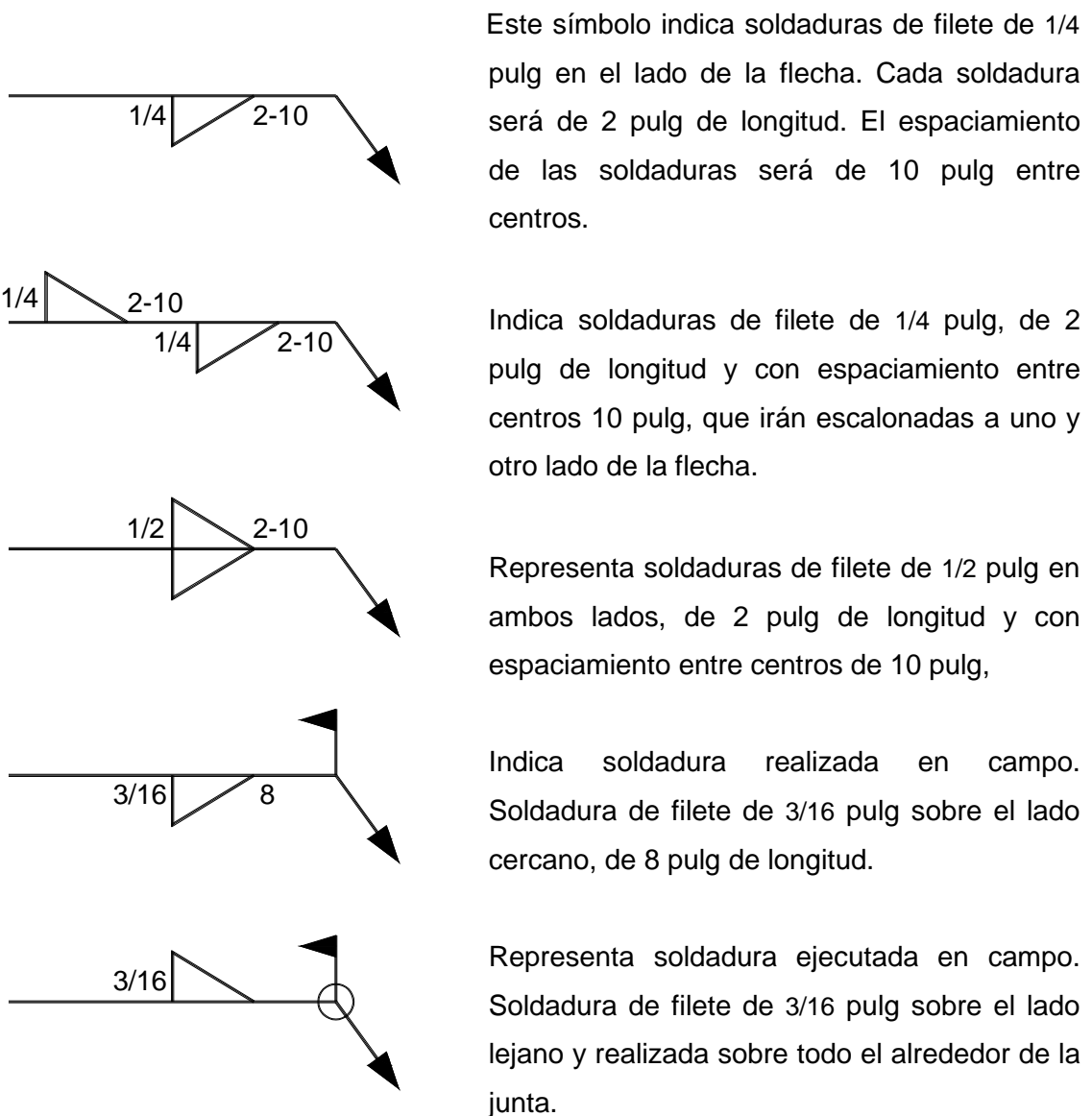
A continuación se presenta el método de identificación de soldaduras mediante símbolos, propuesto por la American Welding Society [7]:



**Figura 1.6:** Método de identificación de soldaduras de la AWS [7]

El símbolo básico es una línea horizontal que incluye la información sobre el tipo, tamaño y longitud de la soldadura junto con una flecha inclinada que señala hacia la soldadura. Un triángulo rectángulo con un cateto vertical a la izquierda se usa para indicar una soldadura de filete. Cuando el símbolo para el tipo de soldadura está por debajo de la línea de referencia, la soldadura está sobre el lado de la flecha de la junta, es decir, sobre la parte de la junta que toca la flecha. Si el símbolo está sobre la línea de referencia, la soldadura está sobre el otro lado de la junta, que puede estar o no oculta en el dibujo.

A continuación se presentan algunas aplicaciones de esta simbología:



**Figura 1.7:** Símbolos de soldadura de filete

## 1.7 POSICIONES DE SOLDADURA

La posición del electrodo de varilla con relación a la junta cuando se ejecuta la soldadura afecta la economía y la calidad del proceso de soldeo. Muchas veces la posición del electrodo determinará la facilidad con la que se deposite el metal de relleno, evita socavación y escorias y mantiene uniforme al contorno de la soldadura. Las posiciones básicas para el soldeo son:

- **Plana.-** Con la cara de soldadura casi horizontal, por tanto el electrodo se pone casi en posición vertical y el soldeo se realiza desde la parte de arriba de la junta.
- **Horizontal.-** En este caso el eje de la soldadura está en posición horizontal. Para las soldaduras de tope o penetración, la cara de la soldadura está casi vertical, en tanto que para las soldaduras de filete la cara de la soldadura está casi a 45° con respecto a las superficies horizontal y vertical.
- **Vertical.-** Con el eje de la soldadura casi en posición vertical, por lo que el soldeo se hace hacia arriba.
- **Sobrecabeza.-** Con la cara de la soldadura casi en posición horizontal. En este caso el electrodo está casi vertical y el soldeo se realiza desde debajo de la junta.

Para que el metal de la soldadura pueda depositarse de una forma más rápida y fácil, el soldeo debe hacerse en posición plana, en donde se obtienen soldaduras mejores y más económicas. En zona de proyecto, a veces puede necesitarse el soldeo vertical y el sobrecabeza, en donde para tener la seguridad de lograr buenas soldaduras en estas posiciones es el uso de electrodos apropiados por soldadores experimentados.



## 1.8 PROCEDIMIENTOS DE SOLDEO

Las soldaduras deben ejecutarse únicamente por soldadores, operarios de soldeo y aplicadores de soldadura de puntos, que estén calificados tal como dispone la norma AWS [7] para edificios y puentes.

Cuando se respetan los procedimientos de soldeo dados por la AWS [7], AISC [1] y AISI [4] para buenas soldaduras y cuando la mano de obra está dada por buenos soldadores y con la supervisión de inspectores calificados, con seguridad se conseguirán los mejores resultados.

Por ninguna razón, se debe permitir el soldeo en estas condiciones:

- Cuando la temperatura ambiente es inferior a 0°F,
- Cuando las superficies estén húmedas o expuestas a lluvia o viento intenso,
- Cuando los soldadores estén expuestos a condiciones totalmente adversas

Las superficies a soldar deben estar libres de aletas, desgarramientos, grietas y demás imperfecciones y tomando en consideración que deben estar limpias de cascarilla suelta, escoria, óxido, grasa y humedad.

Cuando se va a llevar a cabo una soldadura de filete, las partes deben estar en estrecho contacto y la brecha entre las mismas no debe exceder de 3/16 pulg. En caso que sea 1/16 pulg o más, el tamaño de la soldadura de filete debe ser mayorado en la cantidad correspondiente a la separación.

Para las soldaduras de tapón y de ranura y para las uniones a tope que cuentan con respaldo, la separación entre las superficies de contacto no debe ser mayor a 1/16 pulg.

Los procedimientos de soldeo deben evitar la distorsión innecesaria y deben reducir los esfuerzos de contracción. Conforme avanza el proceso, las soldaduras deben depositarse de manera que se equilibre el calor aplicado. La soldadura en un miembro debe comenzar desde los puntos donde las partes estén

relativamente fijas en posición hacia los puntos donde las partes posean una mayor libertad relativa en movimiento. Las juntas en donde se esperan grandes contracciones deben soldarse previo a aquellas donde se espera menor contracción, en algunos casos el soldeo deberá ser continuo hasta llegar a un punto que asegure estar libre de agrietamiento.

Para evitar agrietamientos, las especificaciones estándar obligan que bajo ciertas condiciones, previo a una soldadura debe precalentarse el metal base, en donde a medida que aumenta el espesor de la placa, el contenido de carbono o el contenido de aleación, se requiere mayor precalentamiento para reducir los porcentajes de enfriamiento y evitar microfisuraciones o zonas frágiles afectadas por el calor, ya que un enfriamiento muy rápido ocasiona grietas en la soldadura.

Cuando se haya completado la soldadura, la escoria debe ser retirada. El metal no debe pintarse hasta que todas las juntas soldadas estén completas. Previo a la pintura se deben eliminar las salpicaduras, el óxido, cascarilla suelta, aceite y demás suciedad.

## **1.9 CALIDAD DE LA SOLDADURA**

Una buena soldadura depende de una serie de factores, entre los que se puede mencionar: la selección apropiada de electrodos, corriente y voltaje, propiedades del metal base y de aportación, posición de la soldadura, entre otros.

Un requisito fundamental de todas las soldaduras es la completa fusión de la soldadura y el metal base y de las capas consecutivas de metal de soldadura. A más de ello, las soldaduras no deben ser debilitadas por cráteres, socavaciones, traslajos, porosidades o agrietamientos. En caso de la existencia de cualquiera de estas irregularidades, las mismas deben limpiarse y llenarse en toda la sección transversal de la soldadura, a través del depósito del metal de soldadura para restaurar la superficie original.

Una conexión soldada bien ejecutada, puede ser más resistente que las mismas partes conectadas, esto se debe a que los electrodos se fabrican con acero especial, el metal se funde eléctricamente y la mayor rapidez de enfriamiento, por lo que es poco probable que un soldador logre una soldadura con menor resistencia que la requerida en el diseño.

No debe permitirse la socavación en las conexiones principales como las de armaduras y arriostramientos, pero podrán admitirse pequeñas cantidades en conexiones de menor importancia, como las de entramados de plataforma de un edificio industrial.

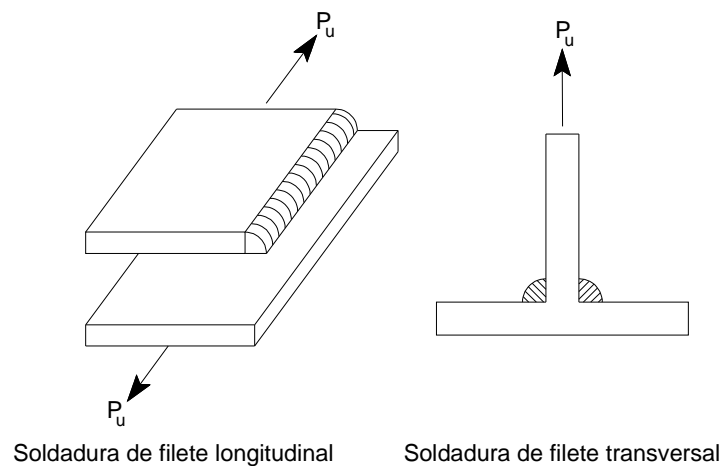
Las soldaduras pueden inspeccionarse por uno o más métodos: inspección visual, o pruebas destructivas, como ultrasonido, rayos X, líquidos penetrantes, y partículas magnéticas.

## CAPÍTULO 2

### 2 BASES DE DISEÑO PARA SOLDADURA

#### 2.1 RESISTENCIA DE LA SOLDADURA

El esfuerzo en una soldadura es igual a la carga  $P$  dividida entre el área de la garganta efectiva de la soldadura.



**Figura 2.1:** Soldaduras de filete

Varios análisis han determinado que los filetes transversales son un tercio más resistentes que los longitudinales, debido a que en los filetes transversales el esfuerzo se reparte más uniformemente en la longitud total, mientras que en los longitudinales el esfuerzo se reparte en forma dispareja por la presencia de deformaciones en la longitud de la soldadura (figura 2.1). Esta parte ayuda a simplificar los cálculos, aunque esto no se mencione en las especificaciones.

En general los miembros traccionados se encuentran enlazados por una combinación de cordones longitudinales con un cordón transversal, de tal modo que en la resistencia de la conexión cada tipo colabora en función de sus características.

Para establecer el grado del acero a soldar, la American Welding Society (AWS) [7] emplea la resistencia a la rotura de los electrodos. Los grados de los electrodos según la AWS son: E60, E70, E80, E90, E100 y E110.

Los electrodos para la soldadura por arco protegido se nombran como E60XX, E70XX, etc. En donde E indica electrodo y los dos primeros dígitos se refieren a la resistencia mínima a la tracción de la soldadura, en ksi. Los restantes dígitos expresan la posición para soldar, corriente, polaridad, etc.

En la construcción de estructuras de acero estructural A36, los electrodos más utilizados son:

**Tabla No.2:** Características de los electrodos más utilizados

ELECTRODO	Resistencia especificada a la tracción		Esfuerzo de fluencia del metal base	
	Fue (ksi)	Fue (kg/cm <sup>2</sup> )	Fy (ksi)	Fy (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>E60</b>	60	4230	≤ 42	≤ 2960
<b>E70</b>	70	4930	≤ 55	≤ 3870

Según **AISC** [1], **J2-6**, la selección del electrodo para uso con soldaduras de penetración completa, con el área efectiva sujeta a tracción normal deberá cumplir completamente con los requerimientos para metales de relleno con soldadura dados en AWS [7] D1.1.

**Tabla No.3:** Requerimientos para metales de relleno con soldadura

Metal base	Material de soldadura
A36 ≤ ¾ pulg de espesor	Electrodos de 60 & 70 ksi
A36 > ¾ pulg A572 (Gr. 50 & 55) A913 (Gr. 50) A588* A992 A1011 A1018	SMAW: Soldadura de arco con electrodo protegido: E7015, E7016, E7018, E7028  Otros procesos : Electrodos 70 ksi
A913 (Gr. 60 & 65)	Electrodos 80 ksi
* Para resistencia a la corrosión ver AWS [7] D1.1 sección 3.7.3	

Se deberá tener en cuenta que en las soldaduras el material del electrodo deberá contar con propiedades del metal base. Si las propiedades son comparables se puede decir que el metal de aportación es compatible.

## 2.2 ESPECIFICACIONES AISC 2005

De acuerdo a American Institute of Steel Construction (AISC), los diseños de las conexiones soldadas deberán ser realizados según las siguientes provisiones:

- **Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD)**

Se satisface esta especificación cuando la resistencia de diseño de cada componente estructural es igual o mayor a la resistencia requerida determinada de acuerdo a las combinaciones de carga del LRFD. Por tanto el diseño deberá ser desarrollado de acuerdo con la ecuación:

$$R_u \leq \Phi R_n \quad (\text{AISC B3-1})$$

Donde:

$R_u$  = Resistencia requerida (LRFD)

$R_n$  = Resistencia nominal

$\Phi$  = Factor de resistencia

$\Phi R_n$  = Resistencia de diseño

- **Diseño por Resistencia Admisible (ASD)**

Se satisface esta especificación cuando la resistencia admisible de cada componente estructural es igual o mayor a la resistencia requerida determinada de acuerdo a las combinaciones de carga del ASD. Por tanto el diseño deberá ser desarrollado de acuerdo con la ecuación:

$$R_a \leq R_n / \Omega \quad (\text{AISC B3-2})$$

Donde:

$R_a$  = Resistencia requerida (ASD)

$R_n$  = Resistencia nominal

$\Omega$  = Factor de seguridad

$R_n / \Omega$  = Resistencia admisible

Según **AISC** [1], **J1-1**, la resistencia requerida para las conexiones deberá ser determinada mediante el análisis estructural para las cargas de diseño especificadas, en consistencia con el tipo de construcción especificada, o deberá ser una proporción de la resistencia requerida de los miembros conectados, cuando se especifique en el reglamento.

Según **AISC** [1], **J2-4**, la resistencia de diseño,  $\Phi R_n$  y la resistencia admisible  $R_n/\Omega$ , de la soldadura deberá ser el más bajo valor de resistencia del material base y del metal de soldadura determinado de acuerdo a los estados límites de resistencia a la tracción, resistencia al corte, o fluencia, como sigue:

Para el metal base:

$$R_n = F_{BM} \cdot A_{BM} \quad (\text{AISC J2-2})$$

Para el metal de soldadura:

$$R_n = F_w \cdot A_w \quad (\text{AISC J2-3})$$

Donde:

$F_{BM}$  = Resistencia nominal del metal base por unidad de área, en ksi (Mpa)

$F_w$  = Resistencia nominal del metal de soldadura por unidad de área, en ksi (Mpa)

$A_{BM}$  = Área de la sección transversal del metal base, en pulg<sup>2</sup> (mm<sup>2</sup>)

$A_w$  = Área efectiva de la soldadura, en pulg<sup>2</sup> (mm<sup>2</sup>)

Los valores de  $\Phi$ ,  $\Omega$ ,  $F_{BM}$  y  $F_w$  y limitaciones se pueden encontrar en la tabla AISC [1] J2.5, la cual se presenta a continuación:

**Tabla No.4:** Resistencia disponible de conexiones soldadas [1]

<b>RESISTENCIA DISPONIBLE DE CONEXIONES SOLDADAS, Kips (N)</b>					
<b>Tipo de carga y dirección relativa al eje de la soldadura</b>	<b>Material</b>	<b><math>\Phi</math> y <math>\Omega</math></b>	<b>Resistencia Nominal (<math>F_{BM}</math> y <math>F_w</math>) kips (N)</b>	<b>Área efectiva (<math>A_{BM}</math> o <math>A_w</math>) pulg<sup>2</sup> (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Nivel de Resistencia del Metal de relleno requerido [a] [b]</b>
<b>SOLDADURA DE RANURA CON PENETRACIÓN COMPLETA</b>					
Tracción Normal al eje de la soldadura	La resistencia de la junta es controlada por el metal base.				Debe usarse metal de aportación compatible. Para uniones en T y esquineras se requiere metal de aportación. Ver sección J2.6
Compresión Normal al eje de la soldadura	La resistencia de la junta es controlada por el metal base				Puede usarse un metal de aportación con un nivel de resistencia igual o menor que el compatible
Tracción o Compresión Paralela al eje de la soldadura	La Tracción o Compresión en partes unidas paralelamente a la soldadura no necesitan ser consideradas en el diseño de soldaduras de las partes				Puede usarse un metal de aportación con un nivel de resistencia igual o menor que el compatible
Cortante	La resistencia de la junta es controlada por el metal base				Debe usarse metal de aportación compatible [c]
<b>SOLDADURA DE RANURA CON PENETRACIÓN PARCIAL (INCLUYE RANURA EN V y EN BISEL)</b>					
Tracción Normal al eje de la soldadura	Base	$\Phi=0.90$ $\Omega=1.67$	$F_y$	Ver J4	Puede usarse un metal de aportación con un nivel de resistencia igual o menor que el compatible
	Soldadura	$\Phi=0.80$ $\Omega=1.88$	$0.60 F_{EXX}$	Ver J2.1a	
Compresión Diseño de empalmes de Columna en la base, placas y columnas. J1.4(a)	Los esfuerzos de compresión no necesitan ser considerados en el diseño de soldadura de las partes.				
Compresión Conexiones de miembros diseñados para soportar de acuerdo a J1.4(b)	Base	$\Phi=0.90$ $\Omega=1.67$	$F_y$	Ver J4	
	Soldadura	$\Phi=0.80$ $\Omega=1.88$	$0.60 F_{EXX}$	Ver J2.1a	
Compresión Conexiones no terminadas para apoyos	Base	$\Phi=0.90$ $\Omega=1.67$	$F_y$	Ver J4	
	Soldadura	$\Phi=0.80$ $\Omega=1.88$	$0.90 F_{EXX}$	Ver J2.1a	
Tracción o Compresión Paralela al eje de la soldadura	La Tracción o Compresión en partes unidas paralelamente a la soldadura no necesitan ser consideradas en el diseño de soldaduras de las partes				
Cortante	Base	Gobernado por J4			
	Soldadura	$\Phi=0.75$ $\Omega=2.00$	$0.60 F_{EXX}$	Ver J2.1a	



RESISTENCIA DISPONIBLE DE CONEXIONES SOLDADAS, Kips (N)					
Tipo de carga y dirección relativa al eje de la soldadura	Material	$\Phi$ y $\Omega$	Resistencia Nominal ( $F_{BM}$ y $F_w$ ) kips (N)	Área efectiva ( $A_{BM}$ o $A_w$ ) pulg <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	Nivel de Resistencia del Metal de relleno requerido [a] [b]
<b>SOLDADURA DE FILETE, INCLUYE FILETES EN AGUJEROS Y RANURAS</b>					
Cortante	Base	Gobernado por J4			Puede usarse un metal de aportación con un nivel de resistencia igual o menor que el compatible
	Soldadura	$\Phi=0.75$ $\Omega=2.00$	0.60 $F_{EXX}$ [d]	Ver J2.1a	
Tracción o Compresión Paralelo al eje de la soldadura	La Tracción o Compresión en partes unidas paralelamente a la soldadura no necesitan ser consideradas en el diseño de soldaduras de las partes				
<b>SOLDADURAS DE TAPÓN Y MUESCA</b>					
Cortante Paralelo a las superficies de contacto sobre el área efectiva	Base	Gobernado por J4			Puede usarse un metal de aportación con un nivel de resistencia igual o menor que el compatible
	Soldadura	$\Phi=0.75$ $\Omega=2.00$	0.60 $F_{EXX}$	J2.3a	
<p>[a] Para el metal de soldadura compatible ver AWS [7] D1.1, sección 3.3.</p> <p>[b] El metal de aportación con un nivel de resistencia mayor que el compatible, es permitido.</p> <p>[c] Metales de aportación con un nivel de resistencia menor que el compatible pueden ser usados para soldaduras de ranura entre almas y patines de secciones construidas para transferir cargas cortantes, o en aplicaciones donde se solicita alta restricción. En estas aplicaciones, la junta soldada debe ser detallada y la soldadura debe ser diseñada usando el espesor del material como la garganta efectiva, <math>\Phi=0.80</math>, <math>\Omega=1.88</math> y <math>0.60 F_{EXX}</math> como la resistencia nominal.</p> <p>[d] Alternativamente, las provisiones de J2.4(a) son permitidas siempre que la compatibilidad de deformaciones de varios elementos soldados son consideradas. Alternativamente, las secciones J2.4(b) y (c) son especiales aplicaciones de J2.4(a) que proveen solicitaciones para compatibilidad de deformaciones.</p>					

Para determinar la resistencia nominal del material base se aplican las siguientes especificaciones, según la solicitación de carga a la que esté sometido:

### 1. Resistencia de elementos en tracción

Según **AISC** [1], **J4-1**, la resistencia de diseño  $\Phi R_n$  y la resistencia admisible  $R_n / \Omega$ , de los elementos conectados y afectados en tracción, deberá ser el menor valor obtenido de acuerdo a los estados límite de fluencia en tracción y resistencia a la tracción.

a. Para la fluencia en tracción de los elementos conectados:

$$R_n = F_y A_g \quad (\text{AISC J4-1})$$

$$\Phi = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.67 \text{ (ASD)}$$

b. Para la resistencia a la tracción de los elementos conectados:

$$R_n = F_u A_e \quad (\text{AISC J4-2})$$

$$\Phi = 0.75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

Donde

$A_g$  = Área bruta del miembro, en pulg<sup>2</sup> (mm<sup>2</sup>):

$A_e$  = Área neta efectiva, en pulg<sup>2</sup> (mm<sup>2</sup>)

$F_y$  = Esfuerzo de fluencia mínimo del acero, en ksi (MPa)

$F_u$  = Resistencia mínima a la tracción del acero, en ksi (MPa)

## 2. Resistencia de elementos en corte

Según **AISC** [1], **J4-2**, la resistencia disponible a cortante de los elementos conectados y afectados en corte, deberá ser el menor valor obtenido de acuerdo a los estados límite de fluencia a cortante y resistencia al corte.

a. Para la fluencia a cortante del elemento:

$$R_n = 0.60 F_y A_g \quad (\text{AISC J4-3})$$

$$\Phi = 1.00 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.50 \text{ (ASD)}$$

b. Para la resistencia al corte del elemento:

$$R_n = 0.60 F_u A_{nv} \quad (\text{AISC J4-4})$$

$$\Phi = 0.75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

Donde:

$A_{nv}$  = Área neta sometida a corte, en pulg<sup>2</sup> (mm<sup>2</sup>)

### 3. Resistencia de elementos en compresión

Según **AISC** [1], **J4-4**, la resistencia disponible de los elementos conectados en compresión, para los estados límite de fluencia y pandeo deberá ser determinada como sigue:

Para  $KL / r \leq 25$

$$P_n = F_y A_g \quad (\text{AISC J4-6})$$

$$\Phi = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.67 \text{ (ASD)}$$

Para  $KL / r > 25$

Se aplicarán las provisiones del capítulo E de las Especificaciones AISC [1]

## 2.3 ESPECIFICACIONES AISI 1996

Los requerimientos de diseño incluidos en las Especificaciones de American Iron and Steel Institute (AISI) [4] para las uniones soldadas con soldadura de arco se fundamentan en experiencias de un amplio programa de ensayos realizados en la Universidad de Cornell. Estos requisitos contemplan todos los modos de falla posibles.

De acuerdo a American Iron and Steel Institute (AISI) [4], los diseños de las conexiones soldadas deberán ser realizados según las siguientes provisiones:

- **Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD)**

Según **AISI** [4], **A6.1.1**, un diseño satisface los requisitos de esta especificación, cuando la resistencia de cálculo de cada uno de los componentes estructurales es mayor o igual que la resistencia requerida determinada en base a las cargas nominales, multiplicadas por los factores de carga correspondientes, para todas las combinaciones de carga aplicables.

El diseño se debe efectuar de acuerdo con la ecuación:

$$R_u \leq \Phi R_n \quad (\text{AISI A6.1.1-3})$$

Donde:

$R_u$  = Resistencia requerida (LRFD)

$R_n$  = Resistencia nominal

$\Phi$  = Factor de resistencia

$\Phi R_n$  = Resistencia de cálculo

- **Diseño por Resistencia Admisible (ASD)**

Según **AISI** [4], **A5.1.1**, Un diseño satisface los requisitos de esta especificación, cuando la resistencia de cálculo de cada uno de los componentes estructurales es mayor o igual que la resistencia requerida determinada en base a las cargas nominales, multiplicadas por los factores de carga correspondientes, para todas las combinaciones de carga aplicables.

$$R \leq R_n / \Omega \quad (\text{AISI A5.1.1-1})$$

Donde:

$R$  = Resistencia requerida (ASD)

$R_n$  = Resistencia nominal

$\Omega$  = Factor de seguridad

$R_n / \Omega$  = Resistencia admisible

Según **AISI** [4], **E1**, las conexiones se deben diseñar para transmitir las máximas fuerzas de cálculo que actúan sobre los miembros conectados. Las excentricidades se deben analizar cuidadosamente.

Según **AISI** [4], **E2**, los criterios de esta especificación incluyen las uniones soldadas utilizadas para miembros estructurales de acero conformado en frío en las cuales el espesor de la pieza conectada más delgada es de 0.18 pulg (4.57 mm) o menos. Para las uniones soldadas en las cuales el espesor de la pieza conectada más delgada es superior a 0.18 pulg (4.57 mm), las soldaduras de arco

deben satisfacer los requisitos “Specification for Structural Steel Buildings, Allowable Stress Design and Plastic Design” de AISC [1] o la publicación “Load and Resistance Factor Design for Structural Steel Buildings”.

Con determinadas excepciones establecidas en las especificaciones, las soldaduras por arco sobre acero donde al menos una de las partes conectadas tiene un espesor de 0.18 pulg (4,57 mm) o menos se deben realizar de acuerdo con AWS [7] D1.3 y su comentario.

Para determinar la resistencia nominal del material base bajo la acción de fuerza axial, se aplican las siguientes especificaciones, según la sollicitación de carga a la que esté sometido:

## 1. Miembros traccionados

Según AISI [4], **C2**, para los miembros cargados con tracción axial, la resistencia nominal a la tracción,  $T_n$ , se debe determinar de la siguiente manera:

$$T_n = A_n F_y \quad (\text{AISI C2-1})$$
$$\Phi = 0.95 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.67 \text{ (ASD)}$$

Donde:

$T_n$  = Resistencia nominal del miembro cuando está traccionado

$A_n$  = Área neta de la sección transversal

$F_y$  = Esfuerzo de fluencia de cálculo

Además, particularmente, para miembros cargados axialmente en tracción, la resistencia nominal a tracción,  $T_n$ , deberá ser el menor valor obtenido de acuerdo a los estados límite de: fluencia de la sección bruta, fractura en la sección neta fuera de la conexión y fractura en la sección neta efectiva de la conexión:

a. *Para fluencia en la sección bruta:*

$$T_n = A_g F_y \quad (\text{Ec. 2.1})$$

$$\Phi_t = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_t = 1.67 \text{ (ASD)}$$

b. *Para fractura fuera de la conexión:*

$$T_n = A_n F_u \quad \text{(Ec. 2.2)}$$

$$\Phi_t = 0.75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_t = 2.00 \text{ (ASD)}$$

Donde:

$A_g$  = Área bruta de la sección transversal

$F_u$  = Resistencia a la tracción

c. *Para fractura en la conexión:*

La resistencia nominal a la tracción deberá además ser limitada por las secciones E2 y E.5 para miembros en tracción usando conexiones soldadas.

## 2. Miembros comprimidos con carga concéntrica

Según **AISI** [4], **C4**, para miembros en los cuales la resultante de todas las cargas que actúan sobre el miembro es una carga axial que pasa a través del baricentro de la sección efectiva calculada a la tracción,  $F_n$ ,

a. *La resistencia axial nominal,  $P_n$ , se debe calcular de la siguiente manera:*

$$P_n = A_e F_n \quad \text{(AISI C2-1)}$$

$$\Phi_c = 0.85 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_c = 1.80 \text{ (ASD)}$$

Donde:

$A_e$  = Área efectiva a la tracción  $F_n$

$F_n$  se determina de acuerdo a las Especificaciones AISI [1], C4

b. *Preferentemente la relación de esbeltez,  $KL/r$ , de todos los miembros comprimidos no debe ser mayor que 200, excepto que, exclusivamente durante la construcción,  $KL/r$  preferentemente no debe ser mayor que 300.*

## CAPÍTULO 3

### 3 SOLDADURA DE FILETE

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA SOLDADURA DE FILETE

La soldadura de filete es la utilizada con más frecuencia, especialmente para cargas ligeras, por ser la más económica, ya que requiere de poca preparación del material de la placa. Además se ha demostrado experimentalmente, que la soldadura de filete es más resistente a la tracción y a la compresión que al corte. Aunque una longitud de soldadura puede cargarse en cualquier dirección en cortante, compresión o tracción, un filete de soldadura es más débil en cortante y por tanto siempre se supondrá que falla por cortante sobre un plano a través de la garganta de la soldadura.

El análisis y diseño de la soldadura de filete se fundamenta en la suposición de que la sección transversal de la soldadura es un triángulo rectángulo a 45°, por tanto cualquier refuerzo, que puede ser por penetración o con material agregado fuera de la hipotenusa del triángulo, son despreciados.

El tamaño de un filete de soldadura, se designa por  $w$  y es la longitud de uno de los dos lados iguales de esta sección transversal idealizada (figura 3.1). Los tamaños estándar de las soldaduras se designan en incrementos de 1/16 de pulgada.

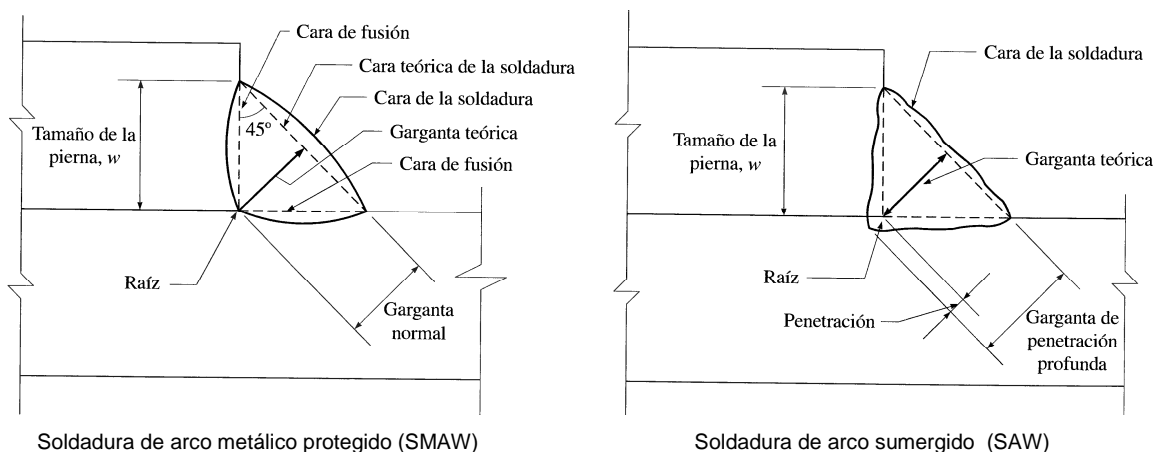


Figura 3.1: Terminología de la soldadura de filete

Para las soldaduras de filete realizadas con el proceso de arco metálico protegido, la garganta es la distancia perpendicular de la esquina o raíz de la soldadura a la hipotenusa y es igual a 0.707 veces el tamaño de la soldadura. En tanto que el espesor efectivo de la garganta para una soldadura ejecutada con el proceso de un arco sumergido iguala a la garganta de penetración profunda y puede considerarse igual al tamaño de la pierna  $w$ .

Las soldaduras de filete no deben diseñarse con un esfuerzo mayor que el esfuerzo de diseño de los miembros adyacentes a la conexión. Si la fuerza externa de tracción o compresión y aplicada al miembro es paralela al eje de la soldadura, la resistencia de diseño de ésta no debe exceder la resistencia de diseño axial del miembro.

Los filetes mínimos permisibles dados por la tabla **AISC** [1], **J2.4**, se exponen en la tabla No. 5. Estos valores varían entre 1/8 pulg para material de 1/4 pulg de espesor o menor y 5/16 pulg para material con espesor mayor de 3/4 pulg. El tamaño mínimo práctico para la soldadura es de aproximadamente 1/8 pulg y el tamaño que probablemente resulta más económico es de alrededor de 1/4 pulg o 5/16 pulg. La soldadura de 5/16 pulg es aproximadamente la máxima que puede hacerse en una sola pasada con el proceso de arco protegido (SMAW) y la de 1/2 pulg cuando se usa el proceso de arco sumergido (SAW).

