

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ACATLÁN"

Tesis profesional:

**Habilidades técnicas
fundamentales del líder del
programa de soldadura**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

Víctor Martínez Pineda

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos.

Si hay alguien a quien agradecer, la culminación de un gran esfuerzo que inicio con la ilusión de ser alguien de provecho, es mi madre a quien no podría definir con exactitud pues ella ha sido todo esmero en cuidados y sobre todo estímulo para no declinar en este emprendimiento. Y por supuesto, a Lupita, mi hermana mayor, quien depositó su confianza en mí brindándome su invaluable colaboración.

Desde otro ámbito expreso mi agradecimiento a la apreciable asistencia del Ing. Víctor J. Palencia Gómez, como asesor de tesis; al Ing. Agustín Valera Negrete quien amablemente me conminó a darle mayor solidez al propósito de este estudio y al Ing. Jesús López Padilla por su valiosa asistencia técnica.

Prólogo.

El impulso por externar mis satisfacciones, como ser el protagonista principal del programa de control de calidad en la inspección de construcciones metálicas soldadas y el placer que da la seguridad de presenciar y participar en la evaluación de todo el proceso constructivo, se conjugaron para poder dar una muestra de los recursos mínimos que se requieren al enfrentar este tipo de experiencias.

El presente estudio es una exposición de la serie de habilidades necesarias para atender tareas asociadas con la producción de soldadura, generada mediante el establecimiento de un arco eléctrico y de tipo estructural.

Considero, sin duda, que el presente estudio puede ser de utilidad para facilitar la identificación y selección de la técnica de soldadura más adecuada, entre las más utilizadas en la producción de estructuras metálicas, en función de las condiciones de una área de trabajo específica, interpretar y dar seguimiento a procedimientos de soldadura, intervenir durante pruebas para evaluar las habilidades de personal soldador, reconocer y validar material definido para fabricación, dar el uso correcto a las limitaciones para aceptación de soldaduras de prueba y de producción, generar e interpretar instrucciones asociadas con la soldadura, preparar y conservar registros de pruebas efectuadas a las soldaduras, preparar reportes y dictámenes responsablemente.

Contenido

Objetivo general**Justificación****Introducción**

| | Pág. |
|--|------|
| 1. Teoría de conexiones..... | 1 |
| 1.1 Introducción..... | 1 |
| 1.2 Clasificación de las conexiones..... | 2 |
| 1.3 Tipos de uniones en la soldadura..... | 13 |
| 1.4 Tipo de preparaciones en uniones de ranura..... | 14 |
| 1.5 Partes de una preparación..... | 17 |
| 1.6 Técnicas para preparación de uniones de ranura..... | 18 |
| 1.7 Posiciones de prueba para aplicación de soldadura..... | 21 |
| 1.8 Símbolos en la soldadura..... | 24 |
| 1.9 Símbolos de pruebas no destructivas..... | 39 |
| 2. Especificación de procedimiento para aplicación de soldadura..... | 41 |
| 2.1 Introducción..... | 41 |
| 2.2 Variables..... | 43 |
| 2.2.1 Variables esenciales..... | 43 |
| 2.2.2 Variables esenciales suplementarias..... | 43 |
| 2.2.3 Variables no esenciales..... | 44 |
| 2.3 Combinación de metales base y metales de relleno..... | 44 |
| 2.4 Ejemplo de especificación de procedimiento de soldadura (EPS)..... | 45 |
| 2.4.1 Requerimientos generales..... | 45 |
| 2.4.2 Requerimientos de calidad de la soldadura..... | 62 |
| 2.4.3 Especificación de procedimiento de soldadura bajo el proceso (FCAW-S)..... | 64 |
| 2.5 Calificación de procedimiento para aplicación de soldadura (EPS)..... | 65 |
| 2.6 Calificación de habilidad de personal soldador..... | 76 |
| 3. Procesos para aplicación de soldadura..... | 85 |
| 3.1 Introducción..... | 85 |
| 3.2 Procesos para aplicación de soldadura estructural..... | 87 |
| 3.2.1 Soldadura de arco con electrodo metálico revestido (SMAW)..... | 87 |
| 3.2.2 Soldadura de arco con electrodo metálico y gas (GMAW)..... | 94 |
| 3.2.3 Soldadura de arco con electrodo metálico de núcleo fundente (FCAW)..... | 99 |
| 3.2.4 Soldadura de arco con electrodo metálico sumergido (SAW)..... | 103 |
| 4. Control de calidad..... | 106 |
| 4.1 Introducción..... | 106 |
| 4.2 Clasificación de las pruebas no destructivas..... | 106 |
| 4.2.1 Técnicas de inspección superficial..... | 107 |
| 4.2.2 Técnicas de inspección volumétrica..... | 111 |
| 4.2.3 Técnicas de inspección de integridad..... | 114 |
| 4.3 Identificación de discontinuidades en la soldadura..... | 114 |

| | Pág. |
|--|------|
| 4.3.1 Grietas..... | 115 |
| 4.3.2 Inclusiones..... | 117 |
| 4.3.3 Fusión incompleta..... | 118 |
| 4.3.4 Penetración incompleta de la unión..... | 119 |
| 4.3.5 Traslape..... | 120 |
| 4.3.6 Porosidad..... | 121 |
| 4.3.7 Socavados..... | 122 |
| 4.3.8 Perfiles de soldadura..... | 123 |
| 4.3.9 Consideraciones dimensionales..... | 125 |
| 4.4 Clasificación de pruebas físicas destructivas..... | 128 |
| 4.4.1 Prueba de tensión..... | 128 |
| 4.4.2 Prueba de dureza..... | 130 |
| 4.4.3 Prueba de dobléz guiado..... | 131 |
| 4.4.4 Ensaye a la fractura por impacto..... | 132 |
| 4.4.5 Pruebas efectuadas a las soldaduras de filete..... | 132 |
| 5. Comparativa entre perfiles laminados y perfiles armados..... | 134 |
| 5.1 Introducción..... | 134 |
| 5.2 Beneficios de los perfiles armados..... | 135 |
| 5.3 Tipos de perfiles armados..... | 136 |
| 5.3.1 Trabes armadas a base de placas soldadas..... | 136 |
| 5.3.2 Columnas armadas a base de placas soldadas..... | 140 |
| 5.3.3 Ménsulas de sección reducida..... | 142 |
| 5.3.4 Optimización de miembros de sección variable..... | 143 |
| 5.4 Ventajas del diseño de construcciones con perfiles armados soldados..... | 143 |

Información complementaria:

A. Conclusiones.

B. Bibliografía.

C. Glosario de términos.

Habilidades técnicas fundamentales del líder del programa de soldadura

Objetivo general: Definir los parámetros técnicos que intervienen en el desarrollo de un procedimiento para aplicación de soldadura partiendo de especificaciones de diseño; como de las condiciones impuestas por el lugar de trabajo, importantes para garantizar la calidad y la máxima seguridad de componentes estructurales.

Capitulado

Objetivo específico

- | | |
|---|--|
| 1. Teoría de conexiones. | Describir las características típicas de conexiones estructurales de mayor uso dentro de la industria de la construcción metálica, conexión remachada, atornillada y soldada. |
| 2. Especificación de un procedimiento para aplicación de soldadura. | Identificar las variables y los requerimientos que se deben satisfacer en una prueba para la calificación de procedimientos de soldadura; así como para la calificación de habilidad del personal soldador, bajo un proceso de soldadura específico. |
| 3. Procesos para aplicación de soldadura | Exponer los fundamentos básicos y las ventajas inherentes a los procesos de mayor aplicación en la producción de soldadura estructural. Proceso de Soldadura por Arco metálico Revestido(Shielded Metal Arc Welding, SMAW), Soldadura por Arco Metálico y Gas(Gas Metal Arc Welding, GMAW), Soldadura por Arco Eléctrico con Núcleo de Fundente(Flux Cored Arc Welding, FCAW), Soldadura por Arco Sumergido(Submerged Arc Welding, SAW). |
| 4. Control de calidad. | Definir el conjunto de operaciones destinadas a comprobar la calidad de una unión soldada. |
| 5. Comparativa entre perfiles laminados y perfiles armados. | Describir las ventajas económicas que contribuyen en la gran aceptación de los perfiles armados dentro de la industria de la construcción. |
- A. Conclusiones.
B. Bibliografía.
C. Glosario de términos.