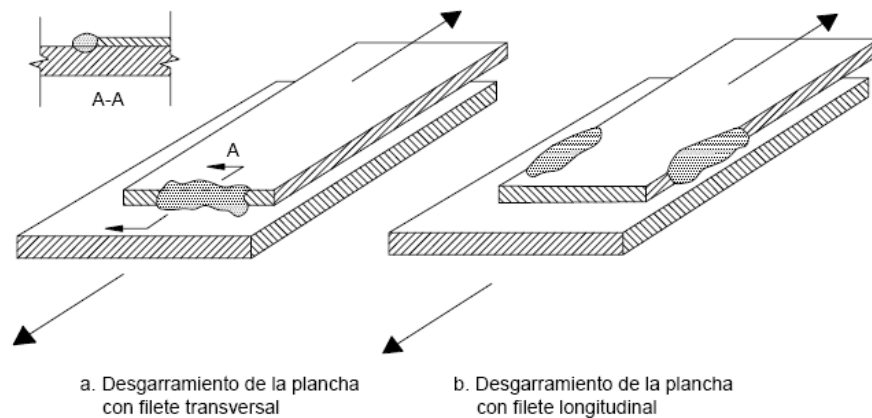
**Tabla No.5:** Tamaños mínimos para la soldadura de filete (tabla AISC [1] J2.4)

<b>Tamaños mínimos para la soldadura de filete</b>	
<b>Espesor del material de la parte unida más delgada, in (mm)</b>	<b>Tamaño mínimo de la soldadura de filete [a], in (mm)</b>
Hasta 1/4 (6) inclusive	1/8 (3)
Mayor de 1/4 (6), hasta 1/2 (13) inclusive	3/16 (5)
Mayor de 1/2 (13), hasta 3/4 (19) inclusive	1/4 (6)
Mayor de 3/4 (19)	5/16 (8)
[a] Dimensión del lado de los filetes Nota: Ver sección J2.2b para tamaño máximo de soldaduras de filete	



Estos tamaños mínimos no se desarrollaron con base en consideraciones de resistencia sino debido al hecho de que los materiales gruesos tienen un efecto de enfriamiento rápido en las soldaduras pequeñas; cuando sucede esto, en las soldaduras se produce una pérdida de ductilidad. Adicionalmente, el material grueso tiende a restringir el acortamiento propio de la soldadura al enfriarse ésta y pueden, consecuentemente asomar grietas en los cordones.

Según el **Comentario AISI** [4], **E2.4**, en este tipo de uniones la garganta de la soldadura de filete normalmente es mayor que la garganta de las soldaduras de filete convencionales del mismo tamaño. Habitualmente las fallas últimas de las uniones con soldadura de filete ocurren por desgarramiento de la placa adyacente a la soldadura (figura 3.2).



**Figura 3.2:** Modos de falla de las soldaduras de filete según AISI [4]

En la mayoría de los casos la mayor resistencia del material de las soldaduras impide la falla por corte de las mismas, y por tanto los requisitos de las Especificaciones AISI [4] para esta parte, se basan en el desgarramiento de las planchas.

### 3.2 ÁREA EFECTIVA EN LA SOLDADURA DE FILETE

Por lo general, pequeñas secciones al inicio y al final de una soldadura de filete no son del todo efectivas, debido a los cráteres y concentraciones de esfuerzos. La longitud total de una soldadura de filete es la distancia desde el cráter, que se

encuentra en el borde de inicio, hasta el cráter que se encuentra en el borde del fin.

Según **AISC** [1], **J2-2a**, el área efectiva de una soldadura de filete debe ser la longitud efectiva multiplicada por la garganta efectiva. La garganta efectiva de una soldadura de filete debe ser la distancia más corta desde la raíz de la unión y la hipotenusa del triángulo inscrito (figura 3.3).

Por tanto:

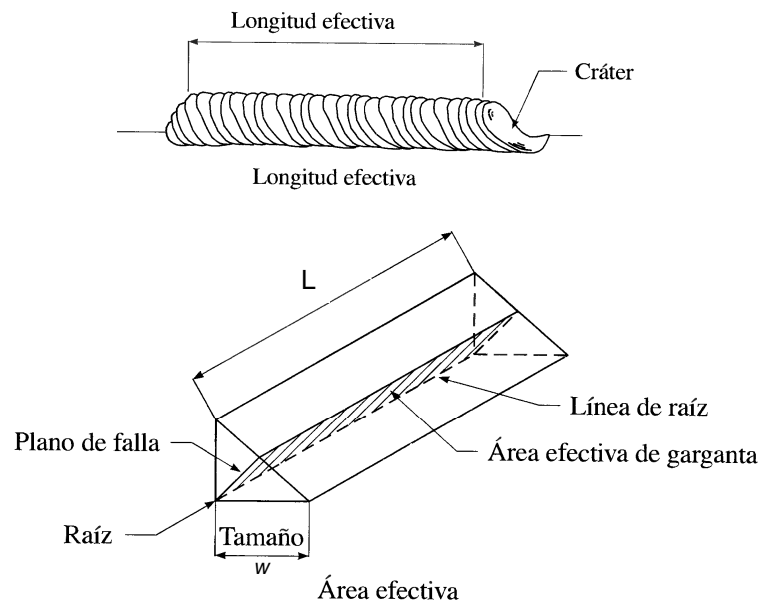
$$A_w = 0.707 w L \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde:

$A_w$  = Área efectiva de la soldadura, en pulg<sup>2</sup> (mm<sup>2</sup>)

$w$  = Tamaño o pierna del filete de soldadura, en pulg (mm)

$L$  = Longitud efectiva del filete de soldadura, dada por la longitud total del cordón completo, incluyendo las vueltas en las esquinas, en pulg (mm)



**Figura 3.3:** Longitud efectiva y área efectiva de una soldadura de filete

Según **AISC** [1], **J2-2b**, para la soldadura de filete con una longitud de hasta 100 veces la dimensión de la pierna  $w$ , es permitido adoptar la longitud actual. Cuando la longitud de la soldadura de filete excede 100 veces el tamaño de la pierna, la longitud efectiva deberá ser determinada multiplicando la longitud actual por el factor de reducción,  $b$ :

$$b = 1.2 - 0.002 (L/w) \leq 1.0 \quad (\text{AISC J2-1})$$

Donde:

$L$  = Longitud actual de la soldadura, en pulg (mm)

$w$  = Tamaño de la pierna de la soldadura, en pulg (mm)

Cuando la longitud de la soldadura excede 300 veces el tamaño de la pierna  $w$ , el valor de  $b$  deberá ser tomado como 0.60.

### **3.3 RESISTENCIA DE LA SOLDADURA DE FILETE**

#### **3.3.1 RESISTENCIA DE DISEÑO (LRFD) Y RESISTENCIA ADMISIBLE (ASD) DE LA SOLDADURA DE FILETE SEGÚN AISC**

Según **AISC** [1], **J2-4**, la resistencia de diseño  $\Phi R_n$  y la resistencia admisible  $R_n / \Omega$  de la soldadura de filete, debe ser el menor valor de la resistencia del material base y del metal de soldadura.

Los valores de  $\Phi$ ,  $\Omega$  y demás limitaciones deben ser tomados de la tabla No.4 (tabla AISC [1] J2.5), pero alternativamente para el presente caso se tiene el valor:

$$\Phi = 0.75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

Para determinar la resistencia nominal del metal de soldadura, se aplica la siguiente ecuación:

$$F_w = 0.60 F_{EXX} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Donde:

$F_w$  = Resistencia nominal del metal de soldadura por unidad de área, en ksi (Mpa)

$F_{EXX}$  = Número de clasificación del electrodo, en ksi (Mpa)

### 3.3.2 RESISTENCIA DE DISEÑO (LRFD) Y RESISTENCIA ADMISIBLE (ASD) DE LA SOLDADURA DE FILETE SEGÚN AISI

Según AISI [4], E2.4, las soldaduras de filete se aplican a la soldadura de uniones en cualquier posición, ya sea:

- Plancha a plancha, o
- Plancha a un miembro de acero de mayor espesor.

La resistencia nominal al corte,  $P_n$ , de una soldadura de filete se debe determinar de la siguiente manera:

Para carga longitudinal:

Para  $L / t < 25$ :

$$P_n = \left(1 - \frac{0.01 L}{t}\right) t L F_u \quad (\text{AISI E2.4-1})$$

$$\Phi = 0.60 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

Para  $L / t \geq 25$ :

$$P_n = 0.75 t L F_u \quad (\text{AISI E2.4-2})$$

$$\Phi = 0.55 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

Para carga transversal:

$$P_n = t L F_u \quad (\text{AISI E2.4-3})$$

$$\Phi = 0.60 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

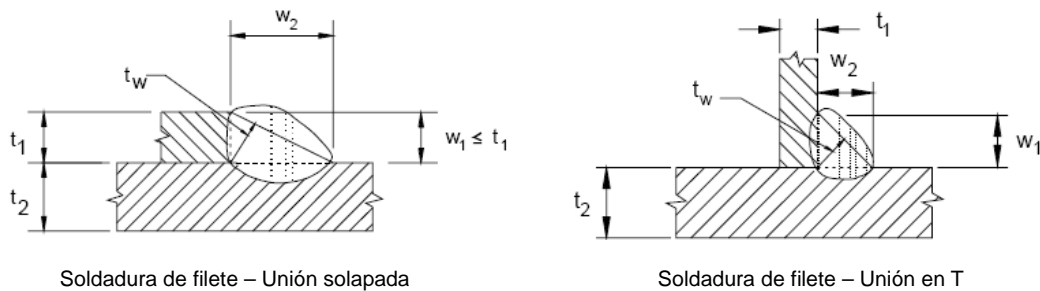
Donde:

$t$  = Valor menor entre  $t_1$  ó  $t_2$  (figura 3.4)

Además, para  $t > 0.150$  pulg (3.81 mm), la resistencia nominal determinada anteriormente no debe superar el siguiente valor de  $P_n$  :

$$P_n = 0.75t_w L F_{XX} \quad (\text{AISI E2.4-4})$$

$$\Phi = 0.60 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$



**Figura 3.4:** Soldaduras de filete según AISI [4]

Donde:

$P_n$  = Resistencia nominal al corte de la soldadura de filete

$L$  = Longitud de la soldadura de filete

$t_w$  = Garganta efectiva =  $0.707 w_1$  ó  $0.707 w_2$ , cualquiera sea el que resulte menor. Estará permitida una mayor garganta efectiva si las mediciones muestran que con el procedimiento de soldadura a utilizar se obtienen mayores valores de  $t_w$  de manera consistente.

$w_1$  y  $w_2$  = Cantos o piernas de la soldadura. En las uniones solapadas  $w_1 \leq t_1$

$F_u$  = Resistencia a la tracción

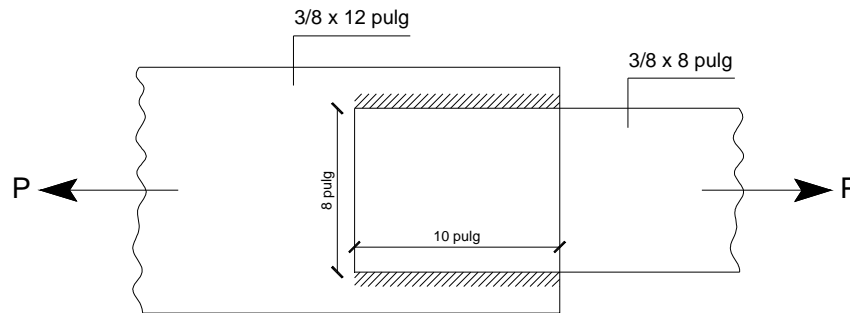
$F_{XX}$  = Denominación de la resistencia del metal de relleno en la clasificación de electrodos AWS [7].

### 3.4 DISEÑO DE SOLDADURA DE FILETE SIMPLE

En esta parte se presentan ejemplos de diseño de soldaduras de filete, en donde se expone detalladamente los procedimientos de cálculo usados para determinar la resistencia de varias conexiones de filete. Para el efecto se aplican las Especificaciones AISC [1] y AISI [4], según el caso.

### **Ejemplo 3.1:**

Usando las Especificaciones AISC, determinar la resistencia de diseño LRFD y la resistencia admisible ASD de la conexión de la figura 3.5, en donde para la misma se ha empleado placas de acero A36 ( $F_y = 36$  ksi,  $F_u = 58$  ksi), electrodos E70 y una soldadura de filete de 1/4 pulg elaborada a través de un proceso de soldadura de arco protegido SMAW.



**Figura 3.5:** Conexión para ejemplo 3.1

### **Solución:**

#### **Resistencia de la soldadura:**

$$R_n = F_w A_w = (0.60 \times 70) \left( \frac{1}{4} \times 0.707 \times 20 \right) = 148.47 \text{ klb}$$

Revisión de la relación: longitud / tamaño de la soldadura ( $L/w$ ):

$$\frac{L}{w} = \frac{10}{1/4} = 40 < 100 \rightarrow \text{No se reduce resistencia de soldadura } \beta = 1.0$$

Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.75$

$$\Phi R_n = (0.75)(148.47) = 111.35 \text{ klb}$$

Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 2.00$

$$R_n / \Omega = \frac{148.47}{2.00} = 74.24 \text{ klb}$$

#### **Revisión de fluencia a tracción de placa 3/8 x 8 pulg:**

$$R_n = F_y A_g = (36) \left( \frac{3}{8} \times 8 \right) = 108.00 \text{ klb}$$

Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi_t = 0.90$

$$\Phi_t R_n = (0.90)(108.00) = 97.20 \text{ klb}$$

Resistencia admisible ASD:  $\Omega_t = 1.67$

$$R_n / \Omega_t = \frac{108.00}{1.67} = 64.67 \text{ klb}$$

**Revisión de resistencia a la tracción de los elementos conectados:**

Área neta efectiva y resistencia nominal:

$$A_e = \frac{3}{8} \times 12 = 4.50 \text{ pulg}^2$$

$$R_n = F_u A_e = (58)(4.50) = 261.00 \text{ klb}$$

Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi_t = 0.75$

$$\Phi_t R_n = (0.75)(261.00) = 195.75 \text{ klb}$$

Resistencia admisible ASD:  $\Omega_t = 2.00$

$$R_n / \Omega_t = \frac{261.00}{2.00} = 130.50 \text{ klb}$$

Por tanto

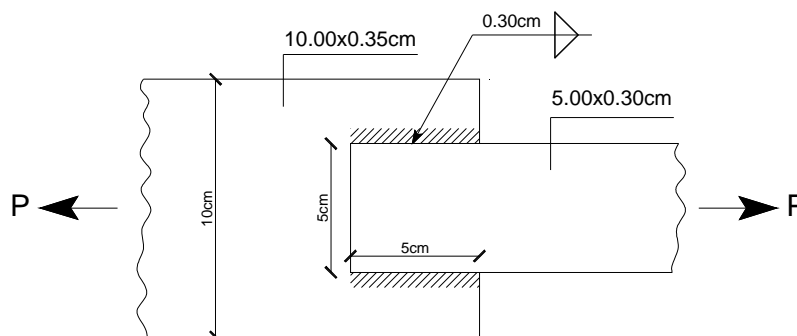
Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi R_n = 97.20 \text{ klb}$

Resistencia admisible ASD:  $R_n / \Omega = 64.67 \text{ klb}$

En la sección 11 de anexos (página 159) se incluye el detalle de datos generados para este tipo de conexión a partir de una hoja de cálculo.

### **Ejemplo 3.2:**

Usando las Especificaciones AISI, determinar la resistencia de diseño LRFD y la resistencia admisible ASD de la conexión soldada de la figura 3.6. Asumir Acero A570 Grado 33 y electrodos E60.



**Figura 3.6:** Conexión para ejemplo 3.2

**Solución:**

Para el acero A570 Grado 33:

$$F_y = 33 \text{ ksi} = 2325 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 52 \text{ ksi} = 3665 \text{ kg/cm}^2$$

**Resistencia de la placa de 5.00x0.30cm**

1. Fluencia en la sección bruta:

$$T_n = A_g F_y = (5.00 \times 0.30)(2325) = 3487.50 \text{ kg}$$

Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi_t = 0.90$

$$\Phi_t P_n = \Phi_t T_n = (0.90)(3487.50) = 3138.75 \text{ kg} = 3.14 \text{ t}$$

Resistencia admisible ASD:  $\Omega_t = 1.67$

$$T_n / \Omega_t = \frac{3487.50}{1.67} = 2088.32 \text{ kg} = 2.09 \text{ t}$$

2. Fractura en la sección neta:

$$T_n = A_n F_u = (5.00 \times 0.30)(3665) = 5497.50 \text{ kg}$$

Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi_t = 0.75$

$$\Phi_t P_n = \Phi_t T_n = (0.75)(5497.50) = 4123.13 \text{ kg} = 4.12 \text{ t}$$

Resistencia admisible ASD:  $\Omega_t = 2.00$

$$T_n / \Omega_t = \frac{5497.50}{2.00} = 2748.75 \text{ kg} = 2.75 \text{ t}$$

**Resistencia de la soldadura de filete**

$$\frac{L}{t} = \frac{5.00}{0.3} = 16.67 < 25 \quad \text{Por tanto se debe aplicar la ecuación AISI E2.4-1}$$

$$P_n = \left(1 - \frac{0.01L}{t}\right) t L F_u = \left(1 - 0.01 \times \frac{5.00}{0.3}\right) \times 0.3 \times (5 + 5) \times 3665 = 9162.50 \text{ kg}$$

Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.60$

$$\Phi P_n = \Phi T_n = (0.60)(9162.50) = 5497.50 \text{ kg} = 5.50 \text{ t}$$



*Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 2.50$*

$$T_n / \Omega = \frac{9162.50}{2.50} = 3665.00 \text{ kg} = 3.67 \text{ t}$$

En vista de que el espesor de la placa es menor que 0.381cm (0.15 pulg), no es necesario verificar con la ecuación AISI [4] E2.4-4.

Se puede ver que la resistencia de la conexión es gobernada por la capacidad a la tracción de la placa de acero.

Por tanto

*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi P_n = 3.14 \text{ t}$*

*Resistencia admisible ASD:  $P_n / \Omega = 2.09 \text{ t}$*

*En la sección 11 de anexos (página 161) se incluye el detalle de datos generados para este tipo de conexión a partir de una hoja de cálculo.*

### **3.5 DISEÑO DE CONEXIONES PARA MIEMBROS CON SOLDADURA DE FILETE LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL**

Según **AISC** [1], **J2-4**, la resistencia de las soldaduras de filete puede ser determinada con las siguientes ecuaciones, en las cuales:

$$\Phi = 0.75 \text{ (LRFD)} \qquad \Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

1. *Para las soldaduras de filete cargadas transversalmente en un plano, a través de sus centros de gravedad:*

$$R_n = F_w A_w \qquad \text{(AISC J2-4)}$$

Donde:

$$F_w = 0.60 F_{EXX} (1.0 + 0.50 \text{sen}^{1.5} \theta) \qquad \text{(AISC J2-5)}$$

$F_{EXX}$  = Número de clasificación del electrodo, en ksi (Mpa)

$\theta$  = Ángulo entre la línea de acción de la carga y el eje longitudinal de la soldadura

$A_w$  = Área efectiva de la soldadura, en pulg<sup>2</sup> (mm<sup>2</sup>)

2. Para grupos de soldadura de filete cargados concéntricamente y con elementos orientados longitudinal y transversalmente a la dirección de aplicación de la carga, la resistencia combinada,  $R_n$ , del grupo de soldadura de filete, debe ser determinado del valor mayor de:

$$R_n = R_{wl} + R_{wt} \quad (\text{AISC J2-9a})$$

$$R_n = 0.85R_{wl} + 1.5R_{wt} \quad (\text{AISC J2-9b})$$

Donde:

$R_{wl}$  = Resistencia nominal total de las soldaduras de filete longitudinales, en kips (N)

$R_{wt}$  = Resistencia nominal total de las soldaduras de filete transversales, en kips (N)

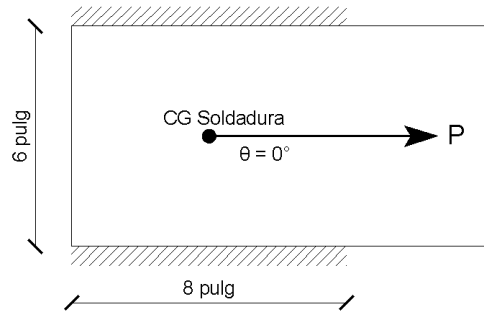
### **Ejemplo 3.3:**

Usando las Especificaciones AISC, determinar la resistencia de diseño LRFD y la resistencia admisible ASD de la soldadura de filete de 1/4 pulg, de las figuras 3.7 y 3.8, construida a través de un sistema de soldadura de arco protegido SMAW con electrodos E70. La placa es de acero A36 ( $F_y = 36$  ksi,  $F_u = 58$  ksi). Considerar:

- a. La carga aplicada paralela al eje longitudinal de la soldadura  $\theta = 0^\circ$
- b. La carga aplicada a  $20^\circ$  con el eje longitudinal de la soldadura.

**Solución:**

**a. Carga paralela al eje longitudinal de la soldadura,  $\theta = 0^\circ$**



**Figura 3.7:** Conexión para ejemplo 3.3a

*Garganta efectiva t:*

$$t = (0.707) \left( \frac{1}{4} \right) = 0.177 \text{ pulg}$$

*Resistencia nominal de la soldadura:*

$$R_n = F_w A_w = (0.60 \times 70)(16 \times 0.177) = 118.94 \text{ klb}$$

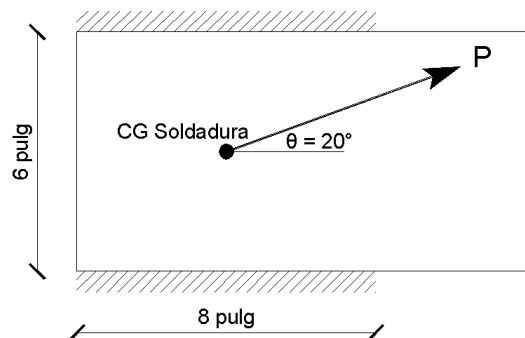
*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.75$*

$$\Phi R_n = (0.75)(148.51) = 89.21 \text{ klb}$$

*Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 2.00$*

$$R_n / \Omega = \frac{118.94}{2.00} = 59.47 \text{ klb}$$

**b. Carga aplicada a  $20^\circ$  con el eje longitudinal de la soldadura**



**Figura 3.8:** Conexión para ejemplo 3.3b

Resistencia nominal de la soldadura:

$$R_n = F_w A_w = 0.60 F_{EXX} (1.0 + 0.50 \text{sen}^{1.5} \theta) (Lt)$$

$$R_n = (0.60 \times 70) (1.0 + 0.50 \text{sen}^{1.5} 20^\circ) (16 \times 0.177) = 130.84 \text{ klb}$$

Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.75$

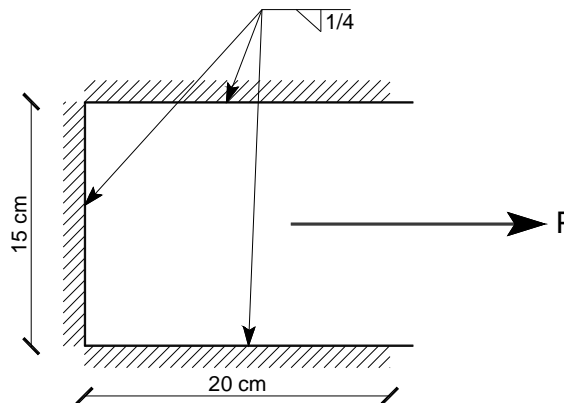
$$\Phi R_n = (0.75) (130.84) = 98.13 \text{ klb}$$

Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 2.00$

$$R_n / \Omega = \frac{130.84}{2.00} = 65.42 \text{ klb}$$

### **Ejemplo 3.4:**

Usando las Especificaciones AISC, determinar la resistencia total de diseño LRFD y la resistencia admisible total ASD de la soldadura de filete de 1/4 pulg (0.635 cm), de la figura 3.9, para la misma se utilizarán electrodos E70 ( $F_{EXX} = .70 \text{ ksi} = 4930 \text{ kg/cm}^2$ )



**Figura 3.9:** Conexión para ejemplo 3.4

### **Solución:**

Garganta efectiva  $t$ :

$$t = (0.707) (0.635) = 0.449 \text{ cm}$$

Resistencia nominal de las soldaduras longitudinales:

$$R_{wl} = F_w A_w = (0.60 \times 4930) (2 \times 20 \times 0.449) = 53125.68 \text{ kg}$$

*Resistencia nominal de la soldadura transversal:*

$$R_{wt} = F_w A_w = (0.60 \times 4930)(15 \times 0.449) = 19922.13 \text{ kg}$$

*Aplicando las ecuaciones AISC [1] J2-9a y J2-9b, para determinar el valor mayor:*

$$R_n = R_{wl} + R_{wt} = 53125.68 + 19922.13 \text{ kg} = 73047.81 \text{ kg} = 73.05 \text{ t}$$

$$R_n = 0.85R_{wl} + 1.5R_{wt} = (0.85)(53125.68) + (1.5)(19922.13)$$

$$R_n = 75040.02 \text{ kg} = 75.04 \text{ t}$$

*Por tanto*  $R_n = 75.04 \text{ t}$

*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.75$*

$$\Phi R_n = (0.75)(75.04) = 56.28 \text{ t}$$

*Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 2.00$*

$$R_n / \Omega = \frac{75.04}{2.00} = 37.52 \text{ t}$$

*En la sección 11 de anexos (página 163) se incluye el detalle de datos generados para este tipo de conexión a partir de una hoja de cálculo.*

### **3.6 LIMITACIONES DE DISEÑO CON SOLDADURA DE FILETE**

1. Para un determinado tamaño de soldadura de filete, la tasa de enfriamiento es más rápida y la restricción es mayor con placas gruesas que con placas delgadas. Para evitar el agrietamiento debido a esfuerzos internos resultantes, las especificaciones AISC [1], establecen tamaños mínimos para las soldaduras de filete, según el espesor de la placa. Estos tamaños se describen en la tabla No. 5 (tabla AISC [1] J2.4).

2. La longitud mínima de una soldadura de filete no debe ser menor de 4 veces la dimensión nominal del lado de la soldadura, Si su longitud real es menor de este valor, el tamaño de la soldadura considerada efectiva debe reducirse a  $1/4$  de la longitud de la soldadura.
3. El tamaño máximo de una soldadura de filete a lo largo de material menor a  $1/4$  pulg de grueso debe ser igual al grueso del material. Para material más grueso, no debe ser mayor que el espesor del material menos  $1/16$  pulg, a menos que la soldadura se arregle especialmente para dar un espesor completo de la garganta. Para una placa con un espesor de  $1/4$  pulg, o mayor, es apropiado terminar la soldadura por lo menos a  $1/16$  pulg del borde para que el inspector pueda ver claramente el borde de la placa y determinar con precisión las dimensiones de la garganta.
4. En la soldadura de filete en ocasiones, se deberá realizar vueltas en el extremo o remates, en donde la longitud de estas vueltas no deberá ser menor que dos veces el grueso nominal de la soldadura. Anteriormente esta práctica fue recomendada para proveer mejor resistencia a la fatiga y para verificar con seguridad que el espesor de la soldadura fue mantenido en toda su longitud. Recientemente investigaciones han demostrado que los remates no son necesarios para desarrollar la capacidad de tales conexiones. Los remates son también usados para incrementar la capacidad de deformación plástica de dichas conexiones (**Comentario AISC** <sup>[1]</sup> **J2.2b**).
5. Cuando se usen soldaduras de filete longitudinal para la conexión de placas o barras, sus longitudes no deben ser menores que la distancia perpendicular entre ellas, debido al rezago de cortante.
6. Según **AISC** <sup>[1]</sup>, **J2-2b**, en juntas traslapadas, el traslape mínimo es igual a 5 veces el espesor de la parte más delgada conectada, pero no debe ser menor de 1 pulgada. El propósito de este traslape mínimo es impedir que la junta rote excesivamente al aplicarse las cargas.

7. Se permiten soldaduras de filete intermitentes para ser usadas para transferir los esfuerzos calculados en una conexión o superficies adyacentes, cuando la resistencia requerida es menor que la desarrollada por una soldadura de filete continua del tamaño más pequeño permitido y para unir componentes de miembros armados. La longitud efectiva de un segmento de soldadura de filete intermitente no debe ser menor que cuatro veces el tamaño de la soldadura, con un mínimo de 1 1/2 pulg (38 mm).
  
8. Se permiten soldaduras de filete en agujeros o ranuras para ser usados para transferir el corte en conexiones traslapadas o para prevenir el pandeo o separación de las partes traslapadas y para unir componentes de miembros armados. Estos filetes pueden sobretraslaparse, sujetos a las provisiones de la sección AISC [1] J2.

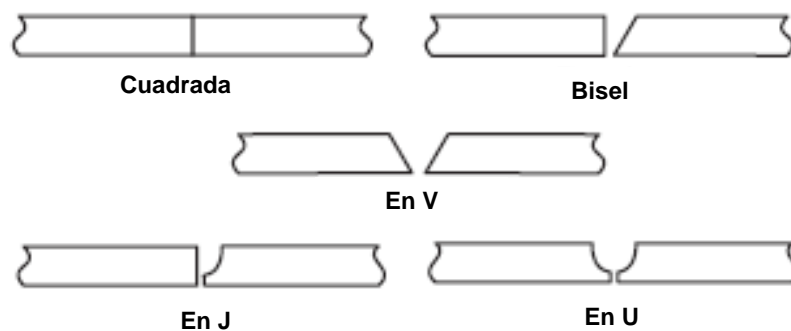
## CAPÍTULO 4

### 4 SOLDADURA DE TOPE O PENETRACIÓN

#### 4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA SOLDADURA DE TOPE O PENETRACIÓN

Esta soldadura comúnmente se usa para conectar dos placas que están en el mismo plano, aunque también puede emplearse para juntas en Te o en esquina, en donde la soldadura de penetración se hace en un surco o ranura entre los bordes de las dos partes a unir.

La configuración dada a los bordes que van a soldarse, define los tipos estándar de soldadura de penetración, y estas formas pueden ser: cuadrada, en V, en doble V, de bisel simple, de bisel doble, en U, en doble U, en J, y en doble J



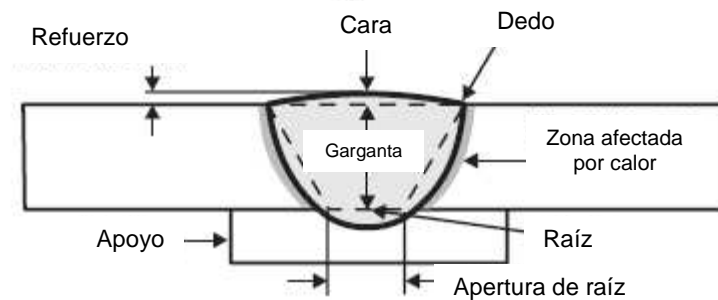
**Figura 4.1:** Soldaduras de penetración

Los bordes pueden formarse a través de corte con soplete, con escoplo de arco de aire o con cepillo.

Para este tipo de soldadura no se permite soldadura de ranura intermitente, ni uniones a tope no soldadas en su totalidad a través de la sección transversal; por el contrario, las soldaduras de penetración deben distribuirse en toda la longitud de las partes unidas (figura 4.2).



En las soldaduras a tope o de penetración la orientación de los esfuerzos aplicados no afecta con mayor significancia en la resistencia de la soldadura, por tanto estas soldaduras son utilizadas con mayor frecuencia en los empalmes de columnas o de miembros armados con placas.



**Figura 4.2:** Terminología de la soldadura de tope o penetración total

Las soldaduras de penetración se clasifican en soldaduras de penetración total y soldaduras de penetración parcial.

#### **4.1.1 SOLDADURA DE PENETRACIÓN TOTAL**

La soldadura de penetración total es el mejor tipo de soldadura para resistir los esfuerzos. En este proceso, el material de soldadura y el metal base se fusionan a lo largo de la profundidad de la unión (figura 4.3).

Cuando se unen placas de diferente espesor, la resistencia de la soldadura de penetración total está basada en la resistencia de la placa más delgada. Además si se unen placas de diferente resistencia, la resistencia de la soldadura de penetración total está basada en la resistencia de la placa más débil.



**Figura 4.3:** Soldadura de penetración total o completa

Una de las ventajas de este tipo de soldadura es que no requieren diseño para el caso de estructuras estáticamente cargadas.

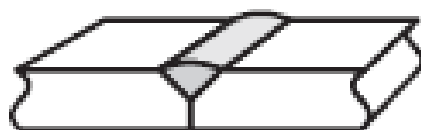
La soldadura de penetración completa o total es generalmente el tipo de soldadura más costoso, y típicamente su uso está reservado para situaciones en las cuales constituyen la única opción viable. En juntas de extremo en donde la capacidad total a tracción del acero debe ser desarrollada, la soldadura de penetración completa constituye la única opción a ser utilizada.

En juntas esquineras la capacidad de la soldadura de penetración completa raramente es requerida ya que en dichas juntas, la soldadura está normalmente sometida a cortante. Si la capacidad de la soldadura de penetración completa es necesaria, y si es posible acceder a ambos lados de la junta, se podría emplear soldadura de penetración parcial con soldadura de filete en el lado opuesto; esta combinación es típicamente más económica.

#### **4.1.2 SOLDADURA DE PENETRACIÓN PARCIAL**

La soldadura de penetración parcial a menudo es más económica, especialmente en los casos en que la soldadura no es requerida para desarrollar grandes fuerzas en los materiales conectados, tales como empalmes en columnas de edificios que soportan únicamente cargas axiales. Este tipo de soldadura no se debe usar en conexiones de puentes, porque la tracción puede aplicarse perpendicularmente al eje de las soldaduras.

Se tiene este tipo de soldadura cuando las ranuras a soldarse no se extienden completamente a través del espesor de las partes. Esta soldadura se puede ejecutar en uno o en ambos lados, con o sin preparación de los bordes de las piezas a soldar.



**Figura 4.4:** Soldadura de penetración total o completa

Los esfuerzos de diseño son los mismos que para el caso de penetración completa, cuando se tiene compresión o tracción paralela al eje de la soldadura, pero cuando se tiene tracción transversal a su eje, se aplica una reducción substancial de la resistencia, por la posibilidad de la alta concentración de esfuerzos.

## 4.2 ÁREA EFECTIVA EN LA SOLDADURA A TOPE O PENETRACIÓN

Según **AISC** [1], **J2-1a**, el área efectiva de una soldadura de ranura, de parcial o completa penetración, es el producto del grosor de la garganta efectiva por la longitud de la soldadura.

Por tanto:

$$A_w = t \cdot L \quad (\text{Ec. 4.1})$$

Donde:

$A_w$  = Área efectiva de la soldadura, en pulg<sup>2</sup> (mm<sup>2</sup>)

$t$  = Grosor de la garganta efectiva de la soldadura, en pulg (mm)

$L$  = Longitud de la soldadura, dada por el ancho de la parte conectada, en pulg (mm)

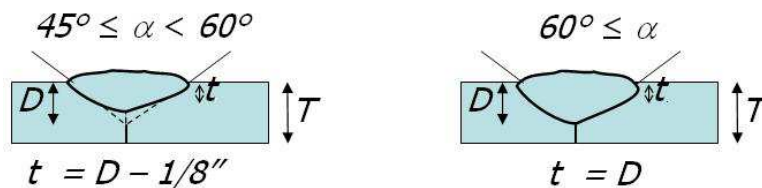
El grosor de la garganta efectiva de una soldadura de penetración completa deberá ser el espesor de la parte conectada más delgada.

El grosor de la garganta efectiva de una soldadura de penetración parcial se determinará de acuerdo a la tabla No. 6 (tabla AISC [1] J2.1).

El tamaño de la garganta efectiva de la soldadura de penetración parcial es dependiente del proceso usado y de la posición de soldadura.