Habilidades técnicas fundamentales del líder del programa de soldadura

Justificación del tema:

"Preparación de un procedimiento para aplicación de soldadura"

Es muy común que dentro del área de la construcción, antes de iniciar cualquier actividad, se considere requisito indispensable disponer de una estrategia de ejecución, en la cual se define el alcance y requerimientos generales necesarios para que el producto final pueda cumplir con la función a la que está destinada, con un grado razonable de seguridad.

En soldadura es esencial que el metal con que se suelda (aporte) tenga iguales o mejores propiedades mecánicas que el metal base que conjugándose con su buena aplicación derivada de una supervisión constante, es posible obtener una respuesta o comportamiento aceptable ante los esfuerzos originados por las fuerzas que actúan una vez que ésta se encuentra en condiciones de servicio.

La inspección dentro del proceso de la soldadura juega un papel muy importante, es por esto que todos los códigos incluyen dentro de sus requerimientos el disponer de personal capacitado para asegurar el cumplimiento de las medidas aplicables a un tipo de soldadura específico durante todo el proceso de ejecución.

El material contenido en este estudio es una recopilación de datos y requerimientos pertinentes para obtener soldaduras con características de resistencia y solidez, suficientes para soportar el máximo de las cargas de trabajo que de ellas se espera. Además de la descripción de conceptos básicos se incluye la definición de parámetros estrechamente relacionados con el comportamiento final de una unión soldada, partiendo de una base de formatos conocidos como especificación de procedimiento para aplicación de soldadura (Welding Procedure Specification, WPS) y registro de calificación de procedimiento (Procedure Qualification Record, PQR), los cuales son formulados disponiendo de datos definidos por diseño y condiciones del área de trabajo:

- Uso del ensamble soldado
- Especificación de metal base
- Especificación del metal de aporte
- Tipos de unión
- Condiciones del área de trabajo (acceso a zonas por soldar).

Para identificación de defectos o discontinuidades detectadas mediante alguna de las técnicas de inspección destructiva o no destructiva, aplicadas a soldaduras de prueba o a soldaduras de producción, se incluye una descripción de fallas y medidas para evitar su aparición. Las técnicas de inspección y los criterios de evaluación, de defectos o

discontinuidades detectadas en las soldaduras, serán definidos por el código de fabricación establecido en documentos de contrato.

En resumen, el presente estudio tiene como propósito resaltar el papel tan importante que juega la soldadura dentro de la construcción de edificaciones conformadas por estructuras metálicas y exponer los requerimientos exigidos por código como las pruebas a las que deben de ser sometidas para garantizar un comportamiento mecánico efectivo durante su puesta en servicio.

Introducción.

El primer intento por unir dos piezas del mismo metal, conocido como forja, la cual consiste, propiamente, en la unión mecánica de dos superficies con una relativa resistencia, cuya parte débil la constituye el lugar en donde se efectúa la unión.

La técnica de unión por soldadura de planchas de acero, desarrollada aproximadamente a mitad del siglo XX, ante la urgente necesidad de construir buques para la guerra, consiste en la unión de metales mediante la fusión de ellos, lográndose así que tal unión de dos piezas sea en forma permanente; utilizándose para ello los procesos y materiales adecuados.

Hoy en día y gracias al constante desarrollo de nuevas técnicas para producción de soldadura, resultado de la investigación y experimentación, la unión soldada constituye un sistema de conexión segura y eficiente en una amplia variedad de materiales soldables.

La incorporación de una amplia línea de procesos y medios para aplicación de la soldadura tiene como fundamento reducir los problemas de operación, evitar errores y obtener mejores resultados en cuanto a rendimiento y calidad.

La eficiencia de la soldadura ha ido incrementándose paulatinamente, no sólo por el uso cada vez más frecuente de procesos automatizados, sino también gracias al estricto control que se tiene sobre los materiales empleados, como de la mano de obra que interviene en su aplicación, aunado al progresivo avance de los conocimientos científicos sobre la misma, entre los cuales se cuentan:

- Estudios para reducir problemas de distorsión
- Búsqueda de métodos de prueba para mejorar el comportamiento de tipos específicos de soldaduras
- Entendimiento de los efectos del carbón, oxígeno, nitrógeno y la velocidad de enfriamiento sobre las propiedades mecánicas de la soldadura
- Otros.