**Tabla No.6:** Garganta efectiva de soldadura de penetración parcial (Tabla AISC [1] J2.1)

Garganta efectiva de soldadura de penetración parcial			
Proceso de soldeo	Posición de soldeo F (Plana), H (Horizontal), V (Vertical), OH (Sobrecabeza)	Tipo de ranura	Garganta Efectiva
Proceso (SMAW)	Todas	Ranura J ó U, bisel V 60°	Profundidad de ranura
Proceso (GMAW) Proceso (FCAW)	Todas		
Proceso (SAW)	F	Ranura J ó U, bisel V 60°	
Proceso (GMAW) Proceso (FCAW)	F, H	Bisel 45°	Profundidad de ranura
Proceso (SMAW)	Todas	Bisel 45°	Profundidad de ranura menos 1/8 pulg (3mm)
Proceso (GMAW) Proceso (FCAW)	V, OH	Bisel 45°	Profundidad de ranura menos 1/8 pulg (3mm)



D = Profundidad de ranura

**Figura 4.5:** Garganta efectiva en la soldadura de tope o penetración

## 4.3 RESISTENCIA DE LA SOLDADURA A TOPE O PENETRACIÓN

### 4.3.1 RESISTENCIA DE DISEÑO (LRFD) Y RESISTENCIA ADMISIBLE (ASD) DE LA SOLDADURA A TOPE O PENETRACIÓN SEGÚN AISC

Según **AISC** [1], **J2-4**, la resistencia de diseño  $\Phi R_n$  y la resistencia admisible  $R_n / \Omega$  de la soldadura de tope o penetración, debe ser el menor valor de la resistencia del material base y del metal de soldadura.

Los valores de  $\Phi$ ,  $\Omega$  y demás limitaciones deben ser tomados de la tabla No.4 (tabla AISC [1] J2.5); los mismos se detallan principalmente para los siguientes casos:

Tracción normal al eje de la soldadura:

*Para el metal base:*

$$\Phi = 0.90 \text{ (LRFD)} \qquad \Omega = 1.67 \text{ (ASD)}$$

*Para la soldadura:*

$$\Phi = 0.80 \text{ (LRFD)} \qquad \Omega = 1.88 \text{ (ASD)}$$

Cortante:

*Para el metal base:*

Gobernado por la sección J4 de AISC [1] (Ver sección 2.2 de este trabajo)

*Para la soldadura:*

$$\Phi = 0.75 \text{ (LRFD)} \qquad \Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

De igual manera para determinar la resistencia nominal del metal de soldadura, se deberá acudir a la tabla No.4 (tabla AISC [1] J2.5).

Cuando la soldadura de penetración completa está sometida a tracción o compresión axial, los esfuerzos de la soldadura se asumen igual a la carga dividida para el área neta de la soldadura.

Según la **tabla AISC** [1], **J2.5**, la resistencia nominal de una junta con soldadura de penetración completa es controlada por el metal base.

La resistencia nominal de la soldadura a tope con penetración parcial, para *tracción o compresión paralela al eje de la soldadura*, no necesita ser considerada en el diseño de la soldadura de las partes.

La resistencia nominal de la soldadura a tope con penetración parcial, para *tracción normal al eje de la soldadura y cortante*, es igual a:

$$F_w = 0.60F_{EXX} \quad (\text{Ec. 4.2})$$

La resistencia nominal de la soldadura a tope con penetración parcial, para *conexiones a compresión no destinadas para apoyos*, es igual a:

$$F_w = 0.90F_{EXX} \quad (\text{Ec. 4.3})$$

Donde:

$F_w$  = Resistencia nominal del metal de soldadura por unidad de área, en ksi (Mpa)

$F_{EXX}$  = Número de clasificación del electrodo, en ksi (Mpa)

#### **4.3.2 RESISTENCIA DE DISEÑO (LRFD) Y RESISTENCIA ADMISIBLE (ASD) DE LA SOLDADURA A TOPE O PENETRACIÓN SEGÚN AISI**

Según **AISI** [4], **E2.1**, la resistencia nominal,  $P_n$ , de una soldadura de ranura en una unión a tope, soldada desde uno o ambos lados, se debe determinar de la siguiente manera:

a. Tracción o compresión normal a la superficie efectiva o paralela al eje de la soldadura

$$P_n = L t_e F_y \quad (\text{AISI E2.1-1})$$

$$\Phi = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

b. Corte en la superficie efectiva

Se escoge el menor valor entre las ecuaciones:

$$P_n = L t_e 0.6 F_{XX} \quad (\text{AISI E2.1-2})$$

$$\Phi = 0.80 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

$$P_n = L t_e F_y / \sqrt{3} \quad (\text{AISI E2.1-3})$$

$$\Phi = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

Donde:

$P_n$  = Resistencia nominal de una soldadura de ranura en una unión a tope

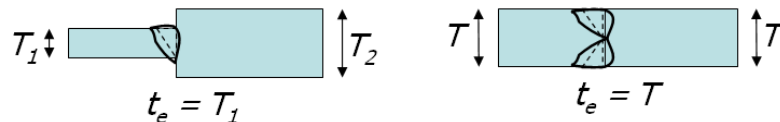
$F_{XX}$  = Denominación de la resistencia del metal de relleno en la clasificación de electrodos AWS.

$F_y$  = Esfuerzo de fluencia mínimo especificado del acero base de menor resistencia

$L$  = Longitud de la soldadura

$t_e$  = Dimensión efectiva de la garganta de una soldadura de ranura en una unión a tope

En la figura 4.6 se indican las dimensiones de la garganta efectiva para soldaduras de tope o penetración:



**Figura 4.6:** Soldadura de penetración total o completa

## 4.4 DISEÑO DE SOLDADURA A TOPE O DE PENETRACIÓN

Como aplicación de los criterios de diseño expuestos anteriormente se plantean ejemplos de cálculo de soldadura a tope o de penetración, en los cuales se detallan los procedimientos de diseño empleados para determinar la resistencia de varias conexiones con este tipo de soldadura. Para el efecto se aplican las Especificaciones AISC [1] y AISI [4], de acuerdo a los requerimientos de los problemas.

### **Ejemplo 4.1:**

Aplicando las Especificaciones AISC, determinar la resistencia de diseño LRFD y la resistencia admisible ASD de la conexión con soldadura de penetración completa y realizada con proceso SMAW, indicada en la figura 4.7. Considerar  $F_y = 36 \text{ ksi}$ ,  $F_u = 58 \text{ ksi}$  y electrodos E70.

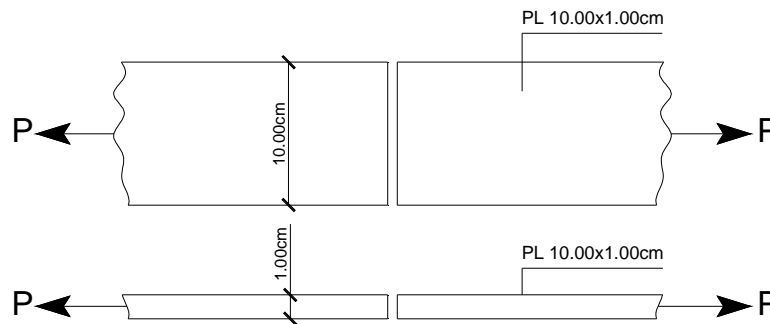


Figura 4.7: Conexión para ejemplo 4.1

### **Solución:**

Para las placas de la conexión:

$$F_y = 36 \text{ ksi} = 2540 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 58 \text{ ksi} = 4100 \text{ kg/cm}^2$$



De las Especificaciones AISC [1], se conoce que: “La resistencia nominal de una junta con soldadura de penetración completa es controlada por el metal base”, por tanto:

**Resistencia de la conexión:** Resistencia del metal base:

*Fluencia en la sección bruta:*

$$R_n = F_y A_g = (2540)(10.00 \times 1.00) = 25400 \text{ kg} = 25.40 \text{ t}$$

*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.90$*

$$\Phi R_n = (0.90)(25.40) = 22.86 \text{ t}$$

*Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 1.67$*

$$R_n / \Omega = \frac{25.40}{1.67} = 15.21 \text{ t}$$

*Fractura en la sección neta:*

$$R_n = F_u A_e = (4100)(10.00 \times 1.00) = 41000 \text{ kg} = 41.00 \text{ t}$$

*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.75$*

$$\Phi R_n = (0.75)(41.00) = 30.75 \text{ t}$$

*Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 2.00$*

$$R_n / \Omega = \frac{41.00}{2.00} = 20.50 \text{ t}$$

Por tanto

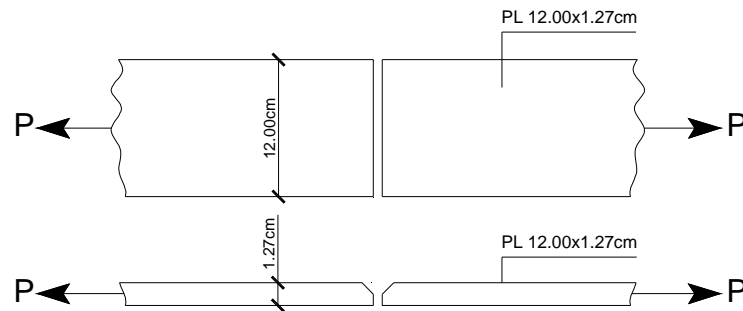
*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi R_n = 22.86 \text{ t}$*

*Resistencia admisible ASD:  $R_n / \Omega = 15.21 \text{ t}$*

*En la sección 11 de anexos (página 164) se incluye el detalle de datos generados para este tipo de conexión a partir de una hoja de cálculo.*

### **Ejemplo 4.2:**

Aplicando las Especificaciones AISC, determinar la resistencia de diseño LRFD y la resistencia admisible ASD de la conexión con soldadura de penetración parcial de bisel 45°, profundidad 0.635 cm y realizada con proceso SMAW, indicada en la figura 4.8. Considerar  $F_y = 33 \text{ ksi}$ ,  $F_u = 52 \text{ ksi}$  y electrodos E70.



**Figura 4.8:** Conexión para ejemplo 4.2

### **Solución:**

Para las placas de la conexión y para la soldadura, respectivamente:

$$F_y = 33 \text{ ksi} = 2325 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 52 \text{ ksi} = 3665 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{EXX} = 70 \text{ ksi} = 4930 \text{ kg/cm}^2$$

### **Resistencia del metal base:**

Fluencia en tracción en la sección bruta:

$$R_n = F_y A_g = (2325)(12.00 \times 1.27) = 35433 \text{ kg} = 35.43 \text{ t}$$

Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.90$

$$\Phi R_n = (0.90)(35.43) = 31.89 \text{ t}$$

Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 1.67$

$$R_n / \Omega = \frac{35.43}{1.67} = 21.21 \text{ t}$$

Fluencia a cortante en la sección bruta:

$$R_n = 0.60 F_y A_g = (0.60)(2325)(12.00 \times 1.27) = 21260 \text{ kg} = 21.26 \text{ t}$$

*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 1.00$*

$$\Phi R_n = (1.00)(21.26) = 21.26 \text{ t}$$

*Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 1.50$*

$$R_n / \Omega = \frac{21.26}{1.50} = 14.17 \text{ t}$$

*Resistencia a cortante en la sección neta:*

$$R_n = 0.60F_u A_{nv} = (0.60)(3665)(12.00 \times 1.27) = 33513 \text{ kg} = 33.51 \text{ t}$$

*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.75$*

$$\Phi R_n = (0.75)(33.51) = 25.13 \text{ t}$$

*Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 2.00$*

$$R_n / \Omega = \frac{33.51}{2.00} = 16.76 \text{ t}$$

***Resistencia de la soldadura:***

*Garganta efectiva de la soldadura:*

$$t = 0.635 \text{ cm} - 0.300 \text{ cm} = 0.335 \text{ cm} \quad (\text{Según tabla AISC [1] J2.1})$$

*Resistencia nominal de la soldadura:*

$$R_n = F_w A_w = (0.60 \times 4930)(0.335 \times 12) = 11891 \text{ kg} = 11.89 \text{ t}$$

*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.80$*

$$\Phi R_n = (0.80)(11.89) = 9.51 \text{ t}$$

*Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 1.88$*

$$R_n / \Omega = \frac{11.89}{1.88} = 6.32 \text{ t}$$

Por tanto

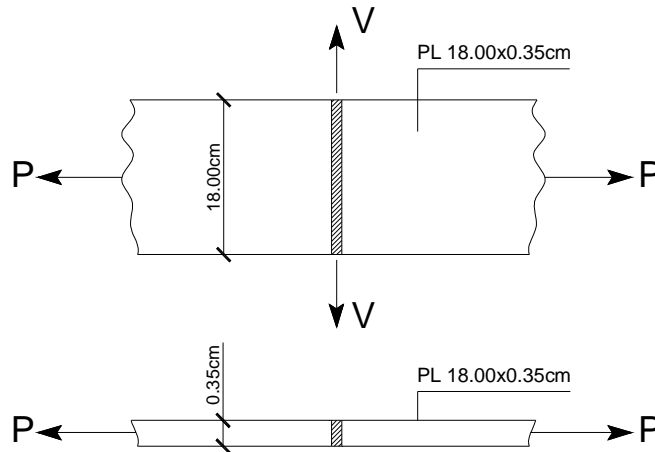
*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi R_n = 9.51 \text{ t}$*

*Resistencia admisible ASD:  $R_n / \Omega = 6.32 \text{ t}$*

*En la sección 11 de anexos (página 165) se incluye el detalle de datos generados para este tipo de conexión a partir de una hoja de cálculo.*

### **Ejemplo 4.3:**

Aplicando las Especificaciones AISI, determinar la resistencia de diseño LRFD y la resistencia admisible ASD, a tracción y cortante, de la conexión con soldadura de penetración, indicada en la figura 4.9. Considerar  $F_y = 36$  ksi y electrodos E60.



**Figura 4.9:** Conexión para ejemplo 4.3

### **Solución:**

Para las placas de la conexión y para la soldadura, respectivamente:

$$F_y = 36 \text{ ksi} = 2540 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{xx} = 60 \text{ ksi} = 4230 \text{ kg/cm}^2$$

#### **1. Resistencia a tracción normal a la superficie efectiva**

*Resistencia nominal:*

$$P_n = L t_e F_y = (18)(0.35)(2540) = 16002 \text{ kg} = 16.00 \text{ t}$$

*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.90$*

$$\Phi P_n = (0.90)(16.00) = 14.40 \text{ t}$$

*Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 2.50$*

$$P_n / \Omega = \frac{16.00}{2.50} = 6.40 \text{ t}$$

## 2. Resistencia a cortante en la superficie efectiva

*Resistencia nominal (P<sub>n</sub>)<sub>1</sub>:*

$$(P_n)_1 = Lt_e(0.6F_{XX}) = (18)(0.35)(0.6 \times 4230) = 15989 \text{ kg} = 15.99 \text{ t}$$

*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.80$*

$$\Phi(P_n)_1 = (0.80)(15.99) = 12.79 \text{ t}$$

*Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 2.50$*

$$(P_n)_1 / \Omega = \frac{15.99}{2.50} = 6.40 \text{ t}$$

*Resistencia nominal (P<sub>n</sub>)<sub>2</sub>:*

$$(P_n)_2 = Lt_e(F_y / \sqrt{3}) = (18)(0.35)(2540 / \sqrt{3}) = 9238.76 \text{ kg} = 9.24 \text{ t}$$

*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.90$*

$$\Phi(P_n)_2 = (0.90)(9.24) = 8.32 \text{ t}$$

*Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 2.50$*

$$(P_n)_2 / \Omega = \frac{9.24}{2.50} = 3.70 \text{ t}$$

Por tanto, para la resistencia a cortante en la superficie efectiva, se tiene:

*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi P_n = 8.32 \text{ t}$*

*Resistencia admisible ASD:  $P_n / \Omega = 3.70 \text{ t}$*

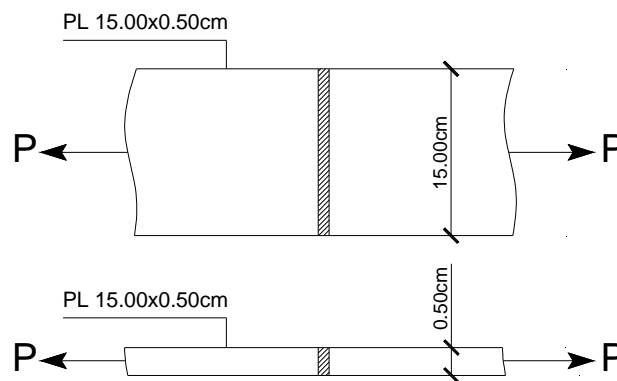
*En la sección 11 de anexos (página 167) se incluye el detalle de datos generados para este tipo de conexión a partir de una hoja de cálculo.*

#### **Ejemplo 4.4:**

Usando las Especificaciones AISI y los métodos LRFD y ASD, verificar si la conexión de la figura 4.10 es adecuada para transmitir la resistencia requerida. Considerar  $F_y = 36 \text{ ksi}$  y electrodos E70.

La resistencia requerida es:  $P_{C. MUERTA} (D) = 3.00 \text{ t}$

$P_{C. VIVA} (L) = 4.00 \text{ t}$



**Figura 4.10:** Conexión para ejercicio 4.4

#### **Solución:**

Para las placas de la conexión y para la soldadura, respectivamente:

$$F_y = 36 \text{ ksi} = 2540 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{XX} = 70 \text{ ksi} = 4930 \text{ kg/cm}^2$$

#### **1. Resistencia requerida**

##### **LRFD:**

Según AISI [4] A6.1.2, aplican las combinaciones de carga:

$$P_{u1} = 1.4 D + L = 1.4(3.00) + (4.00) = 8.20 \text{ t}$$

$$P_{u2} = 1.2 D + 1.6 L = 1.2(3.00) + 1.6(4.00) = 10.00 \text{ t} \quad \leftarrow \text{ PREDOMINA}$$

##### **ASD:**

Según AISI [4] A5.1.2, aplica la combinación de carga:

$$P_1 = D + L = (3.00) + (4.00) = 7.00 \text{ t}$$

$\leftarrow$  PREDOMINA

## 2. Resistencia a tracción normal a la superficie efectiva

*Resistencia nominal:*

$$P_n = L t_e F_y = (15)(0.50)(2540) = 19050 \text{ kg} = 19.05 \text{ t}$$

*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.90$*

$$\Phi P_n = (0.90)(19.05) = 17.15 \text{ t}$$

*Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 2.50$*

$$P_n / \Omega = \frac{19.05}{2.50} = 7.62 \text{ t}$$

## 3. Resistencia a cortante en la superficie efectiva

*Resistencia nominal ( $P_n$ )<sub>1</sub>:*

$$(P_n)_1 = L t_e (0.6 F_{XX}) = (15)(0.50)(0.6 \times 4930) = 22185 \text{ kg} = 22.19 \text{ t}$$

*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.80$*

$$\Phi(P_n)_1 = (0.80)(22.19) = 17.75 \text{ t}$$

*Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 2.50$*

$$(P_n)_1 / \Omega = \frac{22.19}{2.50} = 8.88 \text{ t}$$

*Resistencia nominal ( $P_n$ )<sub>2</sub>:*

$$(P_n)_2 = L t_e (F_y / \sqrt{3}) = (15)(0.50)(2540 / \sqrt{3}) = 10999 \text{ kg} = 11.00 \text{ t}$$

*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.90$*

$$\Phi(P_n)_2 = (0.90)(11.00) = 9.90 \text{ t}$$

*Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 2.50$*

$$(P_n)_2 / \Omega = \frac{11.00}{2.50} = 4.40 \text{ t}$$

Por tanto: *Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi R_n = 9.90 \text{ t} < 10.00 \text{ t}$*

*Resistencia admisible ASD:  $R_n / \Omega = 4.40 \text{ t} < 7.00 \text{ t}$*

*La conexión no transmite la resistencia requerida*

## 4.5 LIMITACIONES DE DISEÑO CON SOLDADURA A TOPE

Según **AISC** [1], **J2-1b**, el mínimo espesor efectivo de la garganta de una soldadura de penetración parcial no debe ser menor que el tamaño requerido para transmitir las fuerzas calculadas ni a los tamaños indicados en la tabla AISC [1] J2.3 (tabla No.7). Además el tamaño mínimo de la soldadura es determinado por la más delgada de las dos partes conectadas.

**Tabla No.7:** Espesor mínimo de la garganta efectiva de soldaduras de penetración parcial (Tabla AISC [1] J2.3)

<b>Espesor mínimo de la garganta efectiva de soldaduras de penetración parcial</b>	
<b>Espesor del material de la parte más delgada conectada, pulg (mm)</b>	<b>Espesor mínimo de la garganta efectiva [a] pulg (mm)</b>
Hasta 1/4 (6) inclusive	1/8 (3)
Mayor de 1/4 (6) hasta 1/2 (13) inclusive	3/16 (5)
Mayor de 1/2 (13) hasta 3/4 (19) inclusive	1/4 (6)
Mayor de 3/4 (19) hasta 1 1/2 (38) inclusive	5/16 (8)
Mayor de 1 1/2 (38) hasta 2 1/4 (57) inclusive	3/8 (10)
Mayor de 2 1/4 (57) hasta 6 (150) inclusive	1/2 (13)
Mayor de 6 (150)	5/8 (16)

[a] Ver tabla AISC [1] J2.1 (tabla No.6)



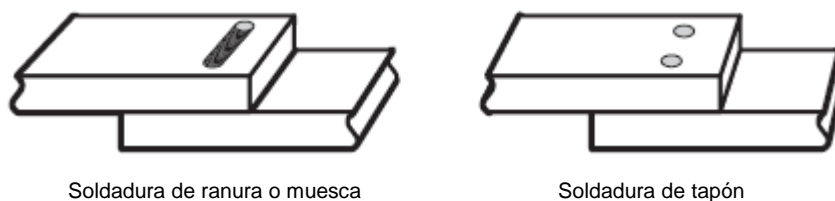
## CAPÍTULO 5

### 5 SOLDADURA DE TAPÓN Y DE RANURA

#### 5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA SOLDADURA DE TAPÓN Y DE RANURA

Este tipo de soldadura se utiliza en estructuras para transmitir los esfuerzos de corte en uniones y adicionalmente para impedir el pandeo de las placas anchas traslapadas.

La soldadura de ranura se ejecuta disponiendo cordones en los bordes de un agujero circular o de una abertura alargada de bordes circulares. Su uso es necesario en situaciones en que el espacio disponible para colocar cordones de soldadura es insuficiente para lograr el buen funcionamiento de la conexión, con lo que realizando perforaciones en el centro de uno de los miembros a conectar se logra incrementar la longitud disponible para la soldadura, la misma que se deposita en las ranuras ejecutadas. Similarmente en las soldaduras de tapón se rellena el agujero, circular o alargado, con el material de soldadura. Las aberturas pueden rellenarse parcial o totalmente, en función de su profundidad (figura 5.1).

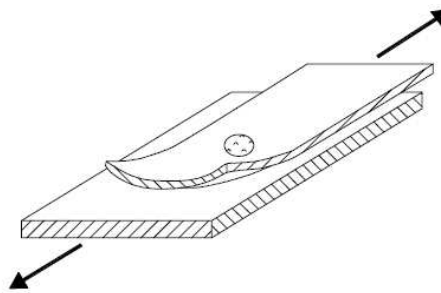


**Figura 5.1:** Soldaduras de muesca y de tapón [3]

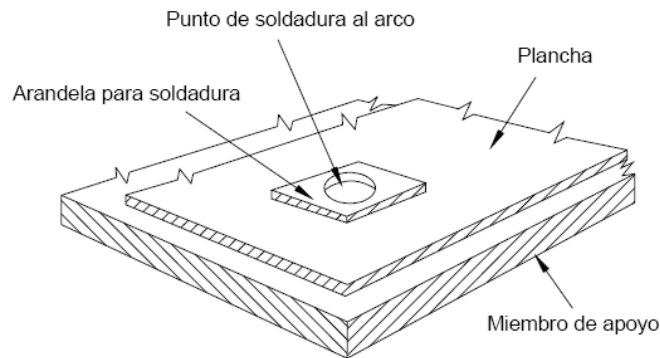
El uso de las soldaduras de tapón y de muesca está restringido a la transferencia de esfuerzos cortantes en planos de unión paralelos a las superficies de contacto; por tanto no deben someterse a esfuerzos de tracción ni a esfuerzos alternados.

Para el caso de planchas delgadas, se aplican los puntos de soldadura por arco, que son similares a las soldaduras de tapón empleadas para planchas relativamente gruesas.

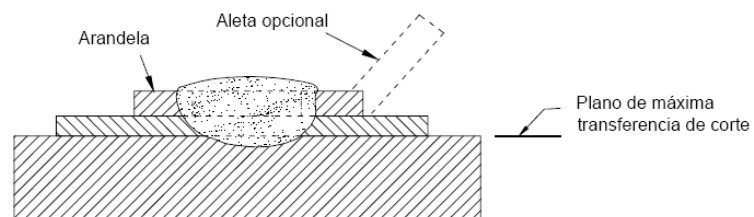
En las soldaduras de tapón se realizan orificios preperforados para ser rellenados con soldadura, en tanto que para el proceso de puntos de soldadura por arco no se requiere de estos orificios, ya que con el arco se quema un orificio en la plancha superior que luego se rellena con metal fundido para conectarla con la plancha inferior o con algún miembro de la estructura (figura 5.2). En algunas ocasiones para llevar a cabo esta soldadura se utilizan arandelas (figuras 5.3 y 5.4)



**Figura 5.2:** Punto de soldadura por arco para planchas delgadas [4]



**Figura 5.3:** Arandela típica para soldaduras por arco [4]



**Figura 5.4:** Punto de Soldadura por arco utilizando una arandela [4]

## 5.2 ÁREA EFECTIVA EN LA SOLDADURA DE TAPÓN Y DE RANURA

Según **AISC** [1], **J2-3a**, el área efectiva de cortante de la soldadura de tapón y de ranura deberá ser considerada como el área de la sección transversal nominal del agujero o ranura en el plano de la superficie de contacto.

El área efectiva para las soldaduras de tapón y de muesca se puede determinar mediante las ecuaciones:

$$A_w = \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{Para una soldadura de tapón} \quad (\text{Ec. 5.1})$$

$$A_w = (L - 0.215d)d \quad \text{Para una soldadura de muesca con extremos semicirculares} \quad (\text{Ec. 5.2})$$

Donde:

$A_w$  = Área efectiva de la soldadura, en pulg<sup>2</sup> (mm<sup>2</sup>)

$d$  = diámetro del agujero para soldadura, en pulg (mm)

$L$  = Longitud de la muesca de una soldadura de muesca, en pulg (mm)

## 5.3 RESISTENCIA DE LA SOLDADURA DE TAPÓN Y DE RANURA

### 5.3.1 RESISTENCIA DE DISEÑO (LRFD) Y RESISTENCIA ADMISIBLE (ASD) DE LA SOLDADURA DE TAPÓN Y DE RANURA SEGÚN AISC

Según **AISC** [1], **J2-4**, la resistencia de diseño  $\Phi R_n$  y la resistencia admisible  $R_n/\Omega$  de la soldadura de tapón y de ranura, debe ser el menor valor de la resistencia del material base y del metal de soldadura.

Los valores de  $\Phi$ ,  $\Omega$  y demás limitaciones deben ser tomados de la tabla No.4 (tabla **AISC** [1] **J2.5**), pero principalmente se detallan las siguientes consideraciones:

Cortante paralelo a la superficie de contacto en el área efectiva

*Para el metal base:*

Gobernado por la sección J4 de AISC [1] (Ver sección 2.2 de este trabajo)

*Para la soldadura:*

$$\Phi = 0.75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

Para determinar la resistencia nominal del metal de soldadura, se aplica la siguiente ecuación:

$$F_w = 0.60F_{EXX} \quad (\text{Ec. 5.3})$$

Donde:

$F_w$  = Resistencia nominal del metal de soldadura por unidad de área, en ksi (Mpa)

$F_{EXX}$  = Número de clasificación del electrodo, en ksi (Mpa)

La resistencia de diseño LRFD de una soldadura de tapón o ranura es igual a su esfuerzo de diseño  $\Phi F_w$  multiplicado por su área nominal en el plano de corte. De igual manera, la resistencia admisible ASD es igual a su esfuerzo admisible  $F_w / \Omega$  multiplicado por la misma área nominal en el plano de corte. El área de cortante es el área de contacto de la base del tapón o de la ranura. La longitud requerida L, de una soldadura de ranura puede ser determinada de la siguiente expresión:

$$L = \frac{\text{carga}}{(\text{ancho})(\text{esfuerzo de diseño})} \quad (\text{Ec. 5.4})$$

### 5.3.2 RESISTENCIA DE DISEÑO (LRFD) Y RESISTENCIA ADMISIBLE (ASD) DE LA SOLDADURA DE TAPÓN Y DE RANURA SEGÚN AISI

#### 5.3.2.1 Puntos de soldadura por arco [AISI E2.2]

##### Corte:

La resistencia nominal al corte,  $P_n$ , de cada punto de soldadura por arco que une una o más chapas y un miembro de apoyo, se debe determinar utilizando el menor valor entre:

$$(a) \quad P_n = \frac{\pi d_e^2}{4} 0.75 F_{XX} \quad (\text{AISI E2.2.1-1})$$

$$\Phi = 0.60 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

$$(b) \quad \text{Para } (d_a / t) \leq 0.815 \sqrt{(E / F_u)}$$

$$P_n = 2.20 t d_a F_u \quad (\text{AISI E2.2.1-2})$$

$$\Phi = 0.60 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

$$\text{Para } 0.815 \sqrt{(E / F_u)} < (d_a / t) < 1.397 \sqrt{(E / F_u)}$$

$$P_n = 0.280 \left[ 1 + 5.59 \frac{\sqrt{E / F_u}}{d_a / t} \right] t d_a F_u \quad (\text{AISI E2.2.1-3})$$

$$\Phi = 0.50 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

$$\text{Para } (d_a / t) \geq 1.397 \sqrt{(E / F_u)}$$

$$P_n = 1.40 t d_a F_u \quad (\text{AISI E2.2.1-4})$$

$$\Phi = 0.50 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

Donde:

$P_n$  = Resistencia nominal al corte de un punto de soldadura por arco.

$d$  = Diámetro visible de la superficie exterior del punto de soldadura por arco.

$d_a$  = Diámetro promedio del punto de soldadura por arco a la mitad del espesor de  $t$ , donde  $d_a = (d - t)$  para una sola plancha, y  $(d - 2t)$  para múltiples planchas (no más de cuatro planchas superpuestas sobre un miembro de apoyo).

$d_e$  = Diámetro efectivo de la superficie fundida en el plano de máxima transferencia de corte

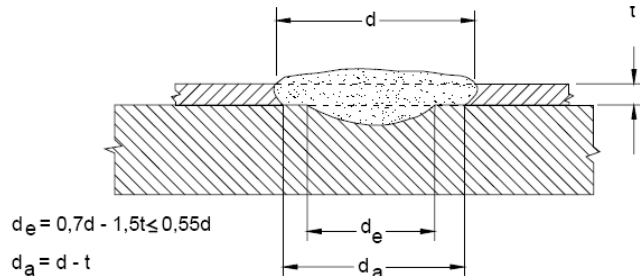
$$= 0.7 d - 1.5 t \text{ pero } \leq 0.55 d \quad (\text{AISI E2.2.1-5})$$

$t$  = Espesor total combinado del acero base (excluyendo los revestimientos) de las planchas que participan en la transferencia de corte sobre el plano de máxima transferencia de corte.

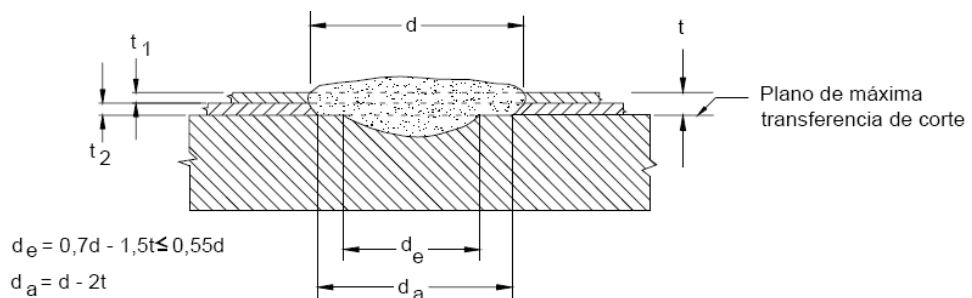
$F_{XX}$  = Denominación de la resistencia del metal de relleno en la clasificación de electrodos AWS [7]

$F_u$  = Resistencia a la tracción

Para identificar las definiciones de los diámetros ver figuras 5.5 y 5.6:



**Figura 5.5:** Punto de Soldadura por arco – Un solo espesor de plancha [4]



**Figura 5.6:** Punto de Soldadura por arco – Doble espesor de plancha [4]

La distancia medida en la línea de la fuerza desde el eje de una soldadura hasta el borde más cercano de una soldadura adyacente o hasta el extremo de la parte conectada hacia el cual se dirige la fuerza no debe ser menor que el valor de  $e_{min}$  dado a continuación:

$$e_{min} = \frac{P\Omega}{F_u t} \quad (\text{ASD}) \quad (\text{AISI E2.2.1-6a})$$

$$e_{min} = \frac{P_u}{\phi F_u t} \quad (\text{LRFD}) \quad (\text{AISI E2.2.1-6b})$$

Cuando  $F_u/F_{sy} \geq 1.08$

$$\Phi = 0.70 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

Cuando  $F_u/F_{sy} < 1.08$

$$\Phi = 0.60 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.22 \text{ (ASD)}$$

Donde:

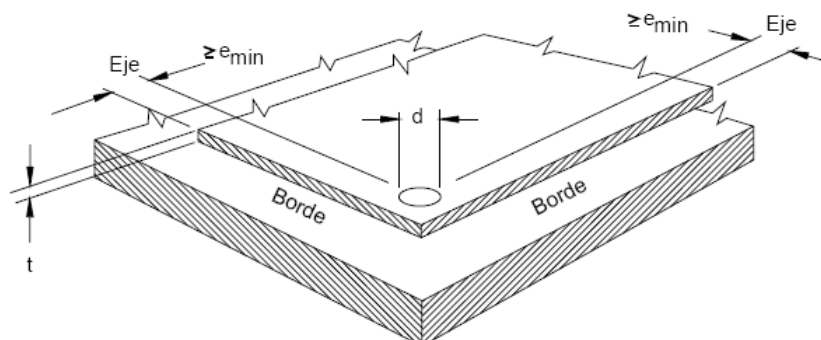
$P$  = Resistencia requerida (fuerza nominal) transmitida por la soldadura  
(ASD)

$P_n$  = Resistencia requerida (fuerza factorizada) transmitida por la soldadura  
(LRFD)

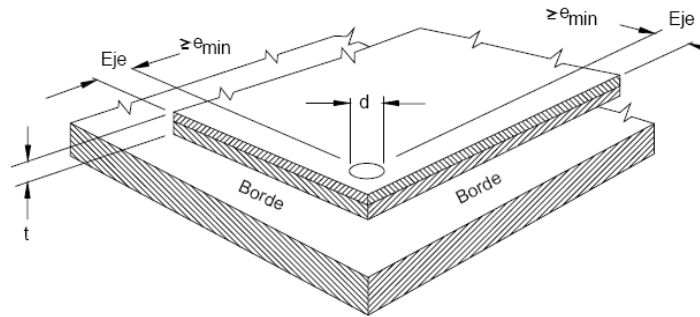
$t$  = Espesor de la plancha conectada más delgada.

$F_{sy}$  = Esfuerzo de fluencia

Para identificar las definiciones de los diámetros ver figuras 5.7 y 5.8:



**Figura 5.7:** Distancias a los bordes para puntos de soldadura por arco – Una sola plancha [4]



**Figura 5.8:** Distancias a los bordes para puntos de soldadura por arco – Doble plancha [4]

Adicionalmente, la distancia entre el eje de cualquier soldadura hasta el extremo o borde del miembro conectado no debe ser menor que  $1.5d$ . En ningún caso la distancia libre entre las soldaduras y el extremo del miembro debe ser menor que  $1.0d$ .

### **Tracción:**

La resistencia nominal a la tracción de levantamiento,  $P_n$ , de cada punto de soldadura por arco con carga concéntrica que conecta planchas y un miembro de apoyo se debe calcular como el menor valor entre:

$$P_n = \frac{\pi d_e^2}{4} F_{XX} \quad (\text{AISI E2.2.2-1})$$

O ya sea:

$$\text{Para } F_u/E < 0.00187$$

$$P_n = [6.59 - 3150(F_u/E)]t_d F_u \leq 1.46t_d F_u \quad (\text{AISI E2.2.2-2})$$

$$\text{Para } F_u/E \geq 0.00187$$

$$P_n = 0.70t_d F_u \quad (\text{AISI E2.2.2-3})$$

$$\Phi = 0.60 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

También se aplican las siguientes limitaciones adicionales:

$$e_{\min} \geq d$$

$$F_{XX} \geq 60 \text{ ksi (414 Mpa)}$$

$$F_u \leq 82 \text{ ksi (565 Mpa) (de las planchas conectadas)}$$

$$F_{XX} > F_u$$



Para puntos de soldadura por arco con carga excéntrica sometidos a una tracción de levantamiento, la resistencia nominal a la tracción se debe tomar como el 50 por ciento del valor anterior.

Para conexiones con múltiples planchas, la resistencia se debe determinar utilizando la sumatoria de los espesores de las planchas.

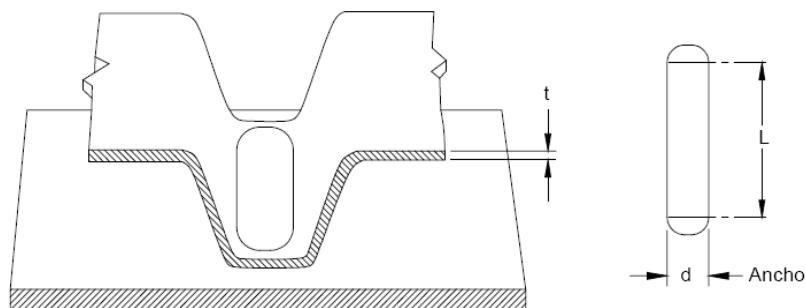
Dentro de los sistemas de tableros, en las conexiones solapadas de los laterales, la resistencia nominal a la tracción de la unión soldada debe ser igual al 70 por ciento de los valores anteriores.

Si mediante mediciones se puede demostrar que utilizando un procedimiento de soldadura dado se obtendrá un mayor diámetro efectivo,  $d_e$ , o un mayor diámetro medio,  $d_a$ , según corresponda, este mayor diámetro se puede utilizar siempre que se siga el procedimiento de soldadura utilizado para las mismas.

### 5.3.2.2 Cordones de soldadura por arco [AISI E2.3]

Los cordones de soldadura por arco (figura 5.9) cubiertos por la Especificación AISI [4], se aplican a las siguientes uniones:

- a. Plancha a miembro de apoyo de mayor espesor en posición plana.
- b. Plancha a plancha en posición horizontal o plana.



**Figura 5.9:** Cordón de soldadura por arco – Plancha a miembro de apoyo en posición plana [4]

La resistencia nominal al corte,  $P_n$ , de los cordones de soldadura por arco se debe determinar utilizando el menor valor de:

$$(a) \quad P_n = \left[ \frac{\pi d_e^2}{4} + L d_e \right] 0.75 F_{XX} \quad (\text{AISI E2.3-1})$$

$$(b) \quad P_n = 2.5 t F_u (0.25 L + 0.96 d_a) \quad (\text{AISI E2.3-2})$$

$$\Phi = 0.60 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

Donde:

$P_n$  = Resistencia nominal al corte de un cordón de soldadura por arco.

$d$  = Ancho del cordón de soldadura por arco.

$L$  = Longitud del cordón de soldadura por arco excluyendo los extremos redondeados.

(Para fines de cálculo,  $L$  no debe ser mayor que  $3d$ )

$d_a$  = Ancho promedio del cordón de soldadura por arco.

Donde:

$$d_a = (d - t) \text{ para una sola plancha, y} \quad (\text{AISI E2.3-3})$$

$$(d - 2t) \text{ para doble plancha} \quad (\text{AISI E2.3-4})$$

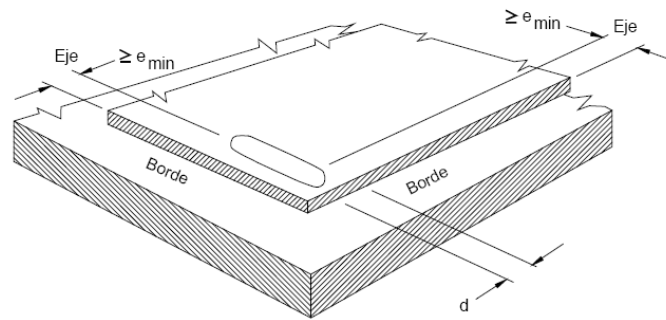
$d_e$  = Ancho efectivo del cordón de soldadura por arco en las superficies fundidas.

$$d_e = 0.7d - 1.5 t \quad (\text{AISI E2.3-5})$$

$F_{XX}$  = Denominación de la resistencia del metal de relleno en la clasificación de electrodos AWS [7]

$F_u$  = Resistencia a la tracción

La mínima distancia al borde debe ser igual a la determinada para el punto de soldadura por arco (figura 5.10).



**Figura 5.10:** Distancias a los bordes para cordones de soldadura por arco [4]

### 5.3.2.3 Soldaduras de ranura biselada [AISI E2.3]

Las soldaduras de ranura biselada cubiertas en la Especificación AISI [4] se aplican a la soldadura de uniones en cualquier posición, ya sea:

1. Plancha a plancha para soldaduras de ranura biselada en V, o
2. Plancha a plancha para soldaduras de ranura biselada, o
3. Plancha a miembro de acero de mayor espesor para soldaduras de ranura biselada.

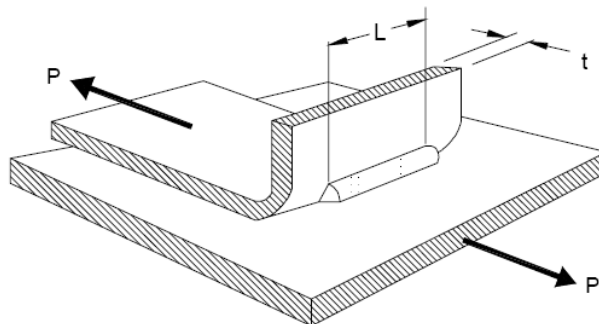
La resistencia nominal al corte,  $P_n$ , de una soldadura de ranura biselada se debe determinar de la siguiente manera:

a. *Para soldaduras de ranura biselada, carga transversal* (figura 5.11):

$$P_n = 0.833tLF_u \quad (\text{AISI E2.5-1})$$

$$\Phi = 0.55 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$



**Figura 5.11:** Soldadura de ranura biselada [4]

b. Para soldaduras de ranura biselada, carga longitudinal (figuras 5.12 a 5.17):

1. Para  $t \leq t_w < 2t$  o si la altura del labio rigidizador,  $h$ , es menor que la longitud de la soldadura,  $L$ :

$$P_n = 0.75tLF_u \quad (\text{AISI E2.5-2})$$

$$\Phi = 0.55 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

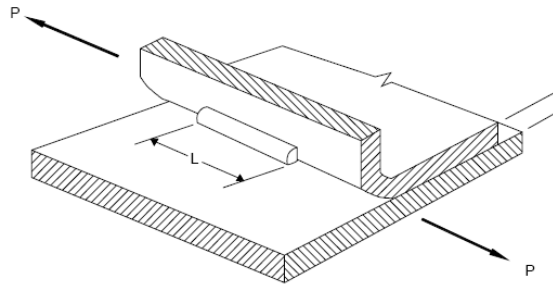


Figura 5.12: Corte en una soldadura de ranura biselada [4]

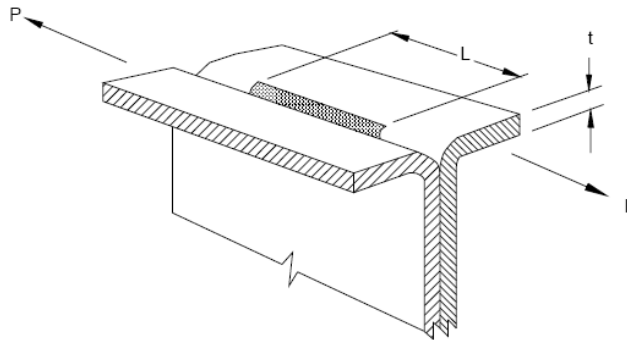


Figura 5.13: Corte en una soldadura de ranura biselada en V [4]

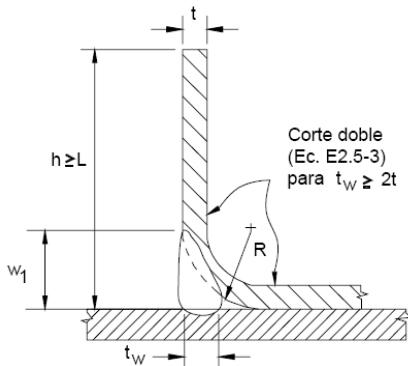


Figura 5.14: Soldadura de ranura biselada (Emparejada al nivel de la superficie,  $w_1 = R$ )

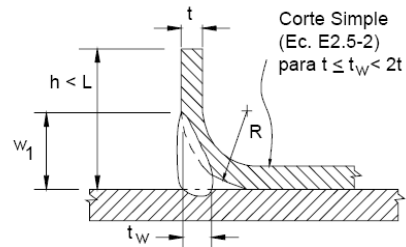
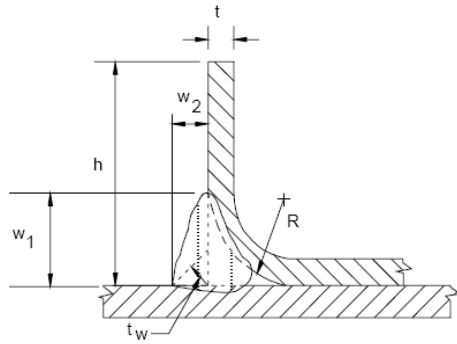
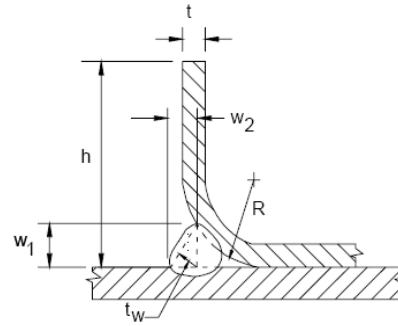


Figura 5.15: Soldadura de ranura biselada (Emparejada al nivel de la superficie,  $w_1 = R$ )



**Figura 5.16:** Soldadura de ranura biselada (No emparejada al nivel de la superficie,  $w_1 > R$ )



**Figura 5.17:** Soldadura de ranura biselada (No emparejada al nivel de la superficie,  $w_1 < R$ )

2. Para  $t_w \geq 2t$  y la altura del labio rigidizador,  $h$ , es mayor o igual que la longitud de la soldadura,  $L$ :

$$P_n = 1.50tL F_u \quad (\text{AISI E2.5-3})$$

$$\Phi = 0.55 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

Además, si  $t > 0.15$  pulg (3.81 mm), la resistencia nominal determinada anteriormente no debe superar el siguiente valor de  $P_n$ :

$$P_n = 0.75t_w L F_{XX} \quad (\text{AISI E2.5-4})$$

$$\Phi = 0.60 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

Donde:

$P_n$  = Resistencia nominal limitante de la soldadura

$h$  = Altura del labio rigidizador

$L$  = Longitud de la soldadura

$t_w$  = Garganta efectiva de una soldadura de ranura biselada emparejada al nivel de la superficie (figuras 5.14 y 5.15)

Para soldadura de ranura biselada =  $5/16 R$

Para soldadura de ranura biselada en V =  $1/2 R$  ( $3/8 R$  cuando  $R > 1/2$  pulg (12.7 mm))

= Garganta efectiva de una soldadura de ranura biselada no emparejada al nivel de la superficie =  $0.707w_1$  ó  $0.707w_2$  – Cualquiera sea el que resulte menor (figuras 5.16 y 5.17)

= Estará permitida una garganta efectiva mayor que las anteriores si las mediciones muestran que con el procedimiento de soldadura a utilizar se obtienen mayores valores de  $t_w$  de manera consistente.

$R$  = Radio de la superficie curva exterior

$w_1$  y  $w_2$  = Cantos de la soldadura (figuras 5.16 y 5.17)

$F_{XX}$  = Denominación de la resistencia del metal de relleno en la clasificación de electrodos AWS [7]

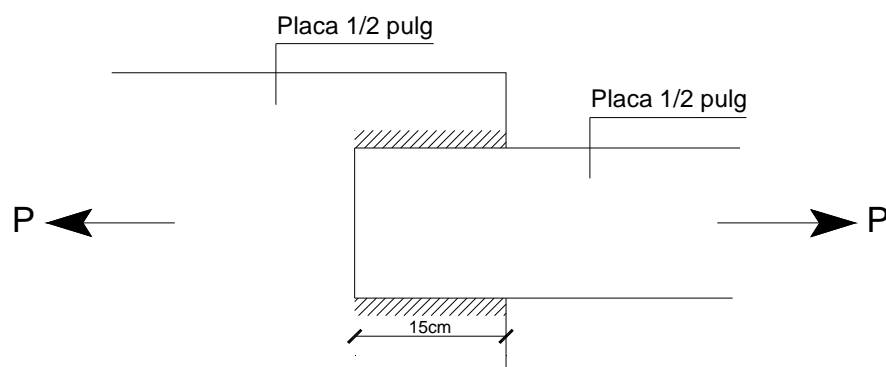
$F_u$  = Resistencia a la tracción

## 5.4 DISEÑO DE SOLDADURA TAPÓN Y DE RANURA

En función de los criterios de diseño expuestos en esta parte, se presentan ejemplos de cálculo de soldadura de tapón y de ranura, en los cuales se exponen los procedimientos de diseño empleados para determinar la resistencia de varias conexiones con este tipo de soldadura. Se aplican las Especificaciones AISC [1] y AISI [4], de acuerdo a los requerimientos de los ejemplos.

### **Ejemplo 5.1:**

*Aplicando las Especificaciones AISC, diseñar los filetes necesarios para conectar las placas de la figura 5.18, en donde por limitación de espacio las mismas sólo pueden traslaparse 15 cm. Las placas son de acero A36 ( $F_y = 36$  ksi,  $F_u = 58$  ksi), los electrodos E70 y se aplicará un proceso de soldadura de arco protegido SMAW. La resistencia requerida es:  $P_{C. MUERTA} (D) = 30.00$  t,  $P_{C. VIVA} (L) = 40.00$  t*



**Figura 5.18:** Conexión para ejemplo 5.1

**Solución:**

Para las placas de la conexión:

$$F_y = 36 \text{ ksi} = 2540 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 58 \text{ ksi} = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

Y para la soldadura:

$$F_{EXX} = 70 \text{ ksi} = 4930 \text{ kg/cm}^2$$

**1. Resistencia requerida****LRFD:**

$$P_{u1} = 1.2 D + 1.6 L = 1.2(30.00) + 1.6(40.00) = 100.00 \text{ t}$$

**ASD:**

$$P_{a1} = D + L = (30.00) + (40.00) = 70.00 \text{ t}$$

**2. Resistencia de la soldadura de filete**

$$\text{Tamaño máximo de la soldadura} = \frac{1}{2} - \frac{1}{16} = \frac{7}{16} \text{ pulg} = 1.111 \text{ cm}$$

$$\text{Espesor de la garganta efectiva} = (0.707)(1.111) = 0.785 \text{ cm}$$

Resistencia nominal de las soldaduras de filete :

$$R_n = F_w A_w = (0.60 \times 4930)(2 \times 15 \times 0.785) = 69661 \text{ kg} = 69.66 \text{ t}$$

Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.75$

$$\Phi R_n = (0.75)(69.66) = 52.25 \text{ t} < 100.00 \text{ t}$$

Por tanto se incluirá una soldadura de ranura o muesca

Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 2.00$

$$R_n / \Omega = \frac{69.66}{2.00} = 34.83 \text{ t} < 70.00 \text{ t}$$

Por tanto se incluirá una soldadura de ranura o muesca

### 3. Diseño de soldadura de ranura o muesca

$$\text{Ancho mínimo de la ranura} = \frac{1}{2} + \frac{5}{16} = \frac{13}{16} \text{ pulg} = 2.064 \text{ cm}$$

$$\text{Ancho máximo de la ranura} = \left(2 \frac{1}{4}\right) \left(\frac{1}{2}\right) = 1 \frac{1}{8} \text{ pulg} = 2.858 \text{ cm}$$

Se revisará con un ancho de ranura de 1 pulg = 2.54 cm

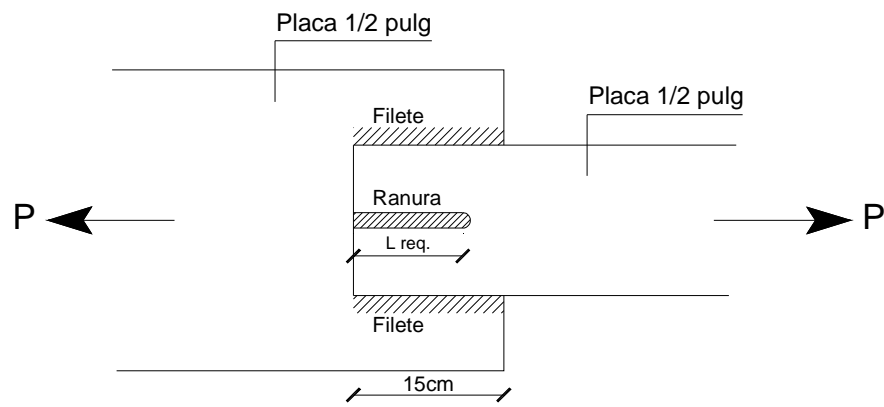


Figura 5.19: Ubicación de ranura para conexión de ejemplo 5.1

*Diseño de ranura según LRFD:*

$$\Phi R_n \text{ para toda la soldadura} = 100 \text{ t}$$

$$52.25 + \Phi(R_n \text{ de la soldadura de ranura}) = 100$$

$$52.25 + (0.75)(2.54 \times L \times 0.6 \times 4.930) = 100$$

$$L = 8.47 \text{ cm} = L_{\text{req.}}$$

Por tanto se hará una ranura de  $L=8.50\text{cm}$  y ancho= $2.54\text{cm}$

*Diseño de ranura según ASD:*

$$R_n / \Omega \text{ para toda la soldadura} = 70 \text{ t}$$

$$34.83 + (R_n / \Omega \text{ de la soldadura de ranura}) = 70$$

$$34.83 + \frac{2.54 \times L \times 0.6 \times 4.930}{2.00} = 70$$

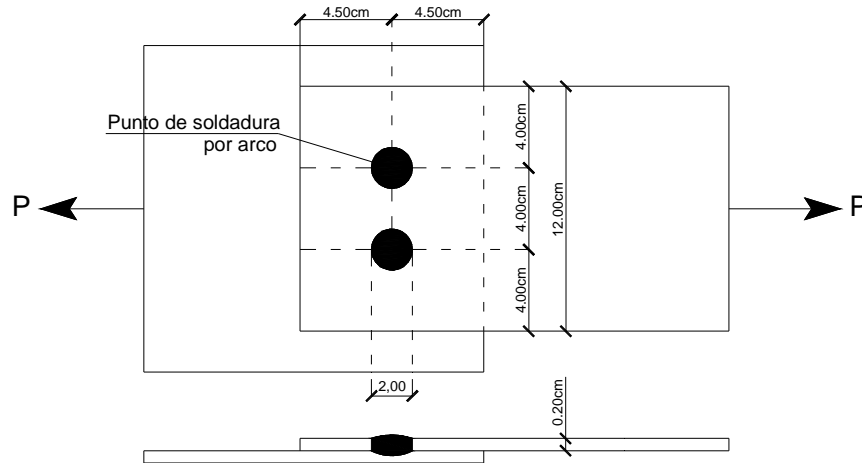
$$L = 9.36 \text{ cm} = L_{\text{req.}}$$

Por tanto se hará una ranura de  $L=9.50\text{cm}$  y ancho= $2.54\text{cm}$



### **Ejemplo 5.2:**

Aplicando las Especificaciones AISI, determinar la resistencia de diseño  $\Phi P_n$  y la resistencia admisible  $P_n/\Omega$  de la conexión de la figura 5.20. Considerar  $F_y = 36 \text{ ksi}$ ,  $F_u = 58 \text{ ksi}$ ,  $E = 29500 \text{ ksi}$  y electrodos E60.



**Figura 5.20:** Conexión para ejemplo 5.2

### ***Solución:***

Para las placas de la conexión:

$$F_y = 36 \text{ ksi} = 2540 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 58 \text{ ksi} = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 29500 \text{ ksi} = 2078000 \text{ kg/cm}^2$$

Y para la soldadura:

$$F_{xx} = 60 \text{ ksi} = 4230 \text{ kg/cm}^2$$

#### **1. Dimensiones de la soldadura**

$$d = 2.00 \text{ cm}$$

$$d_a = d - t = 2.00 - 0.20 = 1.80 \text{ cm}$$

$$d_e = 0.7d - 1.5t \leq 0.55 d$$

$$d_e = 0.7(2.00) - 1.5(0.20) = 1.10 \text{ cm} > 0.95 \text{ cm} \text{ (3/8 pulg)} \quad \text{(OK)}$$

$$0.55 d = 0.55(2.00) = 1.10 \text{ cm} \quad \text{(OK)}$$

## 2. Resistencia basada en la resistencia de la soldadura

$$P_n = \frac{\pi d_e^2}{4} F_{xx}$$

$$P_n = \frac{\pi(1.10)^2}{4} (0.75)(4230)(2) = 6030 \text{ kg} = 6.03 \text{ t}$$

Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.60$

$$\Phi P_n = (0.60)(6.03) = 3.62 \text{ t} \quad \leftarrow \text{PREDOMINA}$$

Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 2.50$

$$P_n / \Omega = \frac{6.03}{2.50} = 2.41 \text{ t} \quad \leftarrow \text{PREDOMINA}$$

## 3. Resistencia basada en la resistencia de la placa

$$d_a / t = 1.80 / 0.20 = 9.00$$

$$0.815 \sqrt{(E/F_u)} = 0.815 \sqrt{(2078000/4100)} = 18.37$$

$$\text{Para } (d_a / t) \leq 0.815 \sqrt{(E/F_u)}$$

$$P_n = 2.20 t d_a F_u = (2.20)(0.20)(1.80)(4100)(2) = 6494 \text{ kg} = 6.49 \text{ t}$$

Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.60$

$$\Phi P_n = (0.60)(6.49) = 3.89 \text{ t}$$

Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 2.50$

$$P_n / \Omega = \frac{6.49}{2.50} = 2.60 \text{ t}$$

## 4. Resistencia basada en la distancia al borde y requerimientos de espaciamiento

a.  $F_u / F_y = 4100 / 2540 = 1.61 > 1.08$

$$\Phi = 0.70 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

Según LRFD:

$$e_{\min} = \frac{P_u}{\phi F_u t} \rightarrow P_n = e_{\min} \phi F_u t = (4.50)(0.70)(4100)(0.20) = 2583 \text{ kg} = 2.58 \text{ t}$$

$$\text{Para 2 soldaduras: } P_u = 2(2.58) = 5.16 \text{ t}$$

Según ASD:

$$e_{\min} = \frac{P \Omega}{F_u t} \rightarrow P = \frac{e_{\min} F_u t}{\Omega} = \frac{(4.50)(4100)(0.20)}{2.00} = 1845 \text{ kg} = 1.85 \text{ t}$$

$$\text{Para 2 soldaduras: } P = 2(1.85) = 3.70 \text{ t}$$

- b. La distancia al borde no debe ser menor a 1.5d  
 $1.5d = 1.5(2.00) = 3.00 \text{ cm} < 4.50 \text{ cm}$  **(OK)**
- c. Distancia libre entre soldaduras no menor a 1.0d  
 $1.0d = 1.0(2.00) = 2.00 \text{ cm}$   
Distancia libre =  $4.00 - 2(2.00/2) = 2.00 \text{ cm} \geq 2.00 \text{ cm}$  **(OK)**
- d. Distancia libre entre soldaduras y extremo de miembro no menor a 1.0d  
 $1.0d = 1.0(2.00) = 2.00 \text{ cm}$   
Distancia libre =  $4.50 - (2.00/2) = 3.50 \text{ cm} \geq 2.00 \text{ cm}$  **(OK)**
- e. Placa conectada más delgada  
 $t = 0.20 \text{ cm} = 2.0 \text{ mm} < 3.81 \text{ mm (0.15 pulg)}$  **(OK)**

#### 5. Requerimiento de arandela en soldadura

$$t = 0.20 \text{ cm} = 2.0 \text{ mm} > 0.711 \text{ mm (0.028 pulg)}$$

No se requiere arandela en soldadura

#### 6. Resistencia a la tracción de la placa

$$T_n = A_n F_y = (12.00 \times 0.20)(2540) = 6096 \text{ kg} = 6.10 \text{ t}$$

Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi_t = 0.95$

$$\Phi_t T_n = (0.95)(6.10) = 5.80 \text{ t}$$

Resistencia admisible ASD:  $\Omega_t = 1.67$

$$T_n / \Omega_t = \frac{6.10}{1.67} = 3.65 \text{ t}$$

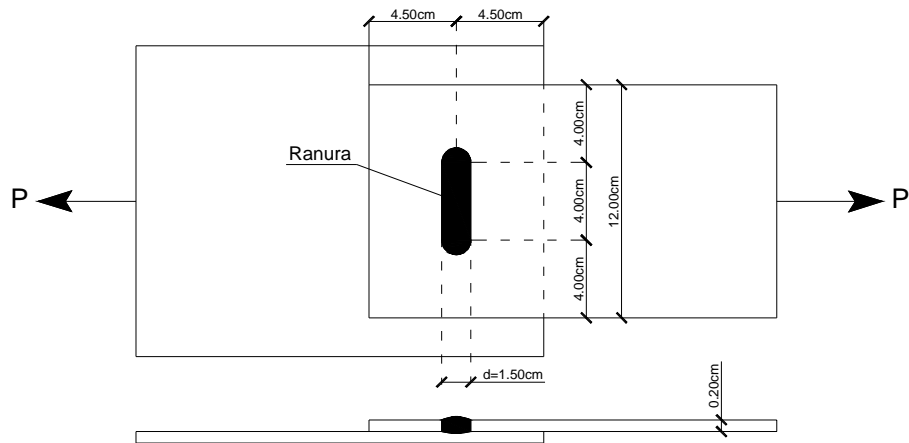
Por tanto

Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi P_n = 3.62 \text{ t}$

Resistencia admisible ASD:  $P_n / \Omega = 2.41 \text{ t}$

### **Ejemplo 5.3:**

Aplicando las Especificaciones AISI, determinar si la conexión de la figura 5.21, está en capacidad de transmitir la resistencia requerida, con ayuda de un cordón de soldadura por arco de ancho igual a 1.50 cm. Considerar  $F_y = 36 \text{ ksi}$ ,  $F_u = 58 \text{ ksi}$  y electrodos E60. La resistencia requerida es:  $P = 1.80 \text{ t}$  (ASD) y  $P_u = 2.56 \text{ t}$  (LRFD).



**Figura 5.21:** Conexión para ejemplo 5.3

### **Solución:**

Para las placas de la conexión se tiene:

$$F_y = 36 \text{ ksi} = 2540 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 58 \text{ ksi} = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

Y para la soldadura:

$$F_{XX} = 60 \text{ ksi} = 4230 \text{ kg/cm}^2$$

#### **1. Resistencia de la conexión basada en la resistencia de la soldadura**

$$L = 4.00 \text{ cm} < 3d \rightarrow 3d = 3 \times 1.50 = 4.50 \text{ cm} \quad \text{(OK)}$$

$$d_a = d - t = 1.50 - 0.20 = 1.30 \text{ cm}$$

$$d_e = 0.7d - 1.5t = (0.7 \times 1.50) - (1.5 \times 0.20) = 0.75 \text{ cm}$$

$$P_n = \left[ \frac{\pi d_e^2}{4} + L d_e \right] 0.75 F_{xx}$$

$$P_n = \left[ \frac{\pi(0.75)^2}{4} + (4.00)(0.75) \right] (0.75)(4230) = 10919 \text{ kg} = 10.92 \text{ t}$$

*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.60$*

$$\Phi P_n = (0.60)(10.92) = 6.55 \text{ t}$$

*Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 2.50$*

$$P_n / \Omega = \frac{10.92}{2.50} = 4.37 \text{ t}$$

## 2. Resistencia de la conexión basada en la resistencia de la placa

$$P_n = 2.5 t F_u (0.25L + 0.96d_a)$$

$$P_n = (2.5)(0.20)(4100)(0.25 \times 4.00 + 0.96 \times 1.30) = 4608 \text{ kg} = 4.61 \text{ t}$$

*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi = 0.60$*

$$\Phi P_n = (0.60)(4.61) = 2.77 \text{ t} > 2.56 \text{ t}$$

*Resistencia admisible ASD:  $\Omega = 2.50$*

$$P_n / \Omega = \frac{4.61}{2.50} = 1.84 \text{ t} > 1.80 \text{ t}$$

## 3. Mínima distancia en la línea de fuerza hacia el extremo

a.  $F_u / F_y = 4100 / 2540 = 1.61 > 1.08$

$$\Phi = 0.70 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

Según LRFD:

$$e_{\min} = \frac{P_u}{\Phi F_u t} = \frac{2.56}{(0.70)(4.10)(0.20)} = 4.46 \text{ cm} < 4.50 \text{ cm}$$

Según ASD:

$$e_{\min} = \frac{P \Omega}{F_u t} = \frac{(1.80)(2.00)}{(4.10)(0.20)} = 4.39 \text{ cm} < 4.50 \text{ cm}$$

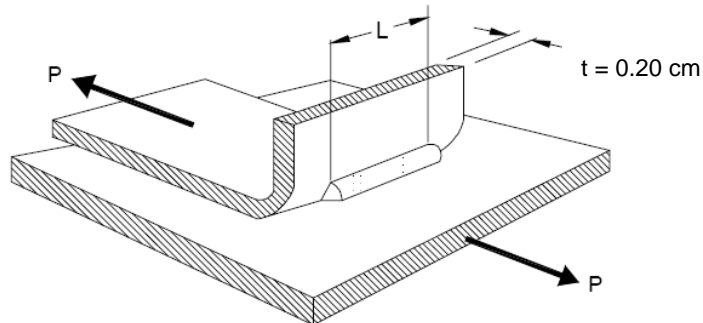
- b. La distancia al borde no debe ser menor a  $1.5d$   
 $1.5d = 1.5(1.50) = 2.25 \text{ cm} < 4.50 \text{ cm}$       **(OK)**
- c. Distancia libre entre soldaduras y extremo de miembro no menor a  $1.0d$   
 $1.0d = 1.0(1.50) = 1.50 \text{ cm}$   
 Distancia libre =  $4.50 - 0.75 = 3.75 > 1.50$       **(OK)**

Por tanto, la conexión si está en capacidad de transmitir la resistencia requerida.

**Ejemplo 5.4:**

Aplicando las Especificaciones AISI, diseñar la conexión de la figura 5.22, para que transmita la resistencia requerida. Considerar  $F_y = 36 \text{ ksi}$ ,  $F_u = 58 \text{ ksi}$  y electrodos E60.

La resistencia requerida es:  $P_{C. MUERTA (D)} = 1.00 \text{ t}$   
 $P_{C. VIVA (L)} = 2.00 \text{ t}$



**Figura 5.22:** Conexión para ejemplo 5.4 [4]

**Solución:**

Para las placas de la conexión:

$$F_y = 36 \text{ ksi} = 2540 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 58 \text{ ksi} = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

Y para la soldadura:

$$F_{XX} = 60 \text{ ksi} = 4230 \text{ kg/cm}^2$$

## 1. Resistencia requerida

### LRFD:

Según AISI [4] A6.1.2, aplican las combinaciones de carga:

$$P_{u1} = 1.4 D + L = 1.4(1.00) + (2.00) = 3.40 \text{ t}$$

$$P_{u2} = 1.2 D + 1.6 L = 1.2(1.00) + 1.6(2.00) = 4.40 \text{ t} \quad \leftarrow \text{ PREDOMINA}$$

### ASD:

Según AISI [4] A5.1.2, aplica la combinación de carga:

$$P_1 = D + L = (1.00) + (2.00) = 3.00 \text{ t} \quad \leftarrow \text{ PREDOMINA}$$

## 2. Resistencia de la soldadura de ranura biselada con carga transversal

$$P_n = 0.833tLF_u$$

$$\Phi = 0.55 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

## 3. Cálculo de la longitud L para la soldadura de ranura biselada

### LRFD:

$$P_u \leq \Phi P_n \quad \rightarrow \quad P_u \leq \Phi 0.833tLF_u$$

$$L \geq P_u / [\Phi 0.833tF_u]$$

$$L \geq 4400 / [(0.55)(0.833)(0.2)(4100)] = 11.71 \text{ cm} \quad \rightarrow 12.00 \text{ cm}$$

### ASD:

$$P \leq P_n / \Omega \quad \rightarrow \quad P \leq 0.833tLF_u / \Omega$$

$$L \geq \Omega P / [(0.833)(t)(F_u)]$$

$$L \geq (2.50)(3000) / [(0.833)(0.2)(4100)] = 10.98 \text{ cm} \quad \rightarrow 11.00 \text{ cm}$$

*En la sección 11 de anexos (página 169) se incluye el detalle de datos generados para este tipo de conexión a partir de una hoja de cálculo.*

## 5.5 LIMITACIONES DE DISEÑO CON SOLDADURA DE TAPÓN Y DE RANURA

Según **AISC** [1], **J2-3b**, se detallan las siguientes restricciones para la soldadura de tapón y de ranura:

1. El diámetro de los agujeros para soldadura de tapón no debe ser menor que el espesor de la parte que lo contiene más  $5/16$  pulg (8 mm), redondeado a la siguiente fracción de  $1/16$  pulg (mm exactos o enteros), ni más grande que el mínimo diámetro más  $1/8$  pulg (3 mm) o  $2 \frac{1}{4}$  veces el espesor de la soldadura.
2. El mínimo espaciamiento centro a centro de la soldadura de tapón debe ser cuatro veces el diámetro del agujero.
3. La longitud de la ranura para una soldadura de ranura o muesca no debe exceder diez veces el espesor de la soldadura. El ancho de la ranura no debe ser menor que el espesor de la parte que lo contiene más  $5/16$  pulg (8 mm), redondeado a la siguiente fracción de  $1/16$  pulg (mm exactos o enteros), ni más grande que  $2 \frac{1}{4}$  veces el espesor de la soldadura. Los remates de la ranura deben ser semicirculares o deben tener las esquinas redondeadas con radios no menores que el espesor de la parte contenida, excepto cuando se extiende al borde de la parte.
4. El mínimo espaciamiento de líneas de soldadura de ranura en dirección transversal a sus longitudes debe ser cuatro veces el ancho de la ranura. El mínimo espaciamiento centro a centro en la dirección longitudinal de una línea debe ser dos veces la longitud de la ranura.
5. El espesor de la soldadura de tapón o ranura en material de  $5/8$  pulg (16 mm) o de menor espesor debe ser igual al espesor del material. En material de espesor mayor de  $5/8$  pulg (16 mm), el espesor de la soldadura debe ser al



menos una mitad del espesor del material, pero no menos que 5/8 pulg (16 mm).