Hoy, el programa de soldadura va desde trabajos de herrería hasta la unión de ensambles sujetos a cargas pesadas y altas presiones de trabajo. La adopción de la soldadura como tema de estudio, obedece al interés por perseguir que se satisfagan las condiciones, previas importantes, que deben atenderse para garantizar la entrega de soldaduras con calidad, conexiones con amplio margen de seguridad, con la menor inversión de tiempo y a un costo real.

Además de la variedad en la presentación del metal de aporte, cuya configuración responde a las necesidades de la práctica, en el presente estudio se incluyen, también, las herramientas adecuadas, equipos de corte y preparación, así como la mecánica para asegurar una buena práctica de manufactura.

Generalmente la construcción, como cualquier actividad humana, posee como sello característico la tendencia al error; pero los errores en la construcción, voluntarios o circunstanciales, son de fatales consecuencias, puesto que ocasionan la pérdida de vidas humanas y cuantiosos daños materiales al producirse un colapso ante esfuerzos que no alcanzan a resistir componentes soldados, mal ejecutados.

El disponer de personal técnicamente preparado, supervisor o líder del programa de soldadura, durante la fabricación de componentes soldados, que revise y apruebe que los procedimientos de trabajo sean los adecuados para prevenir las deficiencias durante los procesos de habilitado, fabricación y montaje, de alguna manera es una garantía para la erradicación de preocupaciones posteriores, temor a peritaje, juicios y cargos legales o de conciencia.

Líder, es aquel que establece la unidad de propósito, dirección y el ambiente para involucrar totalmente al personal con la finalidad de alcanzar los objetivos de una organización.

Entre las responsabilidades de un líder del programa de soldadura se cuentan:

1. Interpretar planos y documentos relacionados con la producción de soldadura tales como planos de estructuras metálicas, formularios para calificación de procedimientos de soldadura y calificación de habilidad de soldadores, especificaciones y códigos.
2. Verificar que el equipo de soldadura que vaya a emplearse para el trabajo, esté en buen estado operativo y que sea el indicado de acuerdo a las necesidades de la producción
3. Asegurarse que aquellos soldadores calificados dentro de un rango de trabajo, apliquen las soldaduras que están dentro de su nivel de calificación, y que ellas cumplan con el procedimiento correspondiente. Permitir únicamente la intervención de personal soldador calificado en la aplicación de soldaduras de producción.
4. Solicitar la identificación de todas las uniones soldadas, con la clave asignada al soldador que la aplicó.
5. Presenciar y/o conducir pruebas de desempeño de los soldadores o supervisar estas actividades cuando agencias externas las realicen. Documentar los resultados de las pruebas de calificación
6. Solicitar la recalificación de los soldadores cuando su trabajo no cumpla con los estándares o si sus calificaciones expiran.
7. Inspeccionar la preparación de uniones a soldar y el ajuste para asegurar el cumplimiento con las especificaciones de diseño
8. Asegurar que los metales de aporte estén debidamente identificados y que se conserven en buen estado
9. Verificar que la calidad del trabajo cumpla con el código, estándar, diseño y documentos correspondientes (planos de detalle, procedimientos, especificaciones, etc.)
10. Preparar reportes de nivel de calidad, claros y concisos, con respecto a actividades de soldadura, inspecciones y pruebas

A continuación se presenta una recopilación de datos importantes para facilitar la interpretación de "especificaciones de procedimientos para aplicación de soldadura", variables y requerimientos que serán determinantes de la respuesta última de una unión soldada; además, para hacer más consistente la comprensión de cada variable incluida en los formularios se proporciona información acerca de definición de términos, posiciones, simbología, procesos para la aplicación de soldadura y las técnicas de inspección, de uso más frecuente, necesarios para interpretar correctamente especificaciones y requerimientos durante la evaluación del nivel de calidad de una soldadura de prueba o de producción.