Según **AISI** <sup>[4]</sup>, **E2.2**, se detallan las siguientes restricciones para los puntos de soldadura por arco:

1. Los puntos de soldadura por arco permitidos son para soldar una plancha de acero a miembros de apoyo de mayor espesor ubicados en posición plana. No se deben realizar puntos de soldadura por arco si la parte de acero más delgada conectada tiene más de 0.15 pulg (3.81 mm) de espesor, ni a través de una combinación de planchas de acero cuyo espesor total sea superior a 0.15 pulg (3.81 mm).
2. Cuando el espesor de la lámina es menor que 0.028 pulg (0.711 mm) se deben utilizar arandelas para soldaduras (Ver figuras 5.3 y 5.4). Las arandelas para soldaduras deben tener un espesor comprendido entre 0.05 pulg (1.27 mm) y 0.08 pulg (2.03 mm) y un orificio preperforado con un diámetro mínimo de 3/8 pulg (9.53 mm).
3. Los puntos de soldadura por arco se deben especificar mediante el diámetro efectivo mínimo de la superficie fundida,  $d_e$ . El mínimo diámetro efectivo admisible es de 3/8 pulg (9.5 mm).

## CAPÍTULO 6

### 6 SOLDADURA DE RESISTENCIA

#### 6.1 CARACTERÍSTICAS DE LA SOLDADURA DE RESISTENCIA

En este tipo de soldadura los metales se unen sin necesidad de material de aporte, es decir por aplicación de presión y corriente eléctrica sobre las áreas a soldar. La cantidad de calor a aportar, está en función de la resistencia eléctrica sobre dicha área.

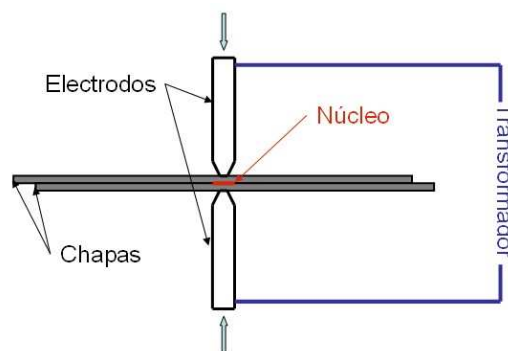


Figura 6.1: Proceso de soldadura de resistencia

Las dos piezas de metal que van a unirse son presionadas juntas por los electrodos de la soldadora de manera que se logre un buen contacto eléctrico. El paso de la corriente eléctrica calienta las piezas hasta que empiecen a derretirse en el punto de contacto; el metal fundido fluye y las piezas se unen (figura 6.1).

El proceso de soldadura más conocido es el de soldadura por puntos, el cual por lo general se aplica en soldadura de chapas o láminas metálicas. La soldadura se limita a uno o varios puntos en los que las dos piezas se superponen una con la otra.

#### 6.2 RESISTENCIA NOMINAL AL CORTE DE LAS SOLDADURAS DE PUNTO

Según AISI [4], E2.6, la resistencia nominal al corte,  $P_n$ , de las soldaduras de punto se debe determinar de la siguiente manera::

$P_n$  = Valor tabulado en la tabla AISI [4] E2.6 (tabla No. 8)

$\Phi = 0.65$  (LRFD)

$\Omega = 2.50$  (ASD)

**Tabla No.8:** Resistencia Nominal al corte de las soldaduras de punto (tabla AISI [4] E2.6)

Espesor de la plancha exterior más delgada		Resistencia nominal al corte por cada punto		Espesor de la plancha exterior más delgada		Resistencia nominal al corte por punto	
pulg	mm	kips	kN	pulg	mm	kips	kN
0.010	0.25	0.13	0.58	0.080	2.03	3.33	14.81
0.020	0.51	0.48	2.14	0.090	2.29	4.00	17.79
0.030	0.76	1.00	4.45	0.100	2.54	4.99	22.20
0.040	1.02	1.42	6.32	0.110	2.79	6.07	27.00
0.050	1.27	1.65	7.34	0.125	3.17	7.29	32.43
0.060	1.52	2.28	10.14	0.190	4.83	10.16	45.19
0.070	1.78	2.83	12.59	0.250	6.35	15.00	66.72

Las siguientes ecuaciones para la resistencia nominal al corte de las soldaduras de punto fueron desarrolladas para reemplazar los valores tabulados en la tabla No.8.

1. Para 0.01 pulg (0.25 mm)  $\leq t < 0.14$  pulg (3.56 mm):

$$P_n = 144t^{1.47} \quad \text{Para } t \text{ en pulg, y } P_n \text{ en kips} \quad (\text{Ec. 6.1})$$

$$P_n = 5.51t^{1.47} \quad \text{Para } t \text{ en mm, y } P_n \text{ en kN} \quad (\text{Ec. 6.2})$$

2. Para 0.14 pulg (3.56 mm)  $\leq t < 0.18$  pulg (4.57 mm):

$$P_n = 43.4t + 1.93 \quad \text{Para } t \text{ en pulg, y } P_n \text{ en kips} \quad (\text{Ec. 6.3})$$

$$P_n = 7.6t + 8.57 \quad \text{Para } t \text{ en mm, y } P_n \text{ en kN} \quad (\text{Ec. 6.4})$$

Donde:

$t$  = espesor de la plancha exterior más delgada

La tabla No. 8 y las ecuaciones 6.1 a la 6.4 proveen solamente la resistencia nominal al corte de la soldadura de punto. Si se requiere la resistencia a la tracción de la soldadura de punto, ésta puede ser obtenida a través de ensayos o de las siguientes ecuaciones empíricas, para la resistencia a la tracción y al corte, las cuales fueron propuestas por Henschkel:

1. *Resistencia a la tracción:*

$$N = tF_u D \left[ \frac{a}{F_u - b} + c - (fC + gMn) \right] \quad (\text{Ec. 6.5})$$

2. *Resistencia al corte*

$$S = fF_u D \left[ \alpha - \beta \left( C + \frac{Mn}{20} \right) \right] \quad (\text{Ec. 6.6})$$

Donde:

N = Resistencia a la tracción de la soldadura de punto

S = Resistencia al corte de la soldadura de punto

t = Espesor de la plancha

$F_u$  = Resistencia a la tracción de la plancha de acero

C = Contenido de carbono

Mn = Contenido de manganeso

D = Diámetro del punto de soldadura

a, b, c, f, g,  $\alpha$  y  $\beta$  son coeficientes determinados a través de ensayos

### **6.2.1 SEPARACIÓN DE CONEXIONES EN MIEMBROS A COMPRESIÓN**

Cuando los elementos a compresión están unidos a otras secciones a través de conectores, éstos deberán estar espaciados lo suficientemente cerca para proveer integridad estructural a la sección compuesta. Si los conectores están separados adecuadamente, la porción de los elementos a compresión entre filas de conexiones puede ser diseñada como elementos a compresión rigidizados.

En el diseño de conexiones en elementos a compresión, se debe considerar:

1. La resistencia requerida a corte
2. El comportamiento de la columna a pandeo de elementos a compresión entre conexiones
3. Posible pandeo de elementos sin rigidizar entre el centro de las líneas de la conexión y el borde libre.

Según **AISI** [4], **D1.2**, la separación,  $s$ , en la dirección del esfuerzo de soldaduras, que conectan una plancha de refuerzo o un rigidizador no integral comprimido a otro elemento no debe ser mayor que:

- a. La que se requiere para transmitir el corte entre las partes conectadas, con base en la resistencia de cálculo por cada conexión especificada en otras secciones de la presente; o
- b.  $1.16t\sqrt{E/f_c}$ , siendo  $t$  el espesor de la plancha de refuerzo y  $f_c$  la tensión en la plancha de refuerzo bajo la carga de servicio; o
- c. Tres veces el ancho plano,  $w$ , del elemento comprimido no rigidizado más angosto que tributa a las conexiones, pero no es necesario que sea menor que  $1.11t\sqrt{E/F_y}$  si  $w/t < 0.50\sqrt{E/F_y}$ , o  $1.33t\sqrt{E/F_y}$  si  $w/t \geq 0.50\sqrt{E/F_y}$ , a menos que (a) o (b) requieran una separación menor.

De acuerdo con el ítem (a), la separación de conectores para la resistencia requerida a cortante es:

$$s = \frac{(\text{resistencia total a corte de los conectores})(I)}{VQ} \quad (\text{Ec. 6.7})$$

Donde:

$s$  = Separación de conectores

$I$  = Momento de inercia de la sección

$V$  = Cortante total

$Q$  = Momento estático del elemento comprimido siendo conectado alrededor del eje neutro

El requerimiento del ítem (b) está basado en la siguiente fórmula de Euler para pandeo de columnas:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (\text{Ec. 6.8})$$

Donde:

$\sigma_{cr}$  = Esfuerzo crítico de pandeo

E = Módulo de elasticidad

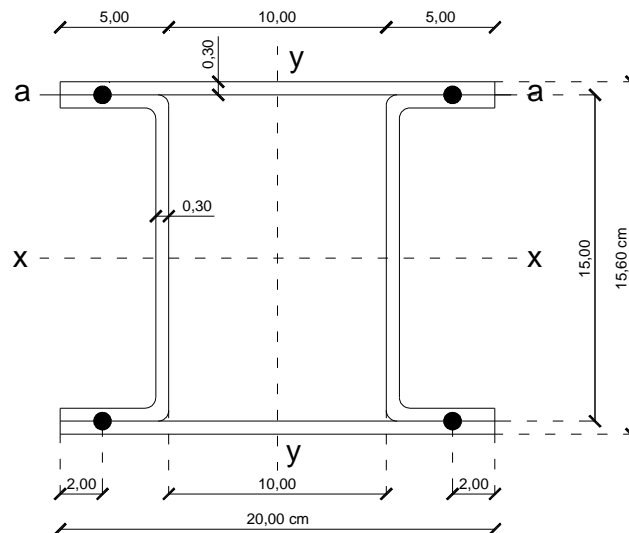
KL = Longitud efectiva de la columna

r = radio de giro de la sección transversal

El requerimiento del ítem (c) es para asegurar la separación de conexiones suficientemente cercanas para prevenir un posible pandeo de los elementos sin rigidizar.

### **Ejemplo 6.1:**

Utilizando las Especificaciones AISI y el método ASD, determinar el espaciamiento requerido de las soldaduras de punto para los miembros comprimidos formados por dos canales y dos planchas de 3 mm de espesor, como se indica en la figura 6.2. Considerar que el miembro llevará una carga axial de 25 t, basada en el punto de fluencia de 36 ksi (2540 kg/cm<sup>2</sup>) y una longitud no arriostrada de 4.50 m.



**Figura 6.2:** Conexión para ejemplo 6.1 [20]

### **Solución:**

Según las dimensiones de la sección se puede determinar:

A (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	r <sub>x</sub> (cm)	r <sub>y</sub> (cm)
26.64	1175.84	979.22	6.64	6.06

La separación de los puntos de soldadura que conectan las planchas de acero a las secciones tipo canal debe ser determinada en base a las siguientes consideraciones:

#### 1. *Espaciamiento requerido basado en la resistencia a cortante*

Como práctica general los miembros armados a compresión deben ser capaces de resistir una fuerza a cortante del 2% de la carga axial aplicada:

$$V = 0.02(25) = 5 \text{ t}$$

$$\text{Resistencia nominal / punto} = P_n = 5.51t^{1.47}$$

$$\text{Resistencia nominal / punto} = P_n = 5.51(3)^{1.47} = 27.70 \text{ kN} = 2.77 \text{ t}$$

$$\text{Resistencia admisible / punto} = P_n/\Omega = 2.77 / 2.50 = 1.11 \text{ t}$$

Si la fuerza de corte es aplicada en la dirección Y, el esfuerzo cortante en la línea a-a es:

$$s = \frac{2(\text{resistencia / punto}) \cdot I_x}{V \cdot Q_x}$$
$$s = \frac{2(1.11)(1175.84)}{(5)(20 \times 0.3)(7.5 + 0.3/2)} = 11.37 \text{ cm}$$

Si la fuerza de corte es aplicada en la dirección X, el esfuerzo cortante es:

$$s = \frac{2(\text{resistencia / punto}) \cdot I_y}{V \cdot Q_y}$$
$$s = \frac{2(1.11)(979.22)}{(5)[(15 \times 0.30 \times 5.15) + (2 \times 0.30 \times 4.70 \times 7.65)]} = 9.72 \text{ cm}$$

2. *Espaciamiento requerido basado en el pandeo tipo columna de las planchas de acero individuales sujetas a compresión*

$$f_c = \frac{P}{A} = \frac{25}{26.64} = 0.94 \text{ t/cm}^2 = 940 \text{ kg/cm}^2$$

$$s = 1.16t\sqrt{E/f_c} = 1.16(0.30)\sqrt{2078000/940} = 16.36 \text{ cm}$$

3. *Espaciamiento requerido basado en el posible pandeo de los elementos sin rigidizar*

$$s = 3 w = 3 \times 2.00 = 6.00 \text{ cm}$$

Además:

$$w / t = 2.00 / 0.30 = 6.67$$

$$0.50\sqrt{E/F_y} = 0.50\sqrt{2078000/2540} = 14.30$$

Como  $w/t < 0.50\sqrt{E/F_y}$ , el espaciamento requerido determinado antes no necesita ser menor que el siguiente valor:

$$1.11t\sqrt{E/F_y} = 1.11(0.30)\sqrt{2078000/2540} = 9.52 \text{ cm}$$

Comparando los espaciamentos requeridos en los numerales 1, 2 y 3, se tiene que un espaciamento de 9.60 cm puede ser empleado para construir la sección.



## **CAPÍTULO 7**

### **7 RESISTENCIA DE LAS CONEXIONES SOLDADAS**

#### **7.1 FILOSOFÍA DE DISEÑO DE LAS CONEXIONES SOLDADAS**

El diseño de conexiones para estructuras es un tema interesante porque requiere de un gran conocimiento de análisis racional para llegar a una solución adecuada. Literalmente existe un infinito número de posibles configuraciones de conexiones, pero sólo un pequeño número de éstas han sido sometidas a ensayos y análisis físicos.

El diseño de conexiones es un arte y una ciencia. La ciencia se relaciona con el equilibrio, estado límite, líneas de acción de cargas y el teorema de análisis límite. El arte incluye la determinación de la más eficiente línea de acción de cargas para la conexión y esto es necesario porque la mayoría de conexiones son estáticamente indeterminadas.

La ciencia del diseño de conexiones se fundamenta en el teorema de análisis de estados límite, el cual dice: Si la línea de acción de las fuerzas dentro de una estructura (o conexión) puede ser encontrada y si la misma está en equilibrio con las cargas externas y las cuales satisfacen los estados límites, entonces la aplicación externa de cargas es menor que o a lo mucho igual a la carga que podría causar falla en la conexión. En otras palabras, alguna solución para una conexión la cual satisface el equilibrio y el estado límite de fluencia, determina una conexión segura.

El arte de las conexiones pretende determinar la distribución de fuerzas internas (o líneas de acción) las cuales maximizan la carga externa con la que una conexión falla. Esta fuerza externa maximizada es también la verdadera carga de falla cuando la distribución de fuerzas internas resulta satisfactoria en compatibilidad dentro de la conexión para satisfacer el equilibrio y los estados límite.

Como procedimiento general para diseñar una conexión se tiene: Se determinan las cargas y se localizan sus líneas de acción. Se hace un gráfico preliminar, preferentemente a escala. La conexión debe ser lo suficientemente compacta para economizar material, que satisfaga las consideraciones aplicables de las especificaciones exigidas. Se calcula la resistencia unitaria, se determina el número de unidades requeridas y se distribuyen de tal forma que se logre la eficiencia máxima de la conexión. Se completa el gráfico preliminar y se verifican las holguras para constatar de que la conexión pueda construirse y montarse de acuerdo al diseño. Finalmente se hace una revisión de los espaciamientos de acuerdo a los requisitos de las especificaciones.

## **7.2 CONSIDERACIONES ECONÓMICAS PARA EL DISEÑO DE CONEXIONES**

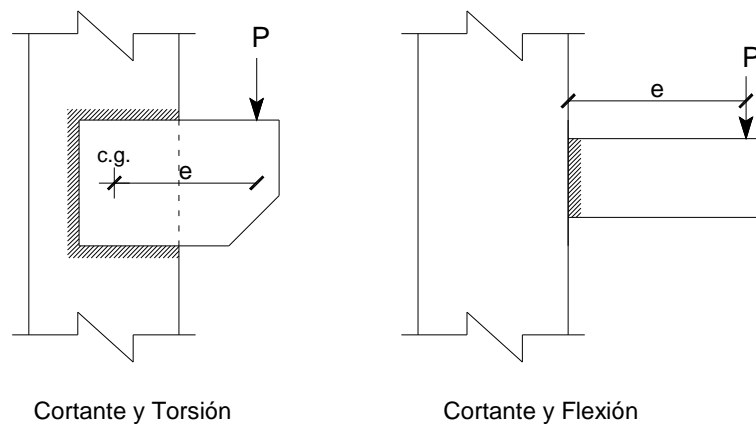
Generalmente se puede lograr más de una solución satisfactoria para una conexión, en consideración a las formas de trabajo y a la aplicación de los principios de diseño de conexiones para lograr una conexión segura. Con el fin de obtener conexiones más económicas se presentan estas consideraciones para su diseño:

1. Para conexiones de cortante, considerar las cargas existentes y permitir el uso de placas y ángulos simples. No especificar la profundidad total de las conexiones o aplicar las tablas de los códigos de diseño.
2. Para conexiones de momento, considerar los momentos y cortantes existentes. Además descomponer el valor total del momento, especificando el momento por carga vertical y el momento debido a carga de viento o sismo, separadamente. En el caso que se requiera rigidizadores, se debe considerar el uso de soldaduras de filete en lugar de soldaduras de penetración completa. Para evitar el uso de rigidizadores se puede considerar un rediseño con columnas más pesadas.

3. Para conexiones arriostradas, además de la fuerza de arriostamiento, se debe proporcionar el cortante de la viga y la fuerza axial transmitida, la misma que debe ser transferida al lado opuesto de la columna. La fuerza transferida no es necesariamente la fuerza axial de la viga que es obtenida del análisis estructural computacional de la estructura. Una mala interpretación de la transferencia de las fuerzas puede llevar a obtener conexiones antieconómicas e inseguras.

### 7.3 CONEXIONES SOLDADAS ANTE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO TORSOR

Con frecuencia las soldaduras de filete son sometidas a cargas que son aplicadas con ciertas excentricidades, resultando soldaduras con acciones de cortante y torsión o con combinaciones de cortante y flexión (figura 7.1).



**Figura 7.1:** Tipos de carga excéntrica

Las especificaciones AISC [1], proveen la resistencia de diseño de las soldaduras, pero no especifican un método de análisis para cuando las mismas se cargan excéntricamente, por tanto impera el buen criterio para decidir cual método aplicar y obtener los resultados más confiables.

### 7.3.1 MÉTODO ELÁSTICO PARA DISEÑO DE CONEXIONES SOLDADAS A CORTANTE Y TORSIÓN

Este método se basa en la no consideración de la fricción o resistencia al deslizamiento entre los elementos conectados y asume a los mismos como absolutamente rígidos, situaciones que convierten a este procedimiento como muy conservador.

Si se analiza la ménsula a cortante y torsión de la figura 7.1, según este método las piezas conectadas se suponen rígidas y el efecto de deformación se presenta en la soldadura. Por tanto el esfuerzo causado por torsión puede calcularse con la siguiente expresión:

$$f = \frac{T \cdot d}{J} \quad (\text{Ec. 7.1})$$

Donde:

f = esfuerzo ocasionado por torsión

T = par de torsión

d = distancia del centro de gravedad de la soldadura al punto considerado

J = Momento polar de inercia de la soldadura

En la práctica resulta más conveniente descomponer la fuerza en sus componentes horizontal y vertical:

$$f_h = \frac{Tv}{J} \quad f_v = \frac{Th}{J} \quad (\text{Ec. 7.2})$$

Donde:

v = proyección vertical de la distancia d

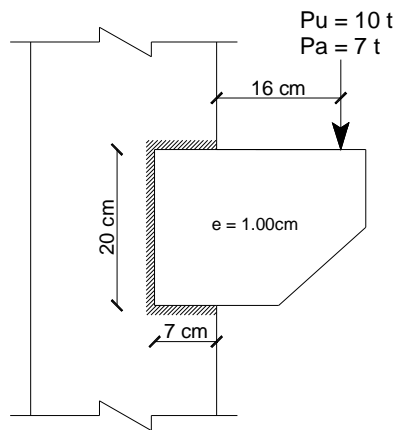
h = proyección horizontal de la distancia d

Estas componentes se deben combinar con el esfuerzo directo de corte usual, el mismo que se asume igual a la reacción dividida entre la longitud total de las soldaduras.

Para efectos de simplificación de cálculos, resulta más conveniente analizar una soldadura de una pulgada (o un centímetro) y determinar los esfuerzos para esta dimensión, considerando que si la soldadura estuviera sobreesforzada se analizaría una soldadura más grande y si la misma estuviera subesforzada una más pequeña.

**Ejemplo 7.1:**

*Aplicando las Especificaciones AISC y el método elástico de diseño, para la ménsula de la figura 7.2, determinar el tamaño de la soldadura de filete requerido, utilizando electrodos E70 y un proceso de soldadura de arco protegido SMAW. Las piezas son de acero A36.*



**Figura 7.2:** Conexión para ejemplo 7.1

**Solución:**

*Para los miembros de la conexión:*

$$F_y = 36 \text{ ksi} = 2540 \text{ kg/cm}^2$$

*Y para la soldadura:*

$$F_{EXX} = 70 \text{ ksi} = 4930 \text{ kg/cm}^2$$

Inicialmente se asume una soldadura de 1 cm:

$$\text{Por tanto: } A = 34 \text{ cm}^2$$

$$\bar{x} = \frac{(7.00)(3.50)(2)}{34} = 1.44 \text{ cm}$$

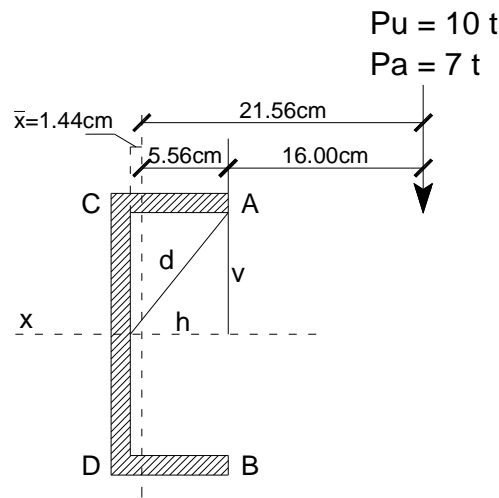


Figura 7.3: Cordón de soldadura de ejemplo 7.1

$$I_x = \left( \frac{1}{12} \right) (1.00)(20.00)^3 + (2)(7.00)(10.00)^2 = 2066.67 \text{ cm}^4$$

$$I_y = (2) \left( \frac{1}{3} \right) (1.44)^3 + (2) \left( \frac{1}{3} \right) (5.56)^3 + (20.00)(1.00)(1.44)^2 = 158.05 \text{ cm}^4$$

$$J = 2066.67 + 158.05 = 2224.72 \text{ cm}^4$$

Resistencia nominal por cada cm de soldadura:

$$R_n = (0.707)(1.00)(0.60)(4930) = 2091.31 \text{ kg/cm} = 2.09 \text{ t/cm}$$

### **Método ASD $\Omega = 2.00$**

1. Resistencia admisible:

$$\frac{R_n}{\Omega} = \frac{2091.31}{2.00} = 1045.66 \text{ kg/cm} = 1.045 \text{ t/cm}$$

2. Fuerzas en puntos C y D:

$$f_h = \frac{(7.00 \times 21.56)(10.00)}{2224.72} = 0.68 \text{ t/cm}^2$$

$$f_v = \frac{(7.00 \times 21.56)(1.44)}{2224.72} = 0.10 \text{ t/cm}^2$$

$$f_s = \frac{7.0t}{34\text{cm}^2} = 0.206 \text{ t/cm}^2$$

$$f_r = \sqrt{(0.10 + 0.206)^2 + (0.68)^2} = 0.75 \text{ t/cm}^2$$

$$\text{Tamaño} = \frac{0.75}{1.045} = 0.72 \text{ cm}$$

3. *Fuerzas en puntos A y B:*

$$f_h = \frac{(7.00 \times 21.56)(10.00)}{2224.72} = 0.68 \text{ t/cm}^2$$

$$f_v = \frac{(7.00 \times 21.56)(5.56)}{2224.72} = 0.38 \text{ t/cm}^2$$

$$f_s = \frac{7.0t}{34\text{cm}^2} = 0.206 \text{ t/cm}^2$$

$$f_r = \sqrt{(0.38 + 0.206)^2 + (0.68)^2} = 0.90 \text{ t/cm}^2$$

$$\text{Tamaño} = \frac{0.90}{1.045} = 0.86 \text{ cm}$$

4. *Tamaño de soldadura:* Usar soldadura de filete de 1cm, electrodos E70 y un proceso SMAW

### **Método LRFD $\phi = 0.75$**

1. *Resistencia de diseño:*

$$\Phi R_n = (0.75)(2091.31) = 1568.48 \text{ kg/cm} = 1.57 \text{ t/cm}$$

2. *Fuerzas en puntos C y D:*

$$f_h = \frac{(10.00 \times 21.56)(10.00)}{2224.72} = 0.97 \text{ t/cm}^2$$

$$f_v = \frac{(10.00 \times 21.56)(1.44)}{2224.72} = 0.14 \text{ t/cm}^2$$

$$f_s = \frac{10.0t}{34\text{cm}^2} = 0.29 \text{ t/cm}^2$$

$$f_r = \sqrt{(0.14 + 0.29)^2 + (0.97)^2} = 1.06 \text{ t/cm}^2$$

$$Tamaño = \frac{1.06}{1.57} = 0.68 \text{ cm}$$

3. *Fuerzas en puntos A y B:*

$$f_h = \frac{(10.00 \times 21.56)(10.00)}{2224.72} = 0.97 \text{ t/cm}^2$$

$$f_v = \frac{(10.00 \times 21.56)(5.56)}{2224.72} = 0.54 \text{ t/cm}^2$$

$$f_s = \frac{10.0t}{34\text{cm}^2} = 0.29 \text{ t/cm}^2$$

$$f_r = \sqrt{(0.54 + 0.29)^2 + (0.97)^2} = 1.28 \text{ t/cm}^2$$

$$Tamaño = \frac{1.28}{1.57} = 0.82 \text{ cm}$$

4. *Tamaño de soldadura:* Usar soldadura de filete de 1cm, electrodos E70 y un proceso SMAW

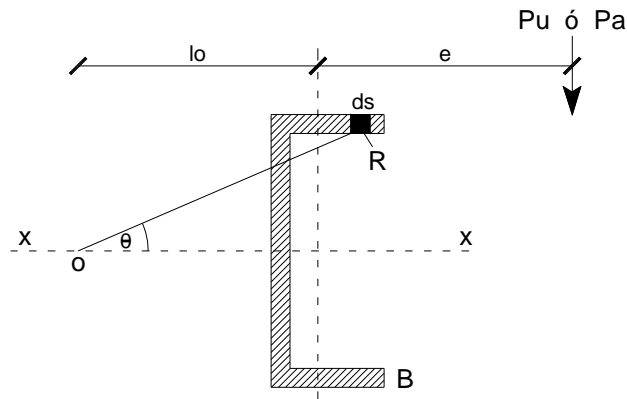
### 7.3.2 MÉTODO DE LA ÚLTIMA RESISTENCIA PARA DISEÑO DE CONEXIONES SOLDADAS A CORTANTE Y TORSIÓN

Un análisis por última resistencia de una conexión con cargas excéntricas es más realista que el método conservativo elástico. En este tipo de conexiones las cargas tienden a producir rotación y traslación relativas entre las partes conectadas por la suelda, es decir la soldadura tiende a rotar alrededor de su centro instantáneo de rotación O. [14]

Si la carga excéntrica  $P_u$  ó  $P_a$  es vertical y considerando que la soldadura es simétrica en referencia al eje horizontal que pasa por su centro de gravedad, el centro instantáneo se localizará en el eje x.



Por tanto, cada elemento diferencial de la soldadura aportará una fuerza resistente  $R$ , la misma que se considera actuando de manera perpendicular a la línea imaginaria trazada del centro instantáneo al centro de gravedad del elemento diferencial considerado (figura 7.4).



**Figura 7.4:** Centro de gravedad instantáneo y elemento diferencial de soldadura [14]

La resistencia y deformación de la soldadura dependen del ángulo  $\theta$ , que la fuerza de cada elemento hace con el eje de ese elemento. Por tanto la deformación de cada elemento es proporcional a su distancia al centro instantáneo.

La deformación  $\Delta_{\max}$ , para un esfuerzo máximo, puede determinarse con la expresión:

$$\Delta_{\max} = 1.087w(\theta + 6)^{-0.65} \leq 0.17w \quad (\text{Ec. 7.3})$$

Donde:

$w$  = tamaño de la pierna de la soldadura

La resistencia nominal al corte de un segmento de soldadura con una deformación  $\Delta$  es:

$$P_n = 0.60F_{\text{EXX}} (1.0 + 0.50\text{sen}^{1.5}\theta)[p(1.9 - 0.9p)]^{0.3} \quad (\text{Ec. 7.4})$$

Donde:

$\theta$  = ángulo de la carga medido desde el eje longitudinal de la soldadura

$p$  = relación de la deformación de un elemento y su deformación con el esfuerzo último

Considerando una ubicación del centro instantáneo, se puede determinar la resistencia nominal  $R_n$  para los diferentes elementos de la soldadura, calculando  $\Sigma R_x$  y  $\Sigma R_y$ , en donde las ecuaciones de equilibrio  $\Sigma M=0$ ,  $\Sigma R_x=0$  y  $\Sigma R_y=0$  deben ser verificadas si es la ubicación correcta del centro instantáneo, caso contrario se debe intentar con una nueva ubicación.

Cuando las ecuaciones de equilibrio sean verificadas, el valor de  $P_u$ , se puede calcular con la expresión:  $\sqrt{(\Sigma R_x)^2 + (\Sigma R_y)^2}$  [14]

La resistencia nominal  $R_n$  de una conexión en particular, puede ser determinada con la siguiente expresión:

$$R_n = C.C_1.D.I \quad (\text{Ec. 7.5})$$

$$\Phi = 0.75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

Donde:

C = coeficiente tabular (tabla 8-8 Manual AISC [2] )

$C_1$  = coeficiente que depende del número de electrodo (tabla No. 9)

D = tamaño de la soldadura en 1/16 de pulgada

I = longitud del tramo de soldadura vertical

**Tabla No.9:** Coeficiente  $C_1$  según la resistencia del electrodo (tabla Manual AISC [2] )

Electrodo	$F_{EXX}$ (ksi)	$C_1$
E60	60	0.857
E70	70	1.00
E80	80	1.03
E90	90	1.16
E100	100	1.21
E110	110	1.34

**Ejemplo 7.2:**

Aplicando las Especificaciones AISC y el método de la última resistencia, para la ménsula de la figura 7.2, determinar el tamaño de la soldadura de filete requerido, utilizando electrodos E70 y un proceso de soldadura de arco protegido SMAW. Las piezas son de acero A36.

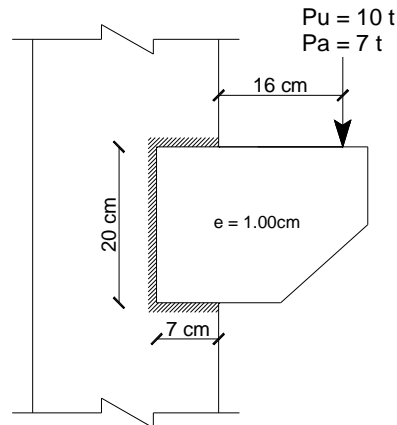


Figura 7.5: Conexión para ejemplo 7.2

**Solución:**

Del ejemplo 7.1, se tiene:

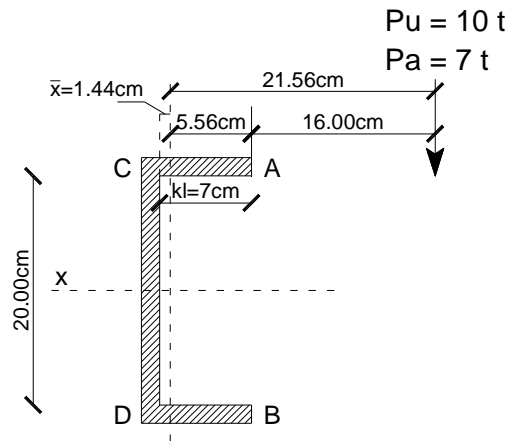


Figura 7.6: Cordón de soldadura para conexión de ejemplo 7.2

Por tanto:

$$e_x = 21.56 \text{ cm}$$

$$l = 20.00 \text{ cm}$$

$$a = \frac{e_x}{l} = \frac{21.56}{20} = 1.10$$

$$k = \frac{7}{20} = 0.40$$

De la tabla 8-8 del Manual AISC [2], para un ángulo  $\theta = 0$ , y luego de un proceso de interpolación se tiene:

$$C = 1.32$$

De la tabla 8-3 del Manual AISC [2], se tiene el valor de  $C_1$ :

$$C_1 = 1.00$$

### **Método ASD $\Omega = 2.00$**

$$D_{\min} = \frac{\Omega P_a}{C.C_1 l} = \text{tamaño de soldadura requerido}$$

$$P_a = 7t = 15.4 \text{ klb}$$

$$l = 20\text{cm} = 8 \text{ pulg}$$

$$D_{\min} = \frac{(2.00)(15.40)}{(1.32)(1.00)(8.00)} = 2.92 \text{ en } 1/16 \text{ pulg}$$

$$D_{\min} = 0.183\text{pulg} = 0.46 \text{ cm}$$

Por tanto se recomienda: Usar soldadura de filete de 0.50cm, electrodos E70 y un proceso SMAW

### **Método LRFD $\phi = 0.75$**

$$D_{\min} = \frac{P_u}{\phi.C.C_1 l} = \text{tamaño de soldadura requerido}$$

$$P_u = 10t = 22.0 \text{ klb}$$

$$l = 20\text{cm} = 8 \text{ pulg}$$

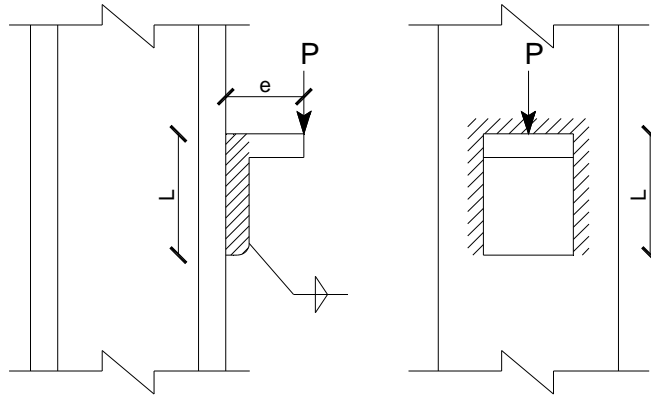
$$D_{\min} = \frac{22}{(0.75)(1.32)(1.00)(8.00)} = 2.77 \text{ en } 1/16 \text{ pulg}$$

$$D_{\min} = 0.174\text{pulg} = 0.44 \text{ cm}$$

Por tanto se recomienda: Usar soldadura de filete de 0.50cm, electrodos E70 y un proceso SMAW

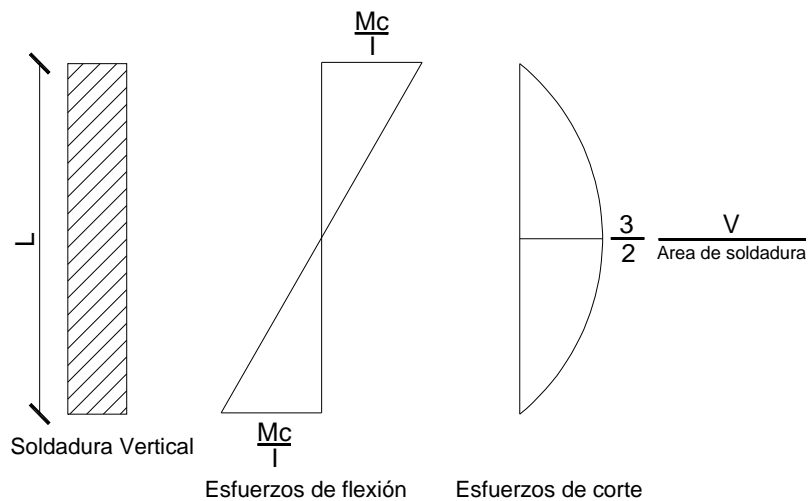
## 7.4 CONEXIONES SOLDADAS ANTE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLEXIONANTE

Un caso característico de una conexión sometida a fuerza cortante y flexión, se presenta en la figura 7.7:



**Figura 7.7:** Conexión sometida a fuerza cortante y flexión [14]

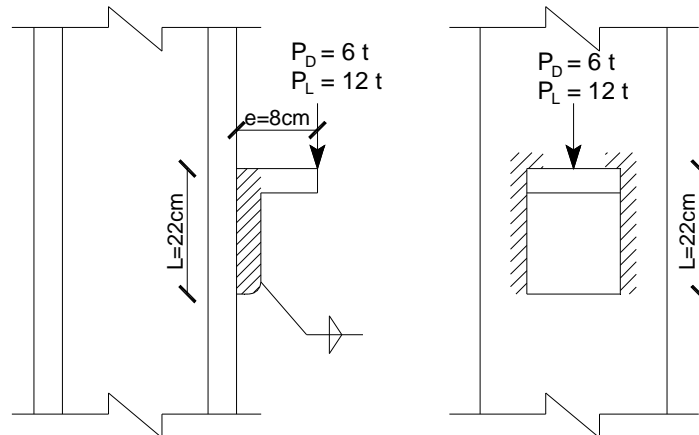
Para soldaduras cortas de este tipo, generalmente se considera una variación uniforme del esfuerzo de corte. Pero si el esfuerzo flector está dado por la fórmula de flexión, el corte no varía uniformemente para las soldaduras verticales, sino en función de una parábola con un valor máximo de  $1 \frac{1}{2}$  veces el valor promedio (figura 7.8).



**Figura 7.8:** Esfuerzos de flexión y esfuerzos de corte [14]

### **Ejemplo 7.3:**

Aplicando las Especificaciones AISC, para la conexión de la figura 7.9, determinar el tamaño de la soldadura, utilizando electrodos E70 y un proceso de soldadura de arco protegido SMAW. Asumir que el espesor de los miembros no influye en el tamaño de la soldadura.



**Figura 7.9:** Conexión para ejemplo 7.3

### **Solución:**

Para la soldadura:

$$F_{EXX} = 70 \text{ ksi} = 4930 \text{ kg/cm}^2$$

Inicialmente se asume soldaduras de filete de 1 cm en ambas piernas:

### **Método ASD $\Omega = 2.00$**

$$P_a = 6 + 12 = 18 \text{ t} = 18000 \text{ kg}$$

$$f_v = \frac{P_a}{A} = \frac{18000}{(2)(22)} = 409.09 \text{ kg/cm}$$

$$f_b = \frac{Mc}{I} = \frac{(18000 \times 8)(11)}{\left(\frac{1}{12}\right)(1)(22)^3 \times 2} = 892.56 \text{ kg/cm}$$

$$f_r = \sqrt{(409.09)^2 + (892.56)^2} = 981.84 \text{ kg/cm}$$

$$W_{\text{req}} = \frac{\Omega f_r}{w \cdot (0.60)(F_{EXX})}$$

$$W_{\text{req}} = \frac{(2.00)(981.84)}{(0.707 \times 1.0)(0.60 \times 4930)} = 0.94 \text{ cm}$$

Por tanto se recomienda: Usar soldadura de filete de 1cm, electrodos E70 y un proceso SMAW

### **Método LRFD $\phi = 0.75$**

$$P_u = (1.2)(6) + (1.6)(12) = 26.4 \text{ t} = 26400 \text{ kg}$$

$$f_v = \frac{P_u}{A} = \frac{26400}{(2)(22)} = 600.00 \text{ kg/cm}$$

$$f_b = \frac{Mc}{I} = \frac{(26400 \times 8)(11)}{\left(\frac{1}{12}\right)(1)(22)^3 \times 2} = 1309.09 \text{ kg/cm}$$

$$f_r = \sqrt{(600.00)^2 + (1309.09)^2} = 1440.04 \text{ kg/cm}$$

$$W_{\text{req}} = \frac{f_r}{(\Phi)(w)(0.60)(F_{\text{EXX}})}$$

$$W_{\text{req}} = \frac{(1440.04)}{(0.75)(0.707 \times 1.0)(0.60 \times 4930)} = 0.92 \text{ cm}$$

Por tanto se recomienda: Usar soldadura de filete de 1cm, electrodos E70 y un proceso SMAW

*En la sección 11 de anexos (página 170) se incluye el detalle de datos generados para este tipo de conexión a partir de una hoja de cálculo.*

## **7.5 CONEXIONES SOLDADAS SISMORRESISTENTES**

La filosofía de diseño estructural para la mayoría de condiciones de carga, tales como: cargas muertas, cargas vivas, viento, sismo y de acuerdo al sistema estructural, incluyen conexiones resistentes con un enfoque esencialmente elástico, con un factor de seguridad para considerar el incremento de carga dentro de un cierto rango.

Pero paralelo a esta filosofía existe otra, que se refiere a la resistencia ante sismos inducidos por movimientos de la tierra, y que ha ido evolucionando y que es continuamente mejorada por los ingenieros estructurales.

Por tanto, las estructuras diseñadas de acuerdo con esta última filosofía, deben estar en capacidad de:

- Resistir un menor nivel de sismo, sin conseguir daño.
- Resistir un nivel moderado de sismo sin daño estructural, pero posiblemente con algunos daños no estructurales.
- Resistir un mayor nivel de sismo (de una intensidad igual al sismo más fuerte) sin colapso, pero posiblemente con algunos daños estructurales y no estructurales.

#### **7.5.1 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO SISMORRESISTENTE DE CONEXIONES SOLDADAS**

La buena práctica de diseño sísmico ha incluido un enfoque para el análisis de ductilidad en miembros y conexiones, especialmente para estructuras de acero, en donde el material base ha sido considerado como el más dúctil de todos los materiales usados para la construcción de edificios. Este enfoque por tanto considera lo siguiente:

- La falla de una conexión entre dos miembros podría producir la separación de los dos elementos y producir un colapso local.
- La respuesta inelástica de los miembros es más fácil de definir y de predicción más confiable.
- La acción inelástica de los miembros de acero generalmente sucede en donde la distribución de esfuerzos de tracción no induce fuerzas que podrían llevar a un estado de tracción triaxial. En estas conexiones se inducen fuerzas significantes que no permiten la fluencia del material.



- Las distribuciones locales de esfuerzos de tracción en las conexiones puede llevar a una solución complicada y muy diferente de los simples modelos usados con frecuencia en el diseño.
- Las fallas de conexiones en estructuras de acero podrían poner en peligro la estabilidad del sistema, por reducción de las restricciones de pandeo proporcionada por las columnas de la estructura.
- La reparación del daño en conexiones puede traer más dificultad y costo, que reparar un miembro.

El método común más empleado para el análisis y que considere el enfoque anterior requiere que las conexiones sean diseñadas para soportar la resistencia esperada de los elementos conectados y la máxima carga local que puede ser emitida a la conexión por el sistema estructural.

En definitiva una filosofía común y de gran aceptación ha sido diseñar la conexión en la cara de la columna para mantenerla normalmente en el rango elástico, y forzar a que la deformación inelástica suceda en la viga. Este diseño es denominado como: diseño por capacidad.

El máximo momento probable y cortante que la viga es capaz de adquirir, son determinados basados en la resistencia probable de la viga. Estos máximos valores luego constituyen las cargas de diseño para la conexión. La conexión a la columna es luego diseñada en función de las propiedades nominales de los materiales.

Por tanto se debe considerar la ubicación de la rótula plástica. Si la rótula plástica se ubica en la cara de la columna ( $x=0$ ), el momento en la cara de la columna,  $M_f$ , será igual al momento probable,  $M_{pr}$ . Sin embargo, se ha demostrado mediante numerosos ensayos, que la rótula plástica en un sistema convencional, se ubica algo apartada de la cara de la columna, a la distancia aproximada  $x=d/3$  a  $d/4$ .

La demanda de momento en la cara de la columna, puede ser determinada según el siguiente procedimiento:

1. Determinar el máximo momento plástico probable de la viga,  $M_{pr}$ .

$$M_{pr} = \beta M_p = \beta Z_b F_y \quad (\text{Ec. 7.6})$$

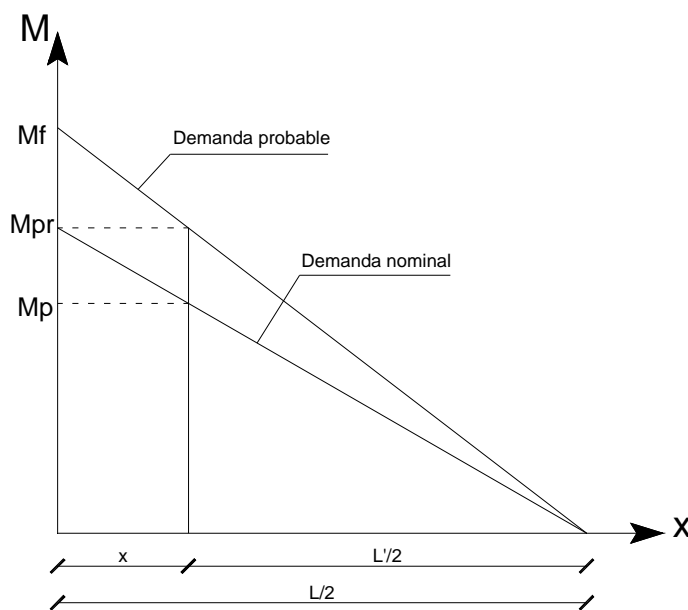
Donde:

$\beta = 1.2$  para acero A572 y A913

$\beta = 1.7$  para acero A36

$Z_b$  = módulo seccional plástico

$F_y$  = esfuerzo de fluencia del acero



**Figura 7.10:** Diagrama de momento sísmico en viga

2. Extrapolar el momento a la cara de la columna desde el punto sísmico de inflexión asumido de la mitad del tramo de la viga, para encontrar el máximo momento de la viga,  $M_f$ :

$$M_f = M_{pr} + V_p x \quad (\text{Ec. 7.7})$$

Donde, el cortante:

$$V_p = \frac{2M_{pr}}{L'} + \text{cargas gravitatorias factorizadas en la ubicación de la rótula} \quad (\text{Ec. 7.8})$$

$$M_f = M_{pr} \left( 1 + \frac{2x}{L'} \right) + \text{momento gravitatorio factorizado en la cara de la columna} \quad (\text{Ec. 7.9})$$

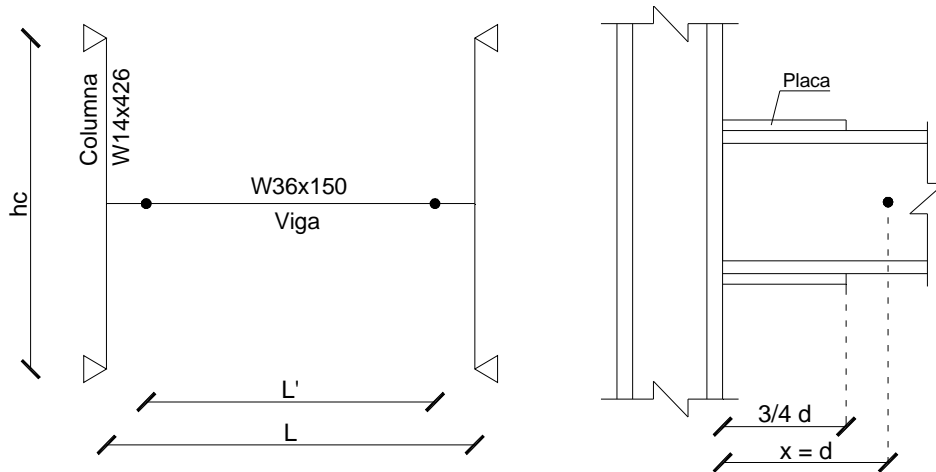
3. La demanda de cortante en la cara de la columna es:

$$V_f = \frac{2M}{L} + \text{cargas gravitatorias factorizadas en la cara de la columna} \quad (\text{Ec. 7.10})$$

Por lo tanto, la capacidad nominal de la conexión en la cara de la columna, debe resistir la demanda de  $M_f$  y  $V_f$ .

**Ejemplo 7.4** [18]:

Aplicando las Especificaciones LRFD, rigidizar la conexión de la figura 7.11, con placas en el extremo superior e inferior de la viga. Considerar electrodos E70, soldadura de penetración completa y acero A572.



**Figura 7.11:** Conexión para ejemplo 7.4 [18]

Se conoce que:

Se trabajará con electrodos E70

$L = 30 \text{ pies} = 360 \text{ pulg}$

$x = d = 35.85$

$L' = L - d_c - 2x = 269 \text{ pulg}$

$h_c = 12 \text{ pies} = 144 \text{ pulg}$

$F_y = 50 \text{ ksi}$

$F_{ye} = 54 \text{ ksi}$

De las tablas del Manual AISC [2] :

Viga W36x150:

$$S_b = 504 \text{ pulg}^3$$

$$Z_b = 581 \text{ pulg}^3$$

$$d = 35.85 \text{ pulg}$$

Columna W14x426:

$$Z_c = 869 \text{ pulg}^3$$

$$d_c = 18.67 \text{ pulg}$$

$$t_p = 1.88 \text{ pulg}$$

$$b_f = 16.70 \text{ pulg}$$

$$t_{cf} = 3.04 \text{ pulg}$$

### **Solución:**

Para el presente caso:

$$\Phi = 0.90$$

$$\beta = 1.2$$

1. Probable demanda de momento en la cara de la columna:

$$M_{pr} = \beta Z_b F_y = (1.2)(581 \text{ pulg}^3)(50 \text{ ksi}) = 34860 \text{ klb.pulg}$$

$$V_p = \frac{2M_{pr}}{L'} = \frac{2(34860 \text{ klb.pulg})}{269 \text{ pulg}} = 259 \text{ klb}$$

$$M_f = M_{pr} + V_p x = 34860 \text{ klb.pulg} + 259 \text{ klb}(35.85 \text{ pulg}) = 44145 \text{ klb.pulg}$$

2. Espesor aproximado de las placas de refuerzo:

$$Z_{req} = \frac{M_f}{F_{yb}} = \frac{44145}{50} = 883 \text{ pulg}^3$$

Se intenta con placas: 1 pulg x 14 pulg x 27 pulg

$$Z_{placa} = (1.0 \text{ pulg})(14.0 \text{ pulg})(35.85 \text{ pulg} + 1.00 \text{ pulg}) = 516 \text{ pulg}^3$$

$$Z_{nuevo} = Z_b + Z_{placa} = 581 \text{ pulg}^3 + 516 \text{ pulg}^3 = 1097 \text{ pulg}^3 > Z_{req} = 883 \text{ pulg}^3 \quad \text{(OK)}$$

3. Revisión del esfuerzo en zona de columna y placa de refuerzo:

$$S_{nuevo} = S_b + S_{placa} = 504 + \frac{14(37.85^3 + 35.85^3)}{6(37.87)} = 1006 \text{ pulg}^3$$

$$f_{tt} = \frac{M_f}{S_{nuevo}} = \frac{44145}{1006} = 43.9 \text{ ksi} \leq \phi F_{ye} = (0.90)(54) = 49.0 \text{ ksi} \quad \text{(OK)}$$

Por tanto se colocará una placa de refuerzo (1 pulg x 14 pulg x 27 pulg) en la parte superior e inferior de la viga.

4. Tamaño de filetes de soldadura (patín de viga y placas) por estimación de la fuerza en la placa:

$$T_{\text{placa}} = f_{tt} A_{\text{placa}} = (43.9 \text{ ksi})(14 \text{ pulg}^2) = 615 \text{ klb}$$

$$L_{\text{soldadura}} = 27.0 \text{ pulg}$$

$$\text{Fuerza/pulg} = \frac{615 \text{ klb}}{27 \text{ pulg}} = 11.40 \text{ klb/pulg}$$

Considerando filetes de 5/8 pulg, la resistencia nominal de la soldadura es:

$$R_n = (0.6)(70)(0.707) \left( \frac{5}{8} \right) (1.00) = 18.55 \text{ klb/pulg}$$

$$\phi R_n = (0.75)(18.55) = 13.91 \text{ klb/pulg} > 11.40 \text{ klb/pulg} \text{ (OK)}$$

5. Revisión de la zona de resistencia:

*Resistencia:*

$$R_v = 0.6 F_y d_c t_p \left( 1 + \frac{3 b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_p} \right)$$

$$\phi R_v = (0.75)(0.6)(50)(18.67)(1.88) \left( 1 + \frac{(3)(16.7)(3.04)^2}{(35.85)(18.67)(1.88)} \right) = 1080 \text{ klb}$$

*Demanda:*

$$V = V_{pz} - V_c = \frac{M_c}{d + t_{\text{placa}}} - \frac{2M_c}{h_c} = M_c \left( \frac{1}{d + t_{\text{placa}}} - \frac{2}{h_c} \right)$$

$$M_c = M_{pr} \left( \frac{L}{L'} \right) = (34860) \left( \frac{360}{269} \right) = 46364 \text{ klb.pulg}$$

$$V = 46364 \left( \frac{1}{36.85} - \frac{2}{144} \right) = 614 \text{ klb} < \phi R_v = 1080 \text{ klb} \text{ (OK)}$$

Por tanto no se requiere doble placa

6. Revisión del requisito de columna fuerte – viga débil

$$\frac{\sum M_{pc}}{\sum M_{pb}} \geq 1$$

$$\sum M_{pc} = \sum Z_c \left( F_y - \frac{P_u}{A_g} \right) = (2Z_c)(0.75F_y) = (2)(869)(0.75)(50) = 65175 \text{ klb.pulg}$$

$$\sum M_{pb} = M_c = 46364 \text{ klb.pulg}$$

$$\frac{\sum M_{pc}}{\sum M_{pb}} = \frac{65175}{46364} = 1.41 > 1.00 \quad \text{(OK)}$$

Por tanto la conexión es satisfactoria

## CAPÍTULO 8

# 8 DISEÑO DE CONEXIONES SOLDADAS PARA ESTRUCTURAS

### 8.1 CONEXIONES SOLDADAS PARA MIEMBROS DE ARMADURAS

Este tipo de conexiones se diseña para transmitir fuerzas axiales. Cuando un miembro estructural es cargado axialmente, el esfuerzo es uniforme sobre la sección transversal y la fuerza resultante puede considerarse que actúa a lo largo del eje de gravedad, que es un eje longitudinal a través del centroide. Por tanto para que el miembro esté cargado concéntricamente en sus extremos, la fuerza resistente resultante proporcionada por la conexión debe también actuar a lo largo de este eje.

En función de lo expuesto anteriormente, se tiene que si el miembro conectado es simétrico, las soldaduras se distribuirán simétricamente y si el miembro no es simétrico, las soldaduras no deben ser simétricas [14].

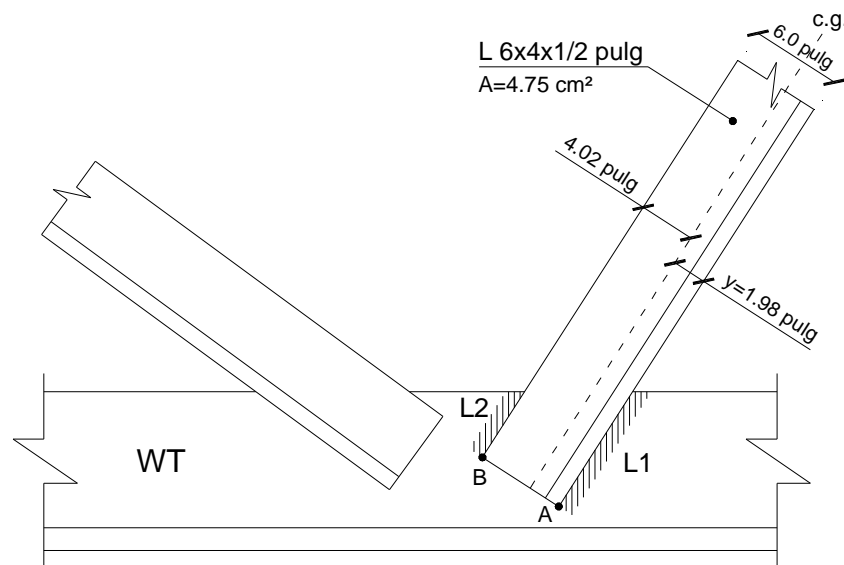
Según **AISC** [1], **J1-2**, las conexiones simples de armaduras deberán ser diseñadas como flexibles.

Según **AISC** [1], **J1-7**, los grupos de soldaduras en los extremos de todo miembro que transmite fuerza axial, deben disponerse de tal manera que el centro de gravedad del grupo coincida con el centro de gravedad del miembro, a menos que se considere el efecto de excentricidad. La provisión anterior no es aplicable a las conexiones de extremo de miembros estáticamente cargados compuestos por un ángulo simple, ángulos dobles y miembros similares.

Según **AISC** [1], **J1-10.3**, se deberá usar conexiones soldadas en todas las estructuras que incluyan grúas de más de 5 toneladas (50 kN) de capacidad: empalmes en armaduras de techo y conexiones de armaduras a columnas.

### **Ejemplo 8.1:**

Aplicando las Especificaciones AISC, un proceso de soldadura SMAW y considerando  $F_y = 50\text{ksi}$ ,  $F_u = 65\text{ ksi}$  y electrodos E70, diseñar los tamaños de la soldadura de filete para el ángulo L 6x4x1/2 pulg trabajando a tracción y en su capacidad total (figura 8.1). Suponer que el miembro estará sometido a repetidas variaciones de esfuerzos, haciendo inconveniente cualquier excentricidad en la conexión. Asumir que el miembro WT tiene suficiente resistencia para desarrollar la resistencia de la soldadura y que el espesor de su alma es de 1/2 pulg. Asumir  $U = 0.87$  (tabla D3.1 AISC [1])



**Figura 8.1:** Conexión para ejemplo 8.1

### **Solución:**

#### **1. Resistencia del ángulo**

Fluencia en la sección bruta:

$$P_n = F_y A_g = (50)(4.75) = 237.50 \text{ klb}$$

Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi_t = 0.90$

$$\Phi_t P_n = (0.90)(237.50) = 213.75 \text{ klb}$$

Resistencia admisible ASD:  $\Omega_t = 1.67$

$$P_n / \Omega = \frac{237.50}{1.67} = 142.22 \text{ klb}$$



*Fractura en la sección neta:*

$$A_e = UA_g = (0.87)(4.75) = 4.13 \text{ pulg}^2$$

$$P_n = F_u A_e = (65)(4.13) = 268.45 \text{ klb}$$

*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi_t = 0.75$*

$$\Phi_t P_n = (0.75)(268.45) = 201.34 \text{ klb}$$

*Resistencia admisible ASD:  $\Omega_t = 2.00$*

$$P_n / \Omega = \frac{268.45}{2.00} = 134.23 \text{ klb}$$

Por tanto

*Resistencia de diseño LRFD:  $\Phi R_n = 201.34 \text{ klb}$*

*Resistencia admisible ASD:  $R_n / \Omega = 134.23 \text{ klb}$*

## 2. Tamaño de la soldadura

$$\text{Tamaño máximo de la soldadura} = \frac{1}{2} - \frac{1}{16} = \frac{7}{16} \text{ pulg}$$

Se asume soldadura de  $\frac{5}{16}$  pulg

$$\text{Espesor efectivo de la garganta } t = (0.707) \left( \frac{5}{16} \right) = 0.221 \text{ pulg}$$

### **Método LRFD $\Phi = 0.75$**

*Resistencia de diseño de 1 pulg de soldadura*

$$= (0.75)(0.60 \times 70)(0.221)(1) = 6.96 \text{ klb/pulg}$$

$$\text{Longitud de soldadura requerida} = \frac{201.34}{6.96} = 28.93 \text{ pulg}$$

*Momentos con respecto al punto A (figura 8.1):*

$$(201.34 \text{ klb})(1.98 \text{ pulg}) - (P_2)(6.00 \text{ pulg}) = 0$$

$$P_2 = 66.44 \text{ klb}$$

$$L_2 = \frac{66.44}{6.96} = 9.55 \text{ pulg} \rightarrow \underline{L_2 = 10 \text{ pulg}}$$

$$L_1 = 28.93 \text{ pulg} - 9.55 \text{ pulg} = 19.38 \text{ pulg} \rightarrow \underline{L_1 = 20 \text{ pulg}}$$

**Método ASD  $\Omega = 2.00$**

Resistencia admisible de 1 pulg de soldadura

$$= \frac{(0.60 \times 70)(0.221)(1)}{2.00} = 4.64 \text{ klb/pulg}$$

$$\text{Longitud de soldadura requerida} = \frac{134.23}{4.64} = 28.93 \text{ pulg}$$

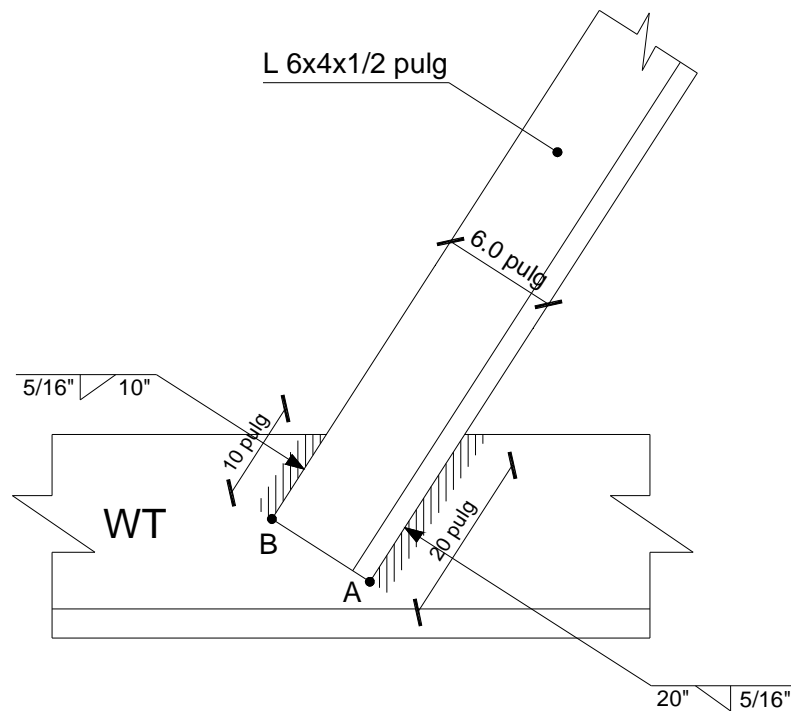
Momentos con respecto al punto A (figura 8.1):

$$(134.23 \text{ klb})(1.98 \text{ pulg}) - (P_2)(6.00 \text{ pulg}) = 0$$

$$P_2 = 44.30 \text{ klb}$$

$$L_2 = \frac{44.30}{4.64} = 9.55 \text{ pulg} \rightarrow \underline{L_2 = 10 \text{ pulg}}$$

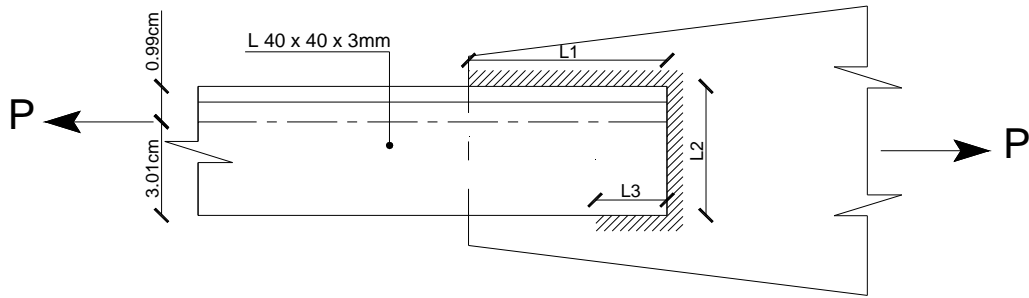
$$L_1 = 28.93 \text{ pulg} - 9.55 \text{ pulg} = 19.38 \text{ pulg} \rightarrow \underline{L_1 = 20 \text{ pulg}}$$



**Figura 8.2:** Diseño de soldadura de conexión de ejemplo 8.1

### **Ejemplo 8.2:**

Aplicando las Especificaciones AISI y los métodos LRFD y ASD, diseñar la conexión soldada de la figura 8.3, para la carga aplicada de 6 t, en donde se debe considerar su excentricidad. Asumir Acero A570 grado 33 y electrodos E60. La resistencia requerida es:  $P_{C. MUERTA} (D) = 2.00 t$ ,  $P_{C. VIVA} (L) = 4.00 t$



**Figura 8.3:** Conexión para ejemplo 8.2

### **Solución:**

Para el acero A570 grado 33:

$$F_y = 33 \text{ ksi} = 2325 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 52 \text{ ksi} = 3665 \text{ kg/cm}^2$$

### **1. Resistencia requerida**

#### **LRFD:**

Según AISI [4] A6.1.2, aplican las combinaciones de carga:

$$P_{u1} = 1.4 D + L = 1.4(2.00) + (4.00) = 6.80 t$$

$$P_{u2} = 1.2 D + 1.6 L = 1.2(2.00) + 1.6(4.00) = 8.80 t \quad \leftarrow \text{PREDOMINA}$$

#### **ASD:**

Según AISI [4] A5.1.2, aplica la combinación de carga:

$$P_1 = D + L = (2.00) + (4.00) = 6.00 t \quad \leftarrow \text{PREDOMINA}$$

## 2. Resistencia de soldadura transversal de filete L<sub>2</sub>:

Analizando las soldaduras a distribuir en la conexión, se tiene que L<sub>1</sub> corresponde a una soldadura de ranura biselada, L<sub>2</sub> a una soldadura transversal de filete y L<sub>3</sub> a una soldadura longitudinal de filete.

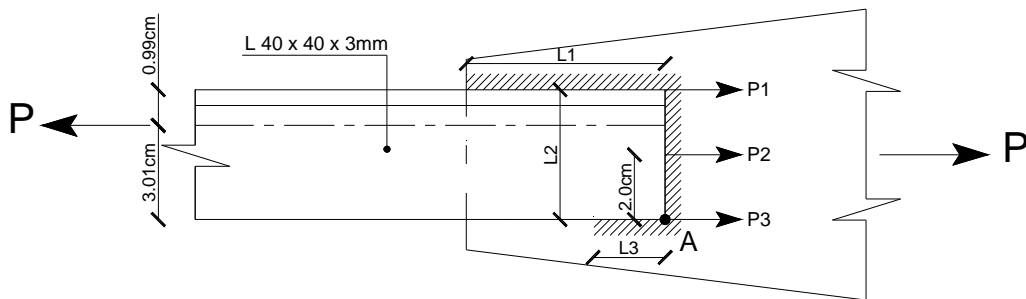


Figura 8.4: Análisis de soldadura de conexión de ejemplo 8.2

Considerando que P<sub>2</sub> es la resistencia nominal de la soldadura L<sub>2</sub>, por tanto se tiene:

$$P_2 = tLF_u$$

$$P_2 = (0.3\text{cm})(4.0\text{cm})(3665 \text{ kg/cm}^2) = 4398 \text{ kg} = 4.40 \text{ t}$$

Resistencia de diseño LRFD de soldadura L<sub>2</sub>:  $\Phi = 0.60$

$$\Phi P_2 = (0.60)(4398) = 2639 \text{ kg} = 2.64 \text{ t}$$

Resistencia admisible ASD de soldadura L<sub>2</sub>:  $\Omega = 2.50$

$$P_2 / \Omega = \frac{4398}{2.50} = 1759 \text{ kg} = 1.76 \text{ t}$$

## 3. Resistencia de soldaduras L<sub>1</sub> y L<sub>3</sub>:

### Método LRFD $\Phi$

Momentos con respecto al punto A (figura 8.4):

$$(8.80 \text{ t})(3.01 \text{ cm}) - (P_1)(4.00 \text{ cm}) - (P_2)(2.00 \text{ cm}) = 0$$

$$(8.80 \text{ t})(3.01 \text{ cm}) - (P_1)(4.00 \text{ cm}) - (2.64)(2.00 \text{ cm}) = 0$$

$$P_1 = 5.30 \text{ t}$$

$$P_3 = 8.80 - (5.30 + 2.64) = 0.86 \text{ t}$$

### **Método ASD**

$$(6.00 \text{ t})(3.01 \text{ cm}) - (P_1)(4.00 \text{ cm}) - (P_2)(2.00 \text{ cm}) = 0$$

$$(6.00 \text{ t})(3.01 \text{ cm}) - (P_1)(4.00 \text{ cm}) - (1.76)(2.00 \text{ cm}) = 0$$

$$P_1 = 3.64 \text{ t}$$

$$P_3 = 6.00 - (3.64 + 1.76) = 0.60 \text{ t}$$

## **4. Longitud de soldaduras**

### **Soldadura L<sub>1</sub>**

Para la soldadura de ranura biselada L<sub>1</sub>, sometida a carga longitudinal y asumiendo que:  $t \leq t_w < 2t$ , se tiene:

$$P_1 = 0.75tLF_u$$

$$P_1 = (0.75)(0.3 \text{ cm})(1.00 \text{ cm})(3665 \text{ kg/cm}^2) = 825 \text{ kg/cm} = 0.825 \text{ t/cm}$$

Resistencia de diseño LRFD de 1.00 cm de soldadura L<sub>1</sub>:  $\Phi = 0.55$

$$\Phi P_1 = (0.55)(825) = 454 \text{ kg/cm} = 0.454 \text{ t/cm}$$

Longitud requerida L<sub>1</sub> (LRFD):

$$L_1 = \frac{5.30}{0.454} = 11.67 \text{ cm} \rightarrow \underline{L_1 = 12.00 \text{ cm}}$$

Resistencia admisible ASD de 1.00 cm de soldadura L<sub>1</sub>:  $\Omega = 2.50$

$$P_1 / \Omega = \frac{825}{2.50} = 330 \text{ kg/cm} = 0.330 \text{ t/cm}$$

Longitud requerida L<sub>1</sub> (ASD):

$$L_1 = \frac{3.64}{0.330} = 11.03 \text{ cm} \rightarrow \underline{L_1 = 12.00 \text{ cm}}$$

### **Soldadura L<sub>2</sub>**

$$L_2 = 4.00 \text{ cm}$$

### **Soldadura L<sub>3</sub>**

Para la soldadura de filete L<sub>3</sub> sometida a carga longitudinal se tiene:

Para L / t < 25:

$$P_3 = \left(1 - \frac{0.01.L}{t}\right) t L F_u$$

$$P_3 = \left(1 - \frac{0.01 \times 1.00}{0.30}\right) \times 0.30 \times 1.00 \times 3665 = 1063 \text{ kg/cm} = 1.063 \text{ t/cm}$$

Resistencia de diseño LRFD de 1.00 cm de soldadura L<sub>3</sub>:  $\Phi = 0.60$

$$\Phi P_3 = (0.60)(1063) = 638 \text{ kg/cm} = 0.638 \text{ t/cm}$$

Longitud requerida L<sub>3</sub> (LRFD):

$$L_3 = \frac{0.86}{0.638} = 1.35 \text{ cm} \rightarrow \underline{L_3 = 2.00 \text{ cm}}$$

Resistencia admisible ASD de 1.00 cm de soldadura L<sub>3</sub>:  $\Omega = 2.50$

$$P_3 / \Omega = \frac{1063}{2.50} = 425 \text{ kg/cm} = 0.425 \text{ t/cm}$$

Longitud requerida L<sub>3</sub> (ASD):

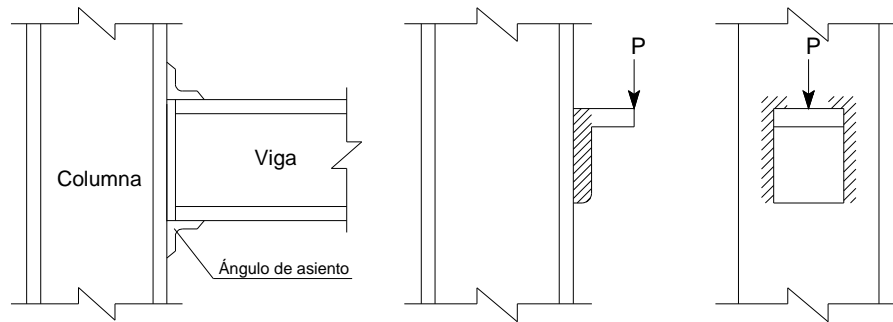
$$L_3 = \frac{0.60}{0.425} = 1.41 \text{ cm} \rightarrow \underline{L_3 = 2.00 \text{ cm}}$$

En la sección 11 de anexos (página 171) se incluye el detalle de datos generados para este tipo de conexión a partir de una hoja de cálculo.