CAPÍTULO 1

Teoría de Conexiones

1.1 Introducción

En cualquier componente, de acero estructural, una conexión constituye la unión entre dos o más elementos que llegan a un mismo punto de incidencia con el objeto de formar una unidad capaz de resistir la acción de las cargas a las cuales estará sometida, sin importar la forma del producto o el tipo de carga.

Por lo tanto, es de gran importancia que el material de fijación empleado satisfaga las condiciones de resistencia mínimas permisibles del metal base, y que cualquier desviación relativa a tamaño, localización y extensión se mantenga dentro de los límites de aceptación definidos por diseño y u o especificación.

En virtud de que la definición de las dimensiones y características de una unión son resultado de un análisis en el que se conjugan la respuesta ante las diferentes sollicitaciones o cargas de servicio con la selección del método que brinde las condiciones de seguridad, costo y tiempo razonables, es necesario que todas las instrucciones y especificaciones se lleven a efecto, con la mayor precisión posible.

El conocimiento de la naturaleza de cada método de conexión resulta ser un factor importante durante la búsqueda de alternativas para conseguir optimizar la inversión de tiempo y costos de construcción.

Igual de importante resulta la información complementaria de este capítulo, pues se definen conceptos básicos que permitirán entender mejor el contenido principal de este estudio.

1.2 Clasificación de las conexiones.

Los métodos generales de unión de metales se resumen de acuerdo a la siguiente clasificación, extraída del estándar de términos y definiciones de soldadura de la sociedad norteamericana para la soldadura AWS A3.0-94 (Ilust. 1.1)

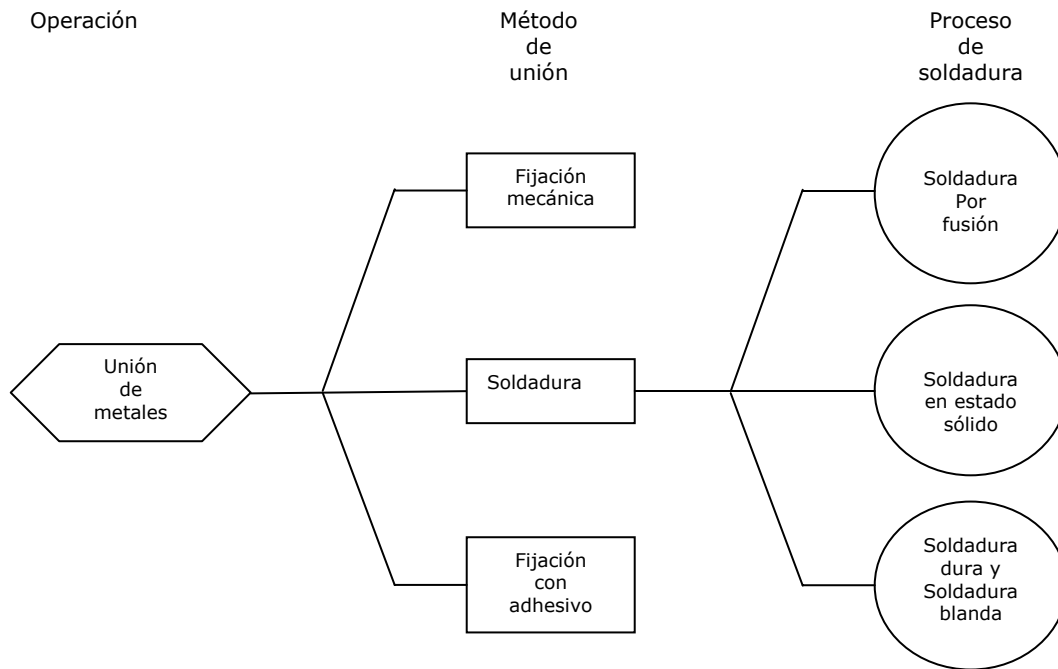


Ilustración 1.1- Carta de métodos de unión

1.2.1 Conexiones mecánicas

Entre los tipos de conexiones comúnmente empleadas, dentro del área estructural, se distinguen:

- Conexiones remachadas
- Conexiones atornilladas

1.2.1.1 Conexiones remachadas.

La función de los remaches es servir como conectores de cortante y como dispositivos de unión y amarre; las cabezas evitan que las partes conectadas se separen. Los barrenos para los remaches tienen que ser punzonados o subpunzonados y rectificadas, o bien taladrados. Los barrenos normalmente se hacen 1/16" más grandes que el diámetro nominal del remache.

El acero de mayor empleo en la fabricación de los remaches corresponde a la especificación de la ASTM A502 (sociedad norteamericana de pruebas y materiales, American Society for Testing and Materials), grado 1, de alta resistencia. El esfuerzo permisible a la tensión es del orden de 20,000 lb/pulg² y el esfuerzo al corte por aplastamiento le corresponde 15,000 lb/pulg². En general, los remaches no se deben utilizar en tensión directa.

Los remaches hechos a partir de acero en barras, salen con una cabeza fabricada. Las conexiones con remaches generalmente se hacen remachando la cabeza caliente (rojo cereza, alcanzado a 1050°C aproximadamente) con martillos o pistolas neumáticas, hidráulicas o eléctricas y no deberán colocarse cuando su temperatura haya bajado de 540°C. En este caso las cabezas terminadas tendrán forma aproximadamente hemisférica, serán de tamaño uniforme en toda la obra, para el mismo tamaño de remache, estarán ajustadas, bien acabadas y concéntricas con los barrenos. La asociación norteamericana de caminos y medios de transporte oficial del estado, AASHTO, permite el remachado en frío de remaches de 3/8" de diámetro y menores.

Los remaches suelen ser instalados con remachadoras de potencia, del tipo de máquinas de presión o de operación manual utilizando energía neumática, hidráulica o eléctrica.

Los remaches de la especificación de la sociedad norteamericana de pruebas y materiales, ASTM A502, grado 1, se usan comúnmente con acero ASTM A36, mientras que los remaches de la especificación ASTM A502, grado 2, son más eficaces con aceros de baja aleación y alta resistencia tipo ASTM A242 y ASTM A572. Para un acero tipo ASTM A588, se deben usar remaches especiales los cuales además de contar con la misma resistencia mecánica deben ser resistentes al desgaste ocasionado por agentes químicos.

El paso mínimo, entre remaches, esta controlado por las necesidades de fabricación. Las distancias a los bordes están regidas por el tamaño de la cabeza de los remaches en los miembros y la curvatura del borde rolado. El paso máximo de los remaches en los miembros de compresión esta limitado para evitar el pandeo de las placas individuales, mientras que el espaciamiento de los remaches a lo largo de los bordes libres del material está restringido para asegurar el sellado de la junta.

En filas largas de remaches la ejecución debe comenzar en la mitad de la fila. En filas paralelas el remachado debe avanzar simultáneamente en todas las filas.

Toda unión que presente complicaciones de ejecución, por ejemplo uniones de varias piezas, deben ser realizadas en el taller. Sólo en casos excepcionales de imposibilidad con aprobación del proyectista estructural y bajo previsión del director de obra pueden ser realizadas en obra.

Su uso actualmente está restringido a equipos sometidos a fuerte vibración, además del incremento en el uso de tornillos y la soldadura, los cuales reducen el costo de construcción.

1.2.1.2 Conexiones atornilladas.

Las conexiones atornilladas son más fáciles de efectuar ya que para realizarlas no se requiere de mano de obra especializada y, por lo tanto, resultan más económicas que las remachadas en una proporción del 15% al 20% o soldadas en una proporción del 10% al 15%.

Estas conexiones se emplean en gran medida cuando se requiere que los elementos conectados sean desmontables para mantenimiento de equipo o cuando se conoce de

antemano que existirá deterioro de los elementos de la estructura debido al medio ambiente o al proceso propio de las instalaciones.

Hay dos tipos de conexiones con tornillos para puentes y edificios, el tipo de aplastamiento y el tipo de fricción. Las conexiones de tipo aplastamiento resisten esfuerzos de cortante de mayor intensidad. Por lo tanto, se requieren menos tornillos. Las conexiones del tipo fricción ofrecen mayor resistencia a cargas repetidas y, por tanto, se usan cuando las conexiones están sujetas a inversión de esfuerzo o cuando el deslizamiento sería indeseable. Para la determinación de los esfuerzos permisibles de mayor intensidad en las conexiones de tipo aplastamiento, se excluye la cuerda del tornillo del plano de corte. Los ensayos han demostrado que la resistencia última de ambas conexiones es aproximadamente la misma. La mayor parte de las construcciones de edificios se hace con conexiones del tipo aplastamiento.

Los aceros para tornillos de calidad estructural están amparados por las siguientes especificaciones:

- Tornillos estándar de acero al bajo carbono, roscados interna o externamente, ASTM A307
Grado A para aplicaciones estructurales
Grado B para conexiones de tuberías bridadas
- Tornillos de alta resistencia para conexiones de acero estructural, incluyendo tuercas y arandelas, ASTM A325
- Tornillos y espárragos de acero templado y endurecido, ASTM A449
- Tornillos de acero de aleación templado y endurecido para conexiones de acero estructural, ASTM A490

Los tornillos A449 se usarán solamente en conexiones por aplastamiento, que requieren sujetadores de diámetro mayor de 38 mm.

En trabajos atornillados, algunos barrenos en las piezas de conexión no siempre se encuentran perfectamente alineados llegando a requerir de la ampliación de los barrenos para conseguir insertar los tornillos o remaches. Por lo que algunas especificaciones suelen permitir el subpunzonado y ensanchado de barrenos durante el ensamble. Esta operación consiste en punzonar los barrenos 1/8 a 1/4 de pulgada más pequeños que su tamaño final y ya durante el ensamble se les realiza el ensanchado, con un rectificador eléctrico o neumático, hasta conseguir el diámetro adecuado y hacer coincidir los barrenos.

Para conseguir, con seguridad, que los barrenos coincidan, algunas especificaciones permiten que las conexiones de campo sean rectificadas apoyándose en una plantilla metálica o que los miembros a unir sean rectificadas, mientras son ensamblados, en taller. Una u otra de estas operaciones representan un incremento considerable en el costo de fabricación, por lo que generalmente son considerados únicamente para conexiones poco frecuentes, grandes e importantes.

Si el espesor del material es menor que el diámetro nominal del tornillo más 1/8 de pulgada, los barrenos pueden realizarse por punzonado. Si el espesor del material es

mayor que el diámetro nominal del tornillo más 1/8 de pulgada los barrenos deben ser taladrados o subpunzonados y rectificadas.

Los barrenos en placas de acero A514, mayores de 1/2 pulgada de espesor, deben ser taladrados.

Los aceros de alta resistencia se caracterizan por tener un mayor grado de dureza y el punzonado puede ser limitado a materiales delgados.

Existen casos especiales en los que los barrenos son punzonados con 1/16 de pulgada más grandes que el diámetro de tornillos o remaches a utilizar. Esto para proporcionar el espacio que facilite la instalación de los fijadores al manifestarse algún ligero desfase de los barrenos.

Los tornillos de alta resistencia se aprietan con una llave calibrada (torquímetro) o por el método de "vuelta de la tuerca". Las llaves calibradas son mecánicas y tienen un corte automático fijo para un par mecánico predeterminado. El método de "vuelta de la tuerca" requiere ajustar las partes que se van a unir y luego dar vuelta en una cantidad especificada, como media vuelta o tres cuartos de vuelta. Como otro medio, puede usarse un indicador directo de tensión, como una rondana indicadora de carga. Este tipo de rondana tiene superficies levantadas en un lado que, cuando se comprimen hasta una altura predeterminada (0.005 de pulgada medidas con un medidor de laminillas) indican la consecución de la tensión requerida del tornillo.

Todos los tornillos A325 y A490 se apretarán hasta producir en ellos una presión no menor que la aplicable al tamaño requerido (Ilust. 1.2).

Cuando sea necesario, el efecto de compresión sobre las chapas que integran la unión será asegurada mediante el empleo de arandelas.

Las superficies de partes unidas con tornillos de alta resistencia que estén en contacto con la cabeza del tornillo o con la tuerca, no tendrán una inclinación mayor de 1:20 con respecto a un plano normal al eje del tornillo. Si la inclinación es mayor se usará una arandela biselada para compensar la falta de paralelismo.

Los tornillos apretados por medio de llaves calibradas se instalarán con arandelas endurecidas debajo de la tuerca o de la cabeza del tornillo, según sea el elemento que gire durante el apretado. No se requieren arandelas endurecidas cuando los tornillos se aprietan por el método de vuelta de tuerca, pero si deben colocarse debajo de la tuerca y de la cabeza, cuando se usan tornillos A490 para unir material con un límite de fluencia menor de 2810 kg/cm²

Apriete (torque) en libras-pie y kg-m que se requiere en las diferentes calidades de tornillos al emplearse en estructuras de acero

| ESTÁNDAR | DIÁMETRO DEL TORNILLO EN MILÍMETROS-PULGADAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|----------------|--|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | 3/8 | 7/16 | 1/2 | 9/16 | 5/8 | 3/4 | 7/8 | 1 | 1-1/8 | 1-1/4 | 1-3/8 | 1-1/2 | 1-5/8 | 1-3/4 | 1-7/8 | 2 | 2-1/4 | 2-1/2 | 2-3/4 | 3 | | | | | | | | | |
| | 10 | 11 | 13 | 14 | 16 | 19 | 22 | 25 | 28 | 32 | 35 | 38 | 41 | 44 | 48 | 51 | 57 | 64 | 70 | 76 | | | | | | | | | |
| | 19 2.6* | 30 4.1* | 45 6.2* | 66 9.1* | 93 12.9* | 150 20.7* | 202 27.9* | 300 41.5* | 474 65.5* | 659 91.1* | 884 122.2* | 1057 146.5* | 1448 200.2* | 1884 260.5* | 2336 322.9* | 2721 276.2* | 3117 430.9* | 4380 605.5* | 7319 1011.9* | 9455 1307.2* | | | | | | | | | |
| A-325 | | | 100 13.8* | | 200 27.6* | 355 49.1* | 525 72.6* | 790 109.2* | 1060 146.1* | 1495 206.7* | 1960 271.0* | 2600 359.5* | Los valores mostrados son los apropiados para fijar permanentemente una estructura metálica. Los números marcados con asteriscos son los equivalentes a kg-m. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A-490 | 55 7.6* | 90 12.4* | 138 19.1* | 198 27.4* | 270 37.3* | 444 61.4* | 709 98.0* | 1071 148.1* | 1692 234* | 2360 326.3* | 3159 436.7* | 3780 522.6* | 5173 715.2* | 6736 931.3* | IMPORTANTE: Aplicar requerimientos que aparecen en las notas. | | | | | | | | | | | | | | |

NOTAS:

1) Los valores mostrados en la tabla deben emplearse como referencia para las estructuras metálicas que requieren montaje atornillado. Se tomara en cuenta que los tornillos deben estar secos, limpios, sin ninguna oxidación y protegidos con una ligera película de aceite, cera, etc.

2) Los valores mostrados en la tabla deberán multiplicarse por 0.9 cuando los tornillos sean encamisados y por 0.8 cuando tanto los tornillos como las tuercas tengan que ser encamisados.

3) Los valores mostrados deberán multiplicarse por 0.9 cuando se lubriquen los tornillos con aceite especial que soporte grandes esfuerzos como grafito, cobre coloidal, etc.

4) Es muy importante que la superficie de contacto tanto de la tuerca como del tornillo a las piezas por sujetar sea limpiada escrupulosamente.

5) Los valores mostrados dan una presión de sujeción entre 60 y 70% de esfuerzo de ruptura a la tensión del tornillo, tomando en consideración el límite elástico.

6) El apriete (torque) adecuado se puede determinar apretando uno de los tornillos hasta lograr su ruptura y se anotará el valor alcanzado. El apriete (torque) apropiado será del 50 al 60% de ese valor.

Ilustración 1.2- Presión de apriete para diferentes calidades de tornillos

La acción de apretar demasiado un tornillo, comúnmente, no es un problema serio. El tornillo trabaja bien tanto en la región plástica como en la elástica. Si el apretado es excesivo, habrá falla; en este caso el operario sólo necesita reemplazar el tornillo.

La falta de apretado de los tornillos en una conexión del tipo de fricción conducirá al aflojamiento de las tuercas que puede causar la falla de la conexión.

1.2.1.2.1 Identificación de tornillos.

Los tornillos sin acabado se caracterizan por la cabeza