## **8.2 CONEXIONES SOLDADAS ESTANDAR PARA VIGAS**

### **8.2.1 CONEXIONES CON ÁNGULOS DE ASIENTO SOLDADOS A LAS VIGAS**

Este tipo de conexión consiste en un pequeño tramo de ángulo que sirve como ménsula para soportar la viga desde sus extremos (figura 8.5). Por tanto, las soldaduras que unen este ángulo con la columna deben estar en capacidad de resistir el momento producido por la excentricidad de la reacción a más de la reacción de la viga en corte directo.



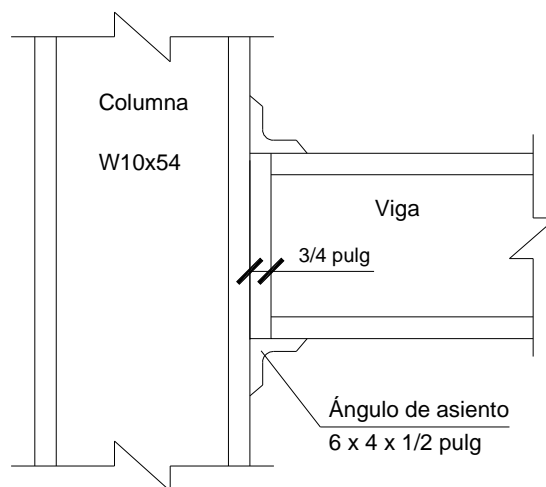
**Figura 8.5:** Conexión de viga con ángulo de asiento

En tanto que el ángulo que conecta el patín superior no ayuda a soportar la reacción, pero establece una estabilidad torsionante a la viga en su extremo [17].

Para el diseño de los ángulos de asiento se debe considerar la estabilidad a flexión y se debe proveer a los mismos del suficiente espesor y longitud en sus lados para que se pueda distribuir soldadura de filete de tamaño adecuado a lo largo de los lados verticales, para soportar el cortante y momento debido a la excentricidad de la reacción [9].

**Ejemplo 8.3:**

Aplicando un proceso de soldadura SMAW, las Especificaciones AISC y los métodos LRFD y ASD, determinar el tamaño de la soldadura de filete que se requiere para la conexión del ángulo de asiento al patín de la columna. Todo el acero es A36 y se usarán electrodos E70. La conexión debe proporcionar la resistencia requerida de:  $P_{C. MUERTA (D)} = 3.00 t$ ,  $P_{C. VIVA (L)} = 4.00 t$



**Figura 8.6:** Conexión para ejemplo 8.3

**Solución:**

Para los miembros de la conexión:

$$F_y = 36 \text{ ksi} = 2540 \text{ kg/cm}^2$$

Para la soldadura:

$$F_{EXX} = 70 \text{ ksi} = 4930 \text{ kg/cm}^2$$

**1. Resistencia requerida****LRFD:**

$$P_{u1} = 1.2 D + 1.6 L = 1.2(3.00) + 1.6(4.00) = 10.00 \text{ t}$$

**ASD:**

$$P_{a1} = D + L = (3.00) + (4.00) = 7.00 \text{ t}$$

**2. Tamaño de soldadura**

Excentricidad de la reacción con respecto a la soldadura:

$$e = 0.75 + \frac{3.25}{2} = 2.375 \text{ pulg} = 6.033 \text{ cm}$$

**Método LRFD  $\Phi = 0.75$** 

Momento

$$M = P_u \cdot e = (10.00)(6.033) = 60.33 \text{ t.cm} = 60330 \text{ kg.cm}$$

Longitud de la soldadura = 6 pulg = 15.24 cm

$$f_v = \frac{P_u}{A} = \frac{10000}{(2)(15.24)} = 328.08 \text{ kg/cm}$$

$$f_b = \frac{Mc}{I} = \frac{(60330)(15.24/2)}{\left(\frac{1}{12}\right)(1)(15.24)^3 \times 2} = 779.26 \text{ kg/cm}$$

$$f_r = \sqrt{(328.08)^2 + (779.26)^2} = 845.51 \text{ kg/cm}$$

$$W_{\text{req}} = \frac{f_r}{(\phi)(w)(0.60)(F_{EXX})}$$



$$W_{\text{req}} = \frac{(845.51)}{(0.75)(0.707 \times 1.0)(0.60 \times 4930)} = 0.54 \text{ cm}$$

### **Método ASD $\Omega = 2.00$**

*Momento*

$$M = P_a \cdot e = (7.00)(6.033) = 42.23 \text{ t.cm} = 42230 \text{ kg.cm}$$

*Longitud de la soldadura = 6 pulg = 15.24 cm*

$$f_v = \frac{P_a}{A} = \frac{7000}{(2)(15.24)} = 229.66 \text{ kg/cm}$$

$$f_b = \frac{Mc}{I} = \frac{(42230)(15.24/2)}{\left(\frac{1}{12}\right)(1)(15.24)^3 \times 2} = 545.47 \text{ kg/cm}$$

$$f_r = \sqrt{(229.66)^2 + (545.47)^2} = 591.85 \text{ kg/cm}$$

$$W_{\text{req}} = \frac{\Omega f_r}{w \cdot (0.60)(F_{\text{EXX}})}$$

$$W_{\text{req}} = \frac{(2.00)(591.85)}{(0.707 \times 1.0)(0.60 \times 4930)} = 0.56 \text{ cm}$$

*Tamaño mínimo de soldadura:*

De la tabla AISC [1] J2.4, y con referencia al espesor de la parte más delgada conectada en la conexión (1/2 pulg), se tiene:

$$\text{Tamaño mínimo de soldadura} = 1/4 \text{ pulg} = 0.60 \text{ cm} = 6 \text{ mm}$$

*Tamaño máximo de soldadura:*

$$\text{Tamaño máximo de soldadura} = \frac{1}{2} - \frac{1}{16} = \frac{7}{16} \text{ pulg} = 1.11 \text{ cm} = 11.1 \text{ mm}$$

Por tanto se recomienda: Usar soldadura de filete de 0.60 cm, electrodos E70 y un proceso SMAW

### 3. Resistencia al corte del ángulo de asiento

Resistencia nominal al cortante:

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v$$

$$V_n = (0.60)(2540 \text{ kg/cm}^2)(15.24 \text{ cm} \times 1.27 \text{ cm})(1.00)$$

$$V_n = 29497 \text{ kg} = 29.50 \text{ t}$$

#### **Método LRFD $\Phi_v = 0.90$**

Resistencia de diseño LRFD al cortante:

$$\Phi_v V_n = (0.90)(29.50) = 26.55 \text{ t}$$

Cortante directo aplicado:

$$V = 10.00 \text{ t} < 26.55 \text{ t} \quad \text{(OK)}$$

#### **Método ASD $\Omega_v = 1.67$**

Resistencia admisible ASD al cortante:

$$V_n / \Omega_v = \frac{29.50}{1.67} = 17.66 \text{ t}$$

Cortante directo aplicado:

$$V = 7.00 \text{ t} < 17.66 \text{ t} \quad \text{(OK)}$$

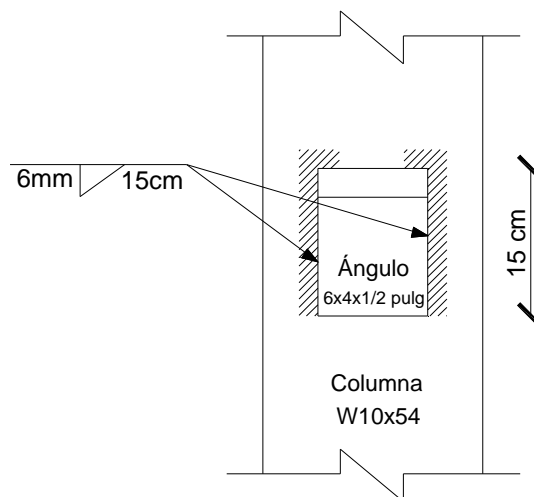
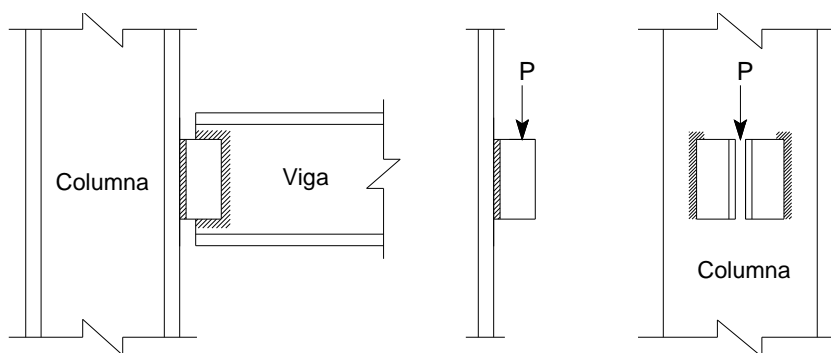


Figura 8.7: Diseño de soldadura para ángulo de asiento de conexión de ejemplo 8.3

## 8.2.2 CONEXIONES DE VIGA POR ALMA CON ÁNGULOS SOLDADOS

Este tipo de conexión es muy común y somete a las soldaduras verticales que unen el ángulo a la columna al mismo tipo de carga que la conexión con ángulos de asiento. El tramo de soldadura entre la viga y el ángulo de conexión es también excéntrico, sin embargo la carga está en el plano de cortante, por lo que no hay tracción [17].

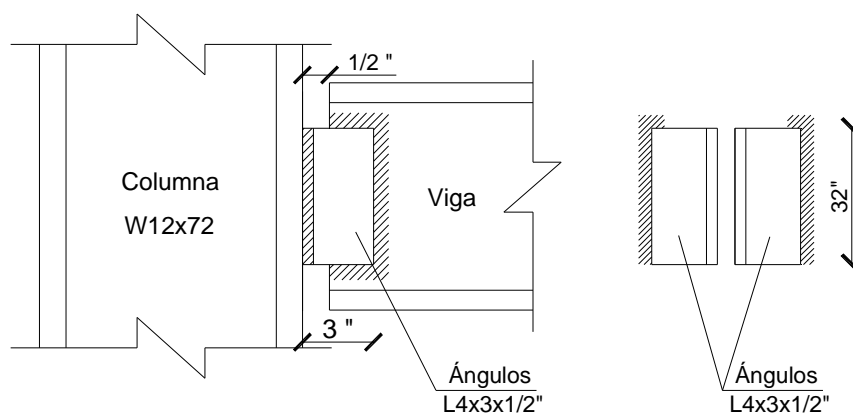


**Figura 8.8:** Conexión de viga por alma con ángulos soldados

El diseño de los ángulos de la conexión se basa en la selección adecuada de un par de ángulos para satisfacer a cortante (figura 8.8).

### **Ejemplo 8.4:**

*Aplicando un proceso de soldadura SMAW y las Especificaciones AISC, determinar la resistencia de la viga limitada por las soldaduras en el patín de la columna, de la conexión de la figura 8.9. Todo el acero es A36 y las soldaduras son de filete de 3/8 pulg hechas con electrodos E70*

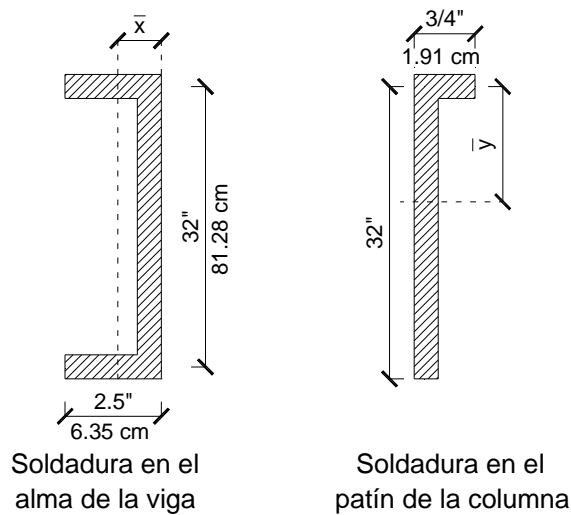


**Figura 8.9:** Conexión para ejemplo 8.4

**Solución:**

**1. Propiedades de las soldaduras**

Se supone que la reacción actúa por el centro de gravedad de la conexión a los ángulos.



**Figura 8.10:** Soldaduras para conexión de ejemplo 8.4

*Excentricidad de la reacción con respecto a la soldadura:*

$$\bar{x} = \frac{(2)(2.5)(1.25)}{34 + (2)(2.50)} = 0.1603 \text{ pulg}$$

$$e = 3 - 0.1603 = 2.8397 \text{ pulg}$$

*Propiedades de la soldadura en el patín de la columna:*

$$\bar{y} = \frac{(34)(17)}{34 + 0.75} = 16.6331 \text{ pulg}$$

$$I = \frac{(1)(34)^3}{12} + (34)(17 - 16.6331)^2 + (0.75)(16.6331)^2 = 3487 \text{ pulg}^4$$

Para las dos soldaduras:

$$I = (2)(3487 \text{ pulg}^4) = 6974 \text{ pulg}^4$$

## 2. Resistencia de la soldadura

### Método LRFD $\phi = 0.75$

Momento:

$$M = P_u \cdot e = (P_u)(2.8397) = 2.8397 \cdot P_u \text{ klb.pulg}$$

$$f_v = \frac{P_u}{A} = \frac{P_u}{(2)(34 + 0.75)} = 0.01439 \cdot P_u \text{ klb/pulg}$$

$$f_b = \frac{Mc}{I} = \frac{(2.8397 \cdot P_u)(16.6331)}{6974} = 0.00677 \cdot P_u \text{ klb/pulg}$$

$$f_r = \sqrt{(0.01439 \cdot P_u)^2 + (0.00677 \cdot P_u)^2} = 0.01590 \cdot P_u \text{ klb/pulg}$$

$$f_r = \phi(0.707w)(0.60F_{EXX})$$

$$0.01590 \cdot P_u = (0.75)(0.707 \times \frac{3}{8})(0.60)(70)$$

$$P_u = 525.25 \text{ klb}$$

### Método ASD $\Omega = 2.00$

Momento

$$M = P_a \cdot e = (P_a)(2.8397) = 2.8397 \cdot P_a \text{ klb.pulg}$$

$$f_v = \frac{P_a}{A} = \frac{P_a}{(2)(34 + 0.75)} = 0.01439 \cdot P_a \text{ klb/pulg}$$

$$f_b = \frac{Mc}{I} = \frac{(2.8397 \cdot P_a)(16.6331)}{6974} = 0.00677 \cdot P_a \text{ klb/pulg}$$

$$f_r = \sqrt{(0.01439 \cdot P_a)^2 + (0.00677 \cdot P_a)^2} = 0.01590 \cdot P_a \text{ klb/pulg}$$

$$f_r = \frac{(0.707w)(0.60F_{EXX})}{\Omega}$$

$$0.01590 \cdot P_a = \frac{(0.707 \times \frac{3}{8})(0.60)(70)}{2}$$

$$P_a = 350.17 \text{ klb}$$

### 3. Capacidad por cortante del metal base

(Gobierna el espesor del ángulo)

*Resistencia nominal al cortante:*

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v$$

$$V_n = (0.60)(36)(2 \times 34 \times 1/2)(1.00)$$

$$V_n = 734 \text{ klb}$$

#### **Método LRFD $\phi_v = 0.90$**

*Resistencia de diseño LRFD al cortante:*

$$\phi_v V_n = (0.90)(734) = 661 \text{ klb} \quad > \quad 525.25 \text{ klb} \quad \text{(OK)}$$

#### **Método ASD $\Omega_v = 1.67$**

*Resistencia admisible ASD al cortante:*

$$V_n / \Omega_v = \frac{734}{1.67} = 440 \text{ klb} \quad > \quad 350.17 \text{ klb} \quad \text{(OK)}$$

Por tanto:

La resistencia de diseño LRFD de la conexión es: 525.25 klb

La resistencia admisible ASD de la conexión es: 350.17 klb

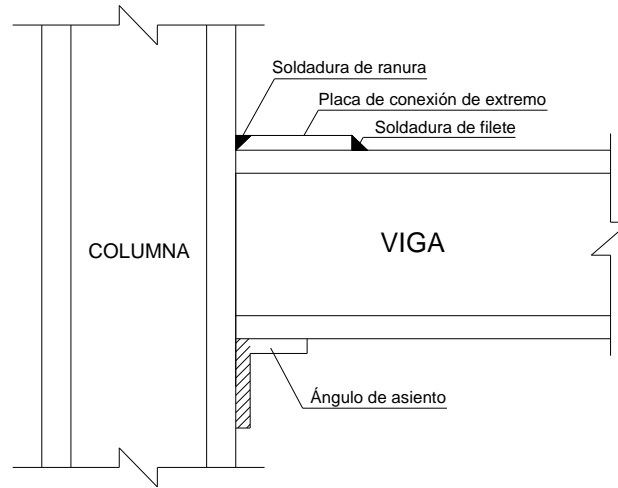
### 8.3 CONEXIONES RÍGIDAS VIGA – COLUMNA

La función de las conexiones rígidas es transmitir las fuerzas y momentos en la unión viga - columna, acompañada de la capacidad suficiente de rotación inelástica, alto grado de ductilidad y resistencia al pandeo local [8]

En la mayoría de las conexiones por momento de viga a columna, los miembros son parte de un marco plano y se orientan con las almas en el plano del marco, de manera que la flexión de cada miembro es con respecto a su eje mayor (figura 8.11)

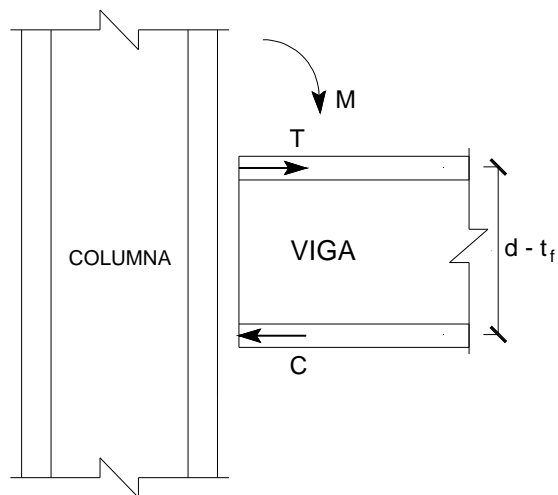
Es muy difícil fabricar una junta perfectamente rígida, que transmita el 100% de la capacidad por momento de un miembro a otro; aunque las conexiones de viga con ángulos soldados al alma o de asiento podrían reflejarse algo rígidas, sin

embargo pueden transmitir poco momento, si los ángulos utilizados son lo suficientemente flexibles.



**Figura 8.11:** Conexión resistente a momento

Para diseñar una conexión resistente a momento, el primer paso es calcular la magnitud de las fuerzas internas de compresión y tracción. Estas fuerzas se asumen concentradas en los centros de las alas o patines de la viga [14] (figura 8.12).



**Figura 8.12:** Fuerzas internas de tracción y compresión en conexión resistente a momento

De donde se puede deducir fácilmente:

$$C = T = \frac{M}{d - t_f} \quad (\text{Ec. 8.1})$$

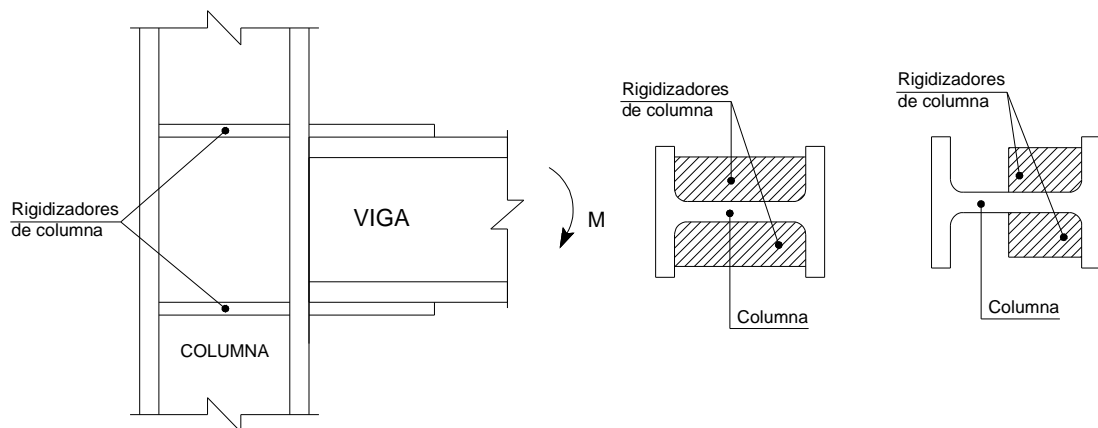
Las áreas de las soldaduras de penetración total superiores formadas con la columna pueden ser determinadas, con las siguientes expresiones:

$$LRFD: \quad \text{Area req} = \frac{C_u \text{ o } T_u}{\phi \cdot F_y} \quad (\text{Ec. 8.2})$$

$$ASD: \quad \text{Area req} = \frac{C_a \text{ o } T_a}{F_y / \Omega} \quad (\text{Ec. 8.3})$$

### 8.3.1 RIGIDIZADORES DE LA CONEXIÓN EN COLUMNAS

En conexiones rígidas, la mayor parte del momento transmitido de la viga a la columna adopta la forma de un par consistente de las fuerzas de tracción y compresión en los patines de la viga. Sin embargo, estas fuerzas pueden ser tan grandes que podría ser necesario colocar un refuerzo en la columna (figura 8.13).



**Figura 8.13:** Rigidizadores de columna

Por lo tanto, cuando exista el peligro de que el patín de la columna se flexione, se debe garantizar que se proporcione el momento resistente calculado en la conexión, lo cual se puede lograr considerando una columna con patines más rígidos o incluyendo placas rigidizadoras al alma de la columna.

Según **AISC** [1], **J10-1**, la resistencia de diseño  $\Phi R_n$  y la resistencia admisible  $R_n/\Omega$ , para el estado límite de flexión local del patín de la columna se debe calcular de la siguiente manera:

$$R_n = 6.25t_f^2 F_{yf} \quad (\text{AISC J10-1})$$

$$\Phi = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.67 \text{ (ASD)}$$



Donde:

$F_{yf}$  = esfuerzo de fluencia mínimo especificado del patín de la columna

$t_f$  = espesor del patín de la columna

Según **AISC** [1], **J10-2**, la resistencia disponible, para el estado límite de fluencia local del alma, se determinará como sigue:

$$\Phi = 1.00 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.50 \text{ (ASD)}$$

La resistencia nominal,  $R_n$ , se determinará de la siguiente manera:

- a. Cuando la carga concentrada actuante es aplicada a una distancia del extremo del miembro mayor que el peralte  $d$  de este:

$$R_n = (5k + N)F_{yw}.t_w \quad \text{(AISC J10-2)}$$

- b. Cuando la carga concentrada se aplica a una distancia del extremo del miembro que es menor o igual al peralte de este:

$$R_n = (2.5k + N)F_{yw}.t_w \quad \text{(AISC J10-3)}$$

Donde:

$k$  = distancia de la superficie exterior del patín de la columna a la punta del filete en el alma

$F_{yw}$  = esfuerzo de fluencia mínimo especificado del alma de la columna

$N$  = longitud de carga aplicada (no menor que  $k$  para reacciones en vigas)

$t_w$  = espesor del alma de la columna

Según **AISC** [1], **J10-3**, la resistencia disponible, para el estado límite de aplastamiento local de alma, se determinará como sigue:

$$\Phi = 0.75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

La resistencia nominal,  $R_n$ , se determinará de la siguiente manera:

- a. Cuando la carga de compresión es aplicada a una distancia del extremo del miembro que es mayor o igual a  $d/2$ :

$$R_n = 0.80t_w^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{N}{d} \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}} \quad (\text{AISC J10-4})$$

- b. Cuando la carga de compresión es aplicada a una distancia del extremo del miembro que es menor a  $d/2$ :

- i) Para  $N/d \leq 0.2$

$$R_n = 0.40t_w^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{N}{d} \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}} \quad (\text{AISC J10-5a})$$

- ii) Para  $N/d > 0.2$

$$R_n = 0.40t_w^2 \left[ 1 + \left( \frac{4N}{d} - 0.2 \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}} \quad (\text{AISC J10-5b})$$

Donde:

$d$  = peralte total del miembro

$t_f$  = espesor del patín

Según **AISC** [1], **J10-5**, la resistencia de diseño  $\Phi R_n$  y la resistencia admisible  $R_n/\Omega$ , para el estado límite de pandeo local del alma, se debe calcular de la siguiente manera:

$$R_n = \frac{24t_w^3 \sqrt{EF_{yw}}}{h} \quad (\text{AISC J10-8})$$

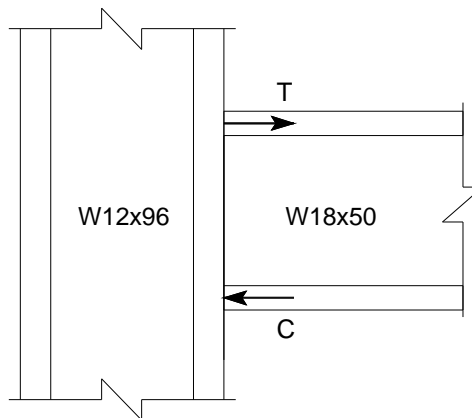
$$\Phi = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1.67 \text{ (ASD)}$$

Donde:

$h$  = longitud del alma de la columna entre las puntas de los filetes

### **Ejemplo 8.5:**

Una conexión rígida formada por una viga W18x50 transfiere a una columna W12x96 las cargas:  $C_D = T_D = 26 t$  y  $C_L = T_L = 40 t$  (figura 8.14). La conexión está localizada a una distancia mayor a  $d$  del extremo de la columna. (a) Determinar si la columna es satisfactoria para resistir las fuerzas de la conexión. Si no resiste seleccionar una columna W12 que sea satisfactoria. (b) Si la columna no es satisfactoria diseñar los rigidizadores para la conexión. Considerar acero A36, un proceso de soldadura SMAW y electrodos E70.



**Figura 8.14:** Conexión para ejemplo 8.5

### **Solución:**

Para los miembros de la conexión:

$$F_y = 36 \text{ ksi} = 2540 \text{ kg/cm}^2$$

Y para la soldadura:

$$F_{EXX} = 70 \text{ ksi} = 4930 \text{ kg/cm}^2$$

Para el perfil W18x50 de la viga:

$$b_f = 7.50 \text{ pulg} = 19.05 \text{ cm}$$

$$t_f = 0.570 \text{ pulg} = 1.43 \text{ cm}$$

Para el perfil W12x96 de la columna:

$$d = 12.70 \text{ pulg} = 32.26 \text{ cm}$$

$$t_w = 0.550 \text{ pulg} = 1.40 \text{ cm}$$

$$t_f = 0.900 \text{ pulg} = 2.29 \text{ cm}$$

$$k = 1.50 \text{ pulg} = 3.81 \text{ cm}$$

## 1. Resistencia requerida

### Método LRFD

$$C_{u1} = 1.2 D + 1.6 L = 1.2(26.00) + 1.6(40.00) = 95.20 \text{ t}$$

### Método ASD $\Omega$

$$C_{a1} = D + L = (26.00) + (40.00) = 66.00 \text{ t}$$

## 2. Flexión local del patín de la columna

$$R_n = 6.25t_f^2 F_{yf} = (6.25)(2.29)^2(2540) = 83250.09 \text{ kg} = 83.25 \text{ t}$$

### Método LRFD $\phi = 0.90$

$$\phi R_n = (0.90)(83.25 \text{ t}) = 74.93 \text{ t} < 95.20 \text{ t} \rightarrow \text{No cumple}$$

### Método ASD $\Omega = 1.67$

$$\frac{R_n}{\Omega} = \frac{83.25}{1.67} = 49.85 \text{ t} < 66.00 \text{ t} \rightarrow \text{No cumple}$$

Por tanto se debe usar una columna de mayores dimensiones o un par de rigidizadores transversales.

## 3. Fluencia local del alma de la columna

$$R_n = (5k + N)F_{yw} \cdot t_w = (5 \times 1.50 + 7.50)(36)(0.55) = 297 \text{ klb} = 135 \text{ t}$$

### Método LRFD $\phi = 1.00$

$$\phi R_n = (1.00)(135.00 \text{ t}) = 135.00 \text{ t} > 95.20 \text{ t} \quad \text{(OK)}$$

### Método ASD $\Omega = 1.50$

$$\frac{R_n}{\Omega} = \frac{135.00}{1.50} = 90.00 \text{ t} > 66.00 \text{ t} \quad \text{(OK)}$$

#### 4. Aplastamiento del alma

$$R_n = 0.80t_w^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{N}{d} \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}}$$

$$R_n = (0.80)(0.550)^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{7.50}{12.70} \right) \left( \frac{0.550}{0.900} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{(29 \times 10^3)(36)(0.900)}{0.550}}$$

$$R_n = 584.01 \text{ klb} = 265.46 \text{ t}$$

##### Método LRFD $\phi = 0.75$

$$\phi R_n = (0.75)(265.46 \text{ t}) = 199.10 \text{ t} > 95.20 \text{ t} \quad \text{(OK)}$$

##### Método ASD $\Omega = 2.00$

$$\frac{R_n}{\Omega} = \frac{265.46}{2.00} = 132.73 \text{ t} > 66.00 \text{ t} \quad \text{(OK)}$$

- a. Se escoge una columna W12 de mayores dimensiones. Se intenta con un perfil W12x120

$$t_f = 1.11 \text{ pulg} = 2.82 \text{ cm}$$

#### 5. Flexión local del patín de la nueva columna (W12x120)

$$R_n = 6.25t_f^2 F_{yf} = (6.25)(2.82)^2(2540) = 126244.35 \text{ kg} = 126.24 \text{ t}$$

##### Método LRFD $\phi = 0.90$

$$\phi R_n = (0.90)(126.24 \text{ t}) = 113.62 \text{ t} > 95.20 \text{ t} \quad \text{(OK)}$$

##### Método ASD $\Omega = 1.67$

$$\frac{R_n}{\Omega} = \frac{126.24}{1.67} = 75.59 \text{ t} > 66.00 \text{ t} \quad \text{(OK)}$$

b. Diseño de rigidizadores de columna usando el perfil inicial W12x96

## 6. Diseño de rigidizadores de columna

### Método LRFD

$$\text{Área requerida para rigidizador} = \frac{95200 - 74930}{2540} = 7.98 \text{ cm}^2$$

$$\text{Ancho mínimo} = \frac{1}{3}b_f - \frac{t_w}{2} = \frac{19.05}{3} - \frac{1.40}{2} = 5.65 \text{ cm}$$

$$\text{Espesor mínimo de rigidizadores} = \frac{7.98}{5.65} = 1.41 \text{ cm} \rightarrow t = 5/8 \text{ pulg}$$

$$\text{Ancho requerido} = \frac{7.98}{\frac{5}{8}(2.54)} = 5.03 \text{ cm}$$

Se adopta un ancho de rigidizador de 10.00cm

$$\text{Longitud mínima} = \frac{d}{2} - t_f = \frac{32.26}{2} - 2.29 = 13.84 \text{ cm}$$

Para fines prácticos se adopta un rigidizador de 15.00 cm de longitud, 10.00cm de ancho y 5/8 pulg de espesor

### Método ASD

$$\text{Área requerida para rigidizador} = \frac{66000 - 49850}{2540} = 6.36 \text{ cm}^2$$

$$\text{Ancho mínimo} = \frac{1}{3}b_f - \frac{t_w}{2} = \frac{19.05}{3} - \frac{1.40}{2} = 5.65 \text{ cm}$$

$$\text{Espesor mínimo de rigidizadores} = \frac{6.36}{5.65} = 1.13 \text{ cm} \rightarrow t = 1/2 \text{ pulg}$$

$$\text{Ancho requerido} = \frac{6.36}{\frac{1}{2}(2.54)} = 5.01 \text{ cm}$$

Se adopta un ancho de rigidizador de 10.00cm

$$\text{Longitud mínima} = \frac{d}{2} - t_f = \frac{32.26}{2} - 2.29 = 13.84 \text{ cm}$$

Para fines prácticos se adopta un rigidizador de 15.00 cm de longitud, 10.00cm de ancho y 1/2 pulg de espesor

## 7. Diseño de soldadura para rigidizadores

### Método LRFD $\phi = 0.75$

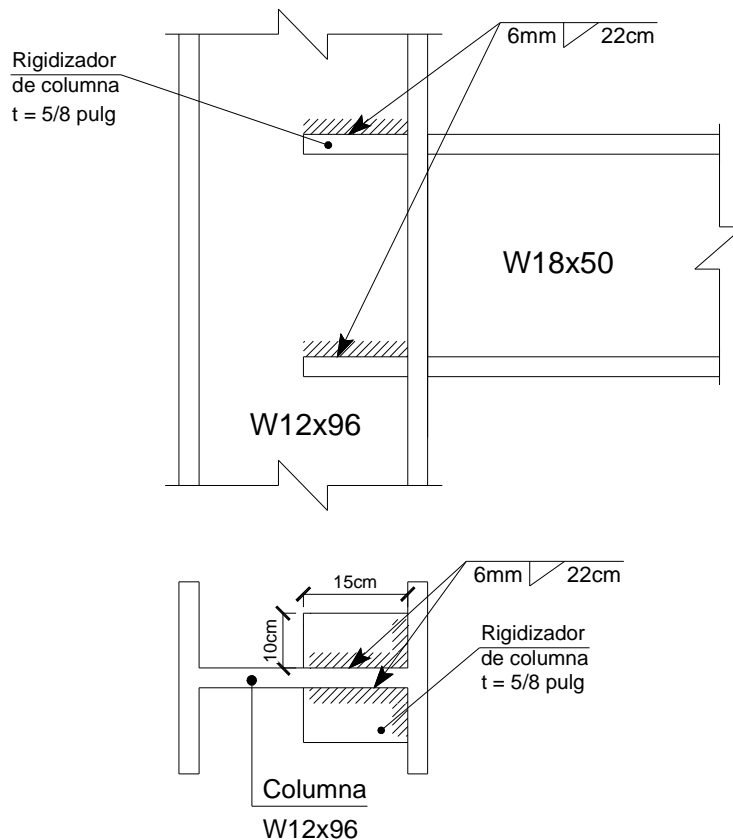
De la tabla AISC [1], J2.4, y con referencia al espesor del alma de la columna (1.40 cm), se tiene:

Tamaño mínimo de soldadura = 1/4 pulg = 0.60 cm = 6 mm

Longitud de soldadura requerida

$$= \frac{95200 - 74930}{(0.75)(0.60 \times 4930)(0.707) \left( \frac{1}{4} \times 2.54 \right)} = 20.35 \text{ cm}$$

Para fines prácticos se aplicará soldadura de filete de 6mm en una longitud de 22.00 cm.



**Figura 8.15:** Diseño de rigidizadores de columna según método LRFD

**Método ASD  $\Omega = 2.00$**

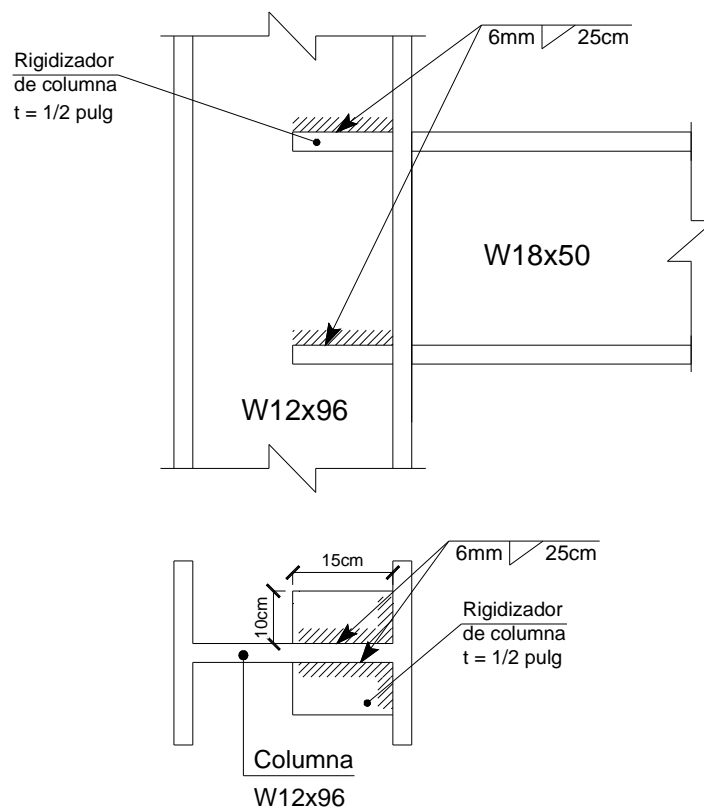
De la tabla AISC [1], J2.4, y con referencia al espesor del alma de la columna (1.40 cm), se tiene:

Tamaño mínimo de soldadura = 1/4 pulg = 0.60 cm = 6 mm

Longitud de soldadura requerida

$$= \frac{(2)(66000 - 49850)}{(0.60 \times 4930)(0.707) \left( \frac{1}{4} \times 2.54 \right)} = 24.32 \text{ cm}$$

Para fines prácticos se aplicará soldadura de filete de 6mm en una longitud de 25.00 cm



**Figura 8.16:** Diseño de rigidizadores de columna según método ASD

*En la sección 11 de anexos (página 175) se incluye el detalle de datos generados para este tipo de conexión a partir de una hoja de cálculo.*



## 8.4 APOYOS SIMPLES Y DE EMPOTRAMIENTO

Las estructuras transmiten cargas y momentos a sus bases, por tanto se deberá diseñar sistemas de apoyo convenientes y con las medidas necesarias con la finalidad de transmitir óptimamente los esfuerzos.

Según **AISC** [1], **J7**, la resistencia de diseño de soporte,  $\Phi R_n$ , y la resistencia admisible de soporte,  $R_n/\Omega$ , de superficies en contacto se deberán determinar para el estado límite de soporte (fluencia a compresión local), y se deben calcular de la siguiente manera:

$$\Phi = 0.75 \text{ (LRFD)} \qquad \Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

La resistencia nominal de soporte,  $R_n$ , para rodillos corredizos e inestables, se define:

i) Si  $d \leq 25$  pulg (635 mm)

$$R_n = 1.2(F_y - 13)l.d/20 \qquad \text{(AISC J7-2)}$$

$$\text{(St: } R_n = 1.2(F_y - 90)l.d/20 \text{)} \qquad \text{(AISC J7-2M)}$$

ii) Si  $d > 25$  pulg (635 mm)

$$R_n = 6.0(F_y - 13)l\sqrt{d}/20 \qquad \text{(AISC J7-3)}$$

$$\text{(St: } R_n = 30.2(F_y - 90)l\sqrt{d}/20 \text{)} \qquad \text{(AISC J7-3M)}$$

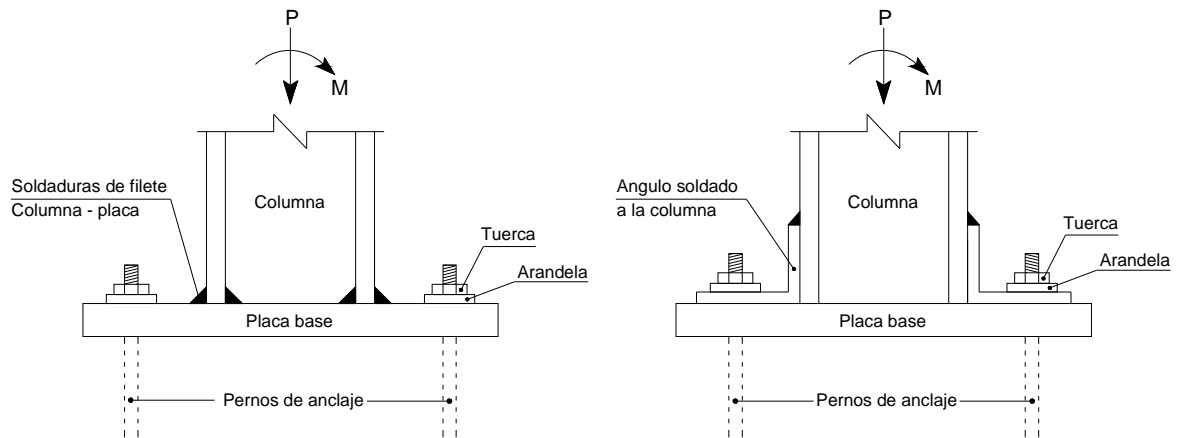
Donde:

$d$  = diámetro del rodillo

$l$  = longitud de apoyo

### 8.4.1 PLACAS DE APOYO RESISTENTES A FLEXIÓN PARA COLUMNAS

Las columnas inferiores de una estructura casi siempre se apoyan sobre una cimentación de hormigón, por lo que para impedir su aplastamiento se colocan placas de base entre el acero y el hormigón y además para distribuir de mejor forma la carga (figura 8.17).



**Figura 8.17:** Placas base en columnas

Las placas de base se sujetan a la cimentación de hormigón con pernos de anclaje con gancho empotrados en el hormigón. Cuando no hay izamiento, los pernos de anclaje casi siempre utilizados tienen 3/4 pulg de diámetro, aproximadamente 1 pie y 6 pulg de largo más un gancho de 3 pulg.

Generalmente, las placas de base para columnas se sueldan a la columna en el taller antes de ser enviadas al sitio de proyecto.

Para establecer el espesor de la placa, se debe determinar el momento, el mismo que es calculado para una franja de 1 pulg de la placa y es igualado a su momento resistente.

Método LRFD:

$$M_u \leq \phi_b M_n = \frac{\phi_b F_y I}{c} = \frac{\phi_b F_y \left( \frac{1}{12} \right) (1)(t)^3}{t/2}$$

$$t \geq \sqrt{\frac{6M_u}{\phi_b F_y}} \quad \phi_b = 0.90 \quad (\text{Ec. 8.4})$$

Método ASD:

$$M_a \leq \frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{F_y I}{\Omega_b c} = \frac{F_y \left( \frac{1}{12} \right) (t)^3}{\Omega_b (t/2)}$$

$$t \geq \sqrt{\frac{\Omega_b 6M_a}{F_y}} \quad \Omega_b = 1.67 \quad (\text{Ec. 8.5})$$

El Manual AISC [2], menciona que los máximos momentos en una placa base ocurren a las distancias  $0.80 b_f$  y  $0.95 d$  (figura 8.18) El momento flector puede ser calculado a cada lado de estas secciones y el valor más grande será usado para determinar el espesor de la placa.

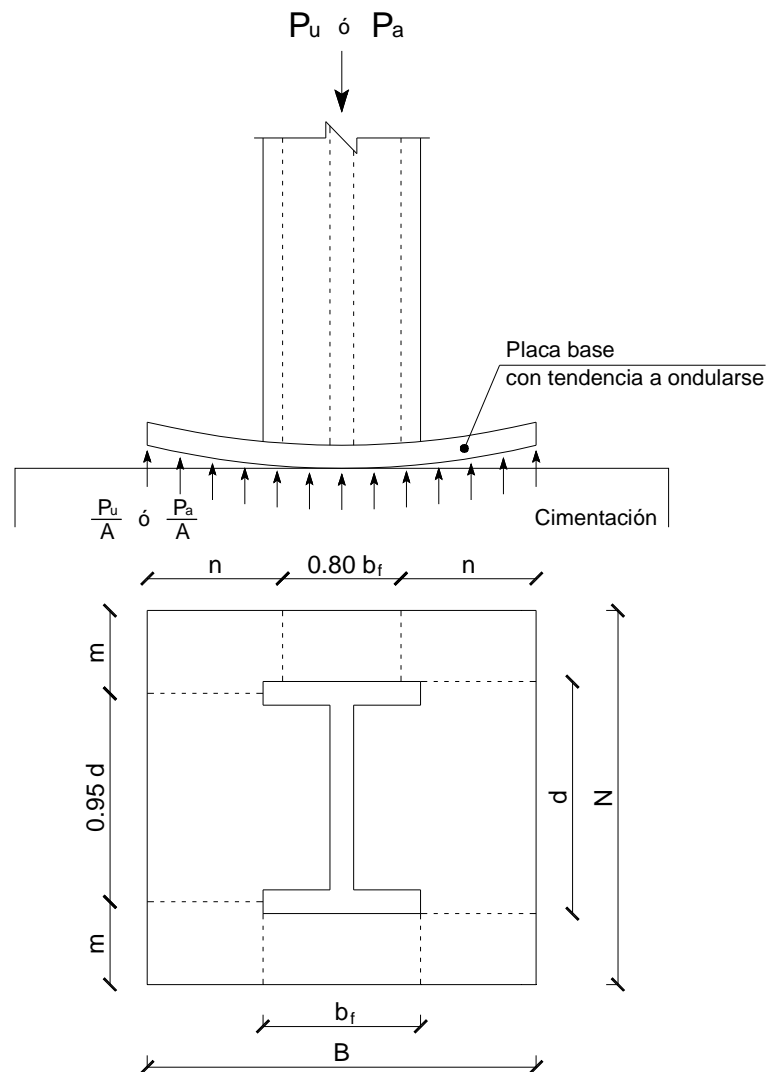


Figura 8.18: Dimensiones de placa base en columna

La capacidad de estas conexiones para resistir a la rotación es dependiente de la longitud de los pernos de anclaje, los mismos que podrían deformarse elásticamente.

Según **AISC** [1], **J8**, se deben tomar todas las provisiones adecuadas para transmitir las cargas y momentos de la columna a las bases y cimentaciones.

En la ausencia de regulaciones de un código, la resistencia de diseño de soporte,  $\Phi_c P_p$ , y la resistencia admisible de soporte,  $P_p/\Omega_c$ , para el estado límite de aplastamiento del concreto, se tiene:

$$\Phi = 0.60 \text{ (LRFD)} \qquad \Omega = 2.50 \text{ (ASD)}$$

La resistencia nominal de soporte,  $P_p$ , se determina como sigue:

a. En el área total de soporte de concreto:

$$P_p = 0.85f'_c A_1 \qquad \text{(AISC J8-1)}$$

b. En una parte del área total de un apoyo de concreto:

$$P_p = 0.85f'_c A_1 \sqrt{A_2/A_1} \leq 1.7f'_c A_1 \qquad \text{(AISC J8-2)}$$

Donde:

$f'_c$  = resistencia especificada del hormigón

$A_1$  = área de la placa de acero concéntricamente apoyada sobre la base de hormigón

$A_2$  = área máxima de la porción de la superficie de soporte que es geoméricamente similar y concéntrica al área cargada

### **Ejemplo 8.6:**

Aplicando las especificaciones AISC, diseñar la placa base resistente a momento, para la columna W14x120. Usar acero A36, con  $F_y = 36$  ksi, electrodos E70 y concreto de  $210$  kg/cm<sup>2</sup>. En la base de la columna, se tienen las cargas axiales:  $P_D = 70.0$  t,  $P_L = 120.0$  t y los momentos flectores:  $M_D = 8.0$  t.m,  $M_L = 13.0$  t.m

### **Solución:**

Para los miembros de acero A36:

$$F_y = 36 \text{ ksi} = 2540 \text{ kg/cm}^2$$

Para la soldadura:

$$F_{EXX} = 70 \text{ ksi} = 4930 \text{ kg/cm}^2$$

Para el perfil W14x120 de la columna:

$$d = 14.5 \text{ pulg} = 36.83 \text{ cm}$$

$$t_w = 0.590 \text{ pulg} = 1.50 \text{ cm}$$

$$b_f = 14.70 \text{ pulg} = 37.34 \text{ cm}$$

$$t_f = 0.940 \text{ pulg} = 2.39 \text{ cm}$$

### **Método LRFD**

#### **1. Resistencia requerida**

$$P_{u1} = 1.2 D + 1.6 L = 1.2(70.00) + 1.6(120.00) = 276.00 \text{ t} = 276000 \text{ kg}$$

$$M_{u1} = 1.2 D + 1.6 L = 1.2(8.00) + 1.6(13.00) = 30.40 \text{ t.m} = 3040000 \text{ kg.cm}$$

#### **2. Esfuerzos en cimentación**

Excentricidad:

$$e = \frac{M}{P} = \frac{30.40}{276.00} = 0.1101 \text{ m} = 11.01 \text{ cm}$$

Por lo que la resultante está entre los patines de la columna y dentro del tercio medio de la placa.

Tamaño de placa:

Se asume una placa de 50 cm x 70 cm

Esfuerzos en la cimentación:

$$f = \frac{P_u}{A} \pm \frac{M_u c}{I}$$

$$f = \frac{276000}{(50)(70)} \pm \frac{(3040000)(35)}{\left(\frac{1}{12}\right)(50)(70)^3}$$

$$f = 78.86 \pm 74.45$$

$$\begin{cases} 153.31 \text{ kg/cm}^2 < \phi_c F_p = (0.60)(0.85)(210)(2) = 214.20 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)} \\ 4.41 \text{ kg/cm}^2 < 214.20 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)} \end{cases}$$

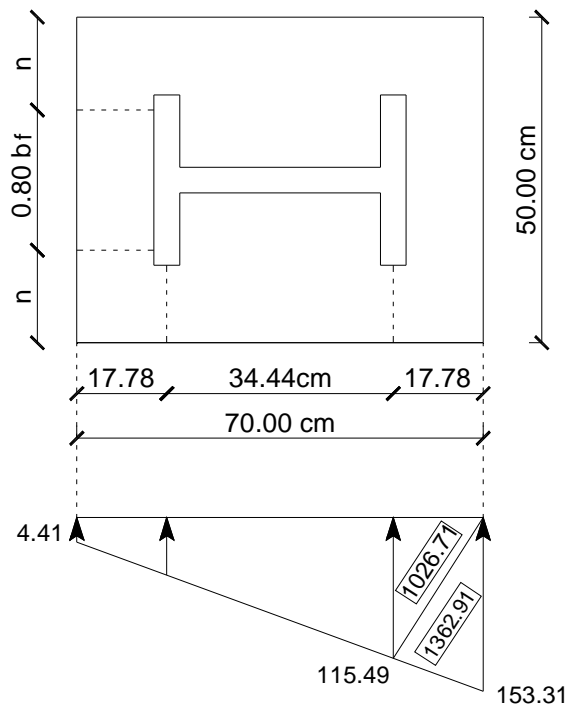


Figura 8.19: Esfuerzos en cimentación

### 3. Espesor de placa de apoyo

Momentos a la derecha del patín derecho:

$$M_u = (1026.71) \left( \frac{17.78}{3} \right) + (1362.92) \left( \frac{2}{3} \times 17.78 \right) = 22240.11 \text{ kg.cm}$$

$$t \geq \sqrt{\frac{6M_u}{\phi_b F_y}} = \sqrt{\frac{(6)(22240.11)}{(0.90)(2540)}} = 7.64 \text{ cm}$$

Revisión de flexión en dirección transversal:

$$n = \frac{B - 0.80b_f}{2} = \frac{50 - (0.80)(37.34)}{2} = 10.06 \text{ cm}$$

Esfuerzo promedio que actúa sobre cimentación:

$$f_p = \frac{4.41 + 153.31}{2} = 78.86 \text{ kg/cm}^2$$

Momento en dirección transversal:

$$M_u = (78.86)(10.06) \left( \frac{10.06}{2} \right) = 3990.46 \text{ kg.cm} < 22240.11 \text{ kg.cm} \quad (\text{OK})$$

Por tanto se tiene una placa base:

$$50 \text{ cm} \times 70 \text{ cm} \times 7.64 \text{ cm} \rightarrow 50 \text{ cm} \times 70 \text{ cm} \times 3 \text{ pulg}$$

#### 4. Diseño de soldadura columna - placa de apoyo

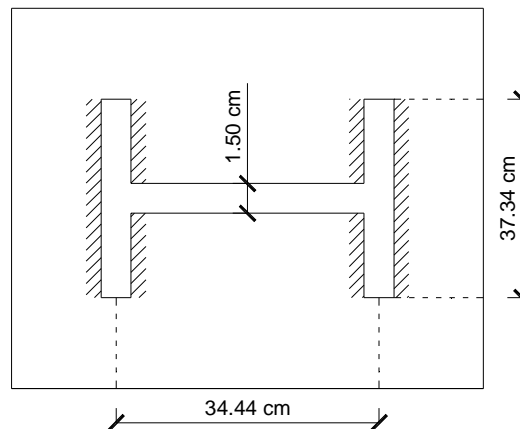


Figura 8.20: Soldadura de filete columna - placa base

Longitud total de soldadura de filete en cada patín:

$$= (2)(37.34 \text{ cm}) - (1.50 \text{ cm}) = 73.18 \text{ cm}$$

$$C = T = \frac{M_u}{d - t_f} = \frac{3040000}{36.83 - 2.39} = 88269.45 \text{ kg}$$

Resistencia de 1.00 cm de longitud de soldadura de filete de 1.00 cm, usando electrodos E70

$$\phi R_{nw} = \phi(0.60F_{EXX})(0.707w) = (0.75)(0.60 \times 4930)(0.707 \times 1.00) = 1568.48 \text{ kg/cm}$$

Tamaño de soldadura de filete requerido:

$$w = \frac{88269.45}{(73.18)(1568.48)} = 0.77 \text{ cm}$$

Por tanto se usará soldadura de filete de 1.00cm

### Método ASD

#### 1. Resistencia requerida

$$P_{a1} = D + L = (70.00) + (120.00) = 190.00 \text{ t} = 190000 \text{ kg}$$

$$M_{a1} = D + L = (8.00) + (13.00) = 21.00 \text{ t.m} = 2100000 \text{ kg.cm}$$

#### 2. Esfuerzos en cimentación

Excentricidad:

$$e = \frac{M}{P} = \frac{21.00}{190.00} = 0.1105 \text{ m} = 11.05 \text{ cm}$$

Por lo que la resultante está entre los patines de la columna y dentro del tercio medio de la placa.

Tamaño de placa:

Se asume una placa de 50 cm x 70 cm

Esfuerzos en cimentación:

$$f = \frac{P_a}{A} \pm \frac{M_a c}{I}$$
$$f = \frac{190000}{(50)(70)} \pm \frac{(2100000)(35)}{\left(\frac{1}{12}\right)(50)(70)^3}$$
$$f = 54.29 \pm 51.43$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 105.72 \text{ kg/cm}^2 < \frac{F_p}{\Omega_c} = \frac{(0.85)(210)(2)}{2.50} = 142.80 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)} \\ 2.86 \text{ kg/cm}^2 < 142.80 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)} \end{array} \right.$$



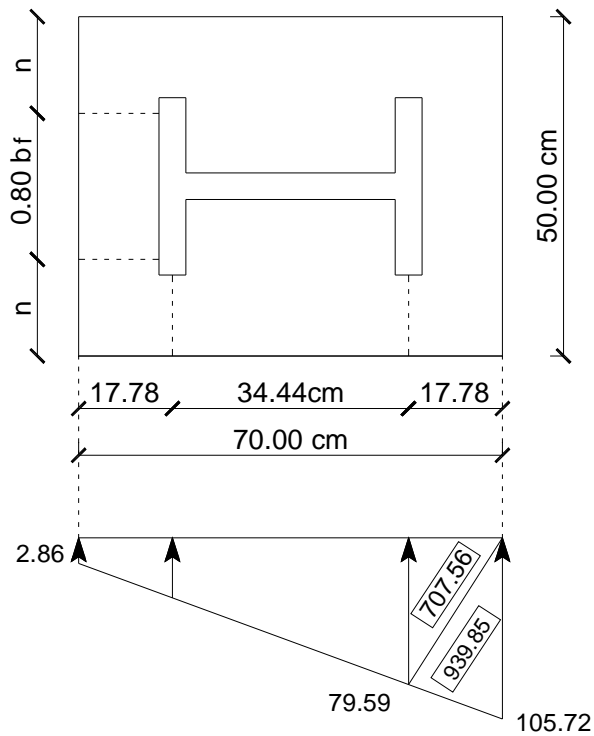


Figura 8.21: Esfuerzos en cimentación

### 3. Espesor de placa de apoyo

Momentos a la derecha del patín derecho:

$$M_a = (707.56) \left( \frac{17.78}{3} \right) + (939.85) \left( \frac{2}{3} \times 17.78 \right) = 15333.83 \text{ kg.cm}$$

$$t \geq \sqrt{\frac{\Omega_b 6M_a}{F_y}} = \sqrt{\frac{(1.67)(6)(15333.83)}{2540}} = 7.78 \text{ cm}$$

Revisión de flexión en dirección transversal:

$$n = \frac{B - 0.80b_f}{2} = \frac{50 - (0.80)(37.34)}{2} = 10.06 \text{ cm}$$

Esfuerzo promedio que actúa sobre cimentación:

$$f_p = \frac{2.86 + 105.72}{2} = 54.29 \text{ kg/cm}^2$$

Momento en dirección transversal:

$$M_u = (54.29)(10.06) \left( \frac{10.06}{2} \right) = 2747.17 \text{ kg.cm} < 15333.83 \text{ kg.cm (OK)}$$

Por tanto se tiene una placa base:

$$50 \text{ cm} \times 70 \text{ cm} \times 7.78 \text{ cm} \rightarrow 50 \text{ cm} \times 70 \text{ cm} \times 3 \frac{1}{4} \text{ pulg}$$

#### 4. Diseño de soldadura columna - placa de apoyo

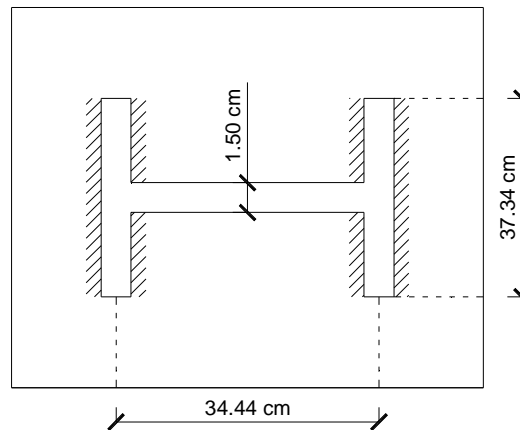


Figura 8.22: Soldadura de filete columna - placa base

*Longitud total de soldadura de filete en cada patín:*

$$= (2)(37.34 \text{ cm}) - (1.50 \text{ cm}) = 73.18 \text{ cm}$$

$$C = T = \frac{M_u}{d - t_f} = \frac{2100000}{36.83 - 2.39} = 60975.61 \text{ kg}$$

*Resistencia de 1.00 cm de longitud de soldadura de filete de 1.00 cm, usando electrodos E70*

$$\frac{R_{nw}}{\Omega} = \frac{(0.60F_{EXX})(0.707w)}{\Omega} = \frac{(0.60 \times 4930)(0.707 \times 1.00)}{2.00} = 1045.65 \text{ kg/cm}$$

*Tamaño de soldadura de filete requerido:*

$$w = \frac{60975.61}{(73.18)(1045.65)} = 0.80 \text{ cm}$$

Por tanto se usará soldadura de filete de 1.00cm

## CAPÍTULO 9

### 9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como consecuencia del presente proyecto, se exponen las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Una soldadura diseñada y construida de manera adecuada puede ser más fuerte que el mismo metal base, ya que puede lograr la penetración requerida y además no es frágil.
- Las conexiones soldadas son aplicadas con mayor frecuencia en la construcción de estructuras, ya que proporcionan una rigidez que puede ser muy ventajosa si se usa de manera adecuada en el diseño. Además estas conexiones se caracterizan por lo simple de su diseño, menos partes, menos material y consecuentemente menor mano de obra.
- Las conexiones soldadas permiten conseguir estructuras continuas, estáticamente indeterminadas y esbeltas, con la consecuente supresión de pesadas placas de conexión, de uso frecuente en conexiones atornilladas o remachadas.
- La soldadura de filete es la de mayor aplicación en nuestro medio, por ser la más económica al necesitar de poca preparación de los materiales a conectar y presenta mayor resistencia a sollicitaciones de tracción y compresión que a corte.
- La orientación de los esfuerzos aplicados a una soldadura de tope o penetración, no afecta significativamente en la resistencia de la soldadura, por lo que su aplicación frecuente se da en empalmes de columnas o de miembros armados con placas.
- La soldadura de penetración completa, es el tipo de suelda más costoso y generalmente su uso está limitado a casos de soluciones obligadas, como

en juntas de extremo, en donde se debe lograr la capacidad total a tracción del acero.

- La soldadura de tapón y de ranura es aplicable en situaciones de limitación de espacio para distribuir cordones de suelda, por lo que de manera obligada para aumentar la longitud de soldadura se realizan perforaciones en el centro de uno de los miembros a conectar. Sin embargo, su uso está restringido a transferir esfuerzos cortantes en planos de unión paralelos y no es recomendable a la acción de esfuerzos de tracción, ni esfuerzos combinados.
- En conexiones rígidas, una alternativa de diseño permite incluir rigidizadores en las columnas, acompañados de soldadura de filete, cuando sea necesario; en lugar de considerar un rediseño con una sección de columna más grande, con propósitos de cumplir con las revisiones de flexión local del patín y fluencia local y aplastamiento del alma de la columna.
- Las especificaciones AISI [4] establecen criterios de diseño para uniones soldadas de miembros estructurales de acero conformado en frío en las cuales el espesor de la pieza más delgada es menor o igual a 4.57 mm; por tanto si en una conexión soldada el espesor de la pieza más delgada es mayor a 4.57 mm se deberán aplicar las especificaciones AISC [1].
- El presente trabajo incluye un ordenamiento de procesos de análisis y diseño de los diferentes tipos de soldadura mencionados en las especificaciones AISC y AISI. Sin embargo se recomienda en futuros proyectos realizar investigaciones prácticas con ensayos de laboratorio, enfocadas al análisis de los tipos de conexiones usadas con mayor frecuencia en nuestro medio.

## CAPÍTULO 10

### 10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION (AISC).** Specification for Structural Steel Buildings. Chicago, U.S.A., March 2005.
2. **AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION (AISC).** Steel Construction. Manual, Thirteenth Edition, Chicago, U.S.A., July 2006.
3. **AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION (AISC). MILLER, D.** Welded Connections – A Primer for Engineers. Steel Design Guide 21, Chicago, U.S.A., June 2006.
4. **AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE (AISI).** Specification for the Design of Cold – Formed Steel Structural Members. 1996 Edition, Washington, DC, U.S.A., June 1997.
5. **AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE (AISI).** Cold – Formed Steel Design Manual, 1996 Edition, Milwaukee, U.S.A., June 1997.
6. **ASCE.** Guidelines for Design of Joints between Steel Beams and Reinforced Concrete Columns. Journal of Structural Engineering, vol. 120, August 1994.
7. **AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS).** Structural Welding Code – Steel, 19th edition, Miami, U.S.A., 2004.
8. **ARELLANO, R.** Diseño de Estructuras de Acero. Parte I. Diseño por Esfuerzos Admisibles. Centro Tecnológico de Reproducción de Documentos ESPOCH, ISBN 9978-40-627-1, Riobamba, Ecuador, 1998.
9. **BOWLES, J.** Diseño de Acero Estructural, cuarta reimpresión, Editorial Limusa, México, 1993.

10. **BROCKENBROUGH, R.** Structural Steel Designer's Manual Handbook, fourth edition, McGraw-Hill, New York, U.S.A., 2006.
11. **BROCKENBROUGH, R., MERRIT F.**, Manual de diseño de estructuras de acero, tomo II, 2da. Edición, McGraw-Hill, Bogotá, Colombia, 1997.
12. **DAVINSON B., OWENS, G.** Steel Designers' Manual, 6th. edition, Blackwell Publishing, 2003.
13. **GARCIA, J. M.**, Curso Básico de Cálculo y Diseño de Estructuras Metálicas en Ordenador, McGraw-Hill, Madrid, España, 2000.
14. **McCORMAC, J. C.** Structural Steel Design, fourth edition, Pearson Prentice Hall Edit., New Jersey, U.S.A., 2008.
15. **RAY, S. S.** Structural Steelwork. Analysis and Design, Blackwell Science, U.S.A., 1998.
16. **SALMON, JOHNSON.** Steel Structures. Design and Behaviour, fourth edition, HarperCollins College Publishers, New York, U.S.A., 1996.
17. **SEGUI, W.** Diseño de Estructuras de Acero con LRFD, 2da. Edición, Editorial Thomson Internacional, México, 2000.
18. **TAMBOLI, A.** Handbook of Structural Steel Connection Design and Details, McGraw-Hill Edit., New York, U.S.A., 1999.
19. **VINNAKOTA, S.** Estructuras de acero: Comportamiento y LRFD, 1ra. Edición, Editorial McGraw-Hill, México, 2006.
20. **YU, W. W.** Cold – Formed Steel Design, third edition, John Wiley & Sons Inc., New York, U.S.A., 2000.

# CAPÍTULO 11

## 11 ANEXOS

### 11.1 HOJAS DE CÁLCULO

En esta parte se incluyen hojas de cálculo referentes a los distintos tipos de soldadura aplicados a las conexiones tratadas en este trabajo. Para el efecto se ha utilizado como herramienta el programa Microsoft Excel 2003.



Según el caso, en cada hoja de cálculo se ha sistematizado los métodos LRFD y ASD de las especificaciones AISC y AISI, por lo que el usuario tendrá la oportunidad de analizar y evaluar los resultados de cada método.

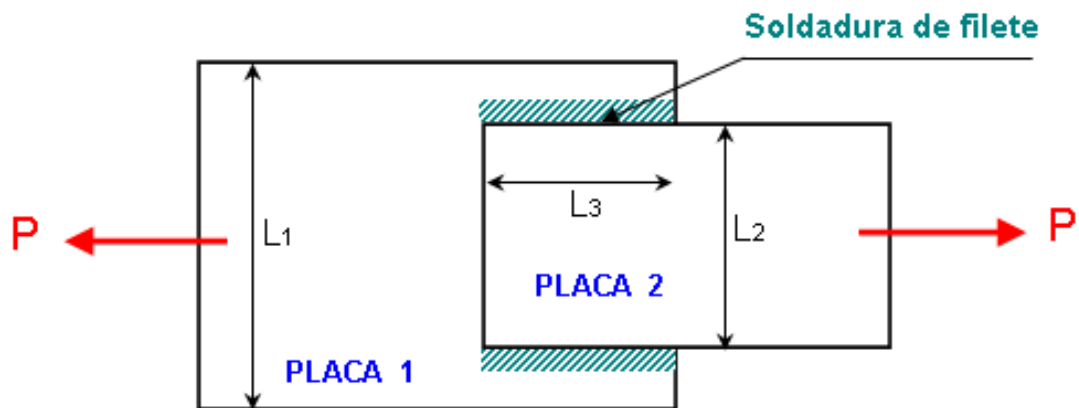
Cada una de las hojas de cálculo están programadas para dar resultados en dos grupos de unidades; para ello basta con seleccionar en la pestaña respectiva:

Unidades
klb-pulg ▾

Unidades
kg-cm ▾

El usuario debe tener cuidado de no eliminar o insertar filas o columnas en cualquiera de estos patrones de cálculo, ya que alteraría los resultados.

Para el ingreso de datos, el usuario debe limitarse únicamente a introducir valores en las celdas celestes que aparecen inmediatamente bajo la figura de cada patrón de cálculo; y como guía de identificación de variables se puede remitir al gráfico adjunto, en cada caso.



DIMENSIONES DE LAS PLACAS			
PLACA 1		PLACA 2	
$L_1 =$	30.48	cm	
esp. =	0.953	cm	
$L_2 =$	20.32	cm	
esp. =	0.953	cm	

DATOS DEL ACERO		DATOS DE LA SOLDADURA	
$F_y =$	2536.37	$L_3 =$	25.40
	kg/cm <sup>2</sup>		cm
$F_u =$	3522.73	filete w =	0.64
	kg/cm <sup>2</sup>		cm
		$F_{exx} =$	4931.83
			kg/cm <sup>2</sup>

A partir del entorno de ingreso de datos, el usuario podrá observar los resultados para el tipo de conexión escogido, con opción a obtener valores en los dos grupos de unidades mencionados anteriormente.

Cada una de las celdas inferiores a los cuadros de ingreso de datos están autoprogramadas, por tanto no se permite la escritura en ninguna parte, en virtud de alterar su programación.



Adjunto a este trabajo se incluye el respaldo magnético con los patrones de cálculo mencionados en este proyecto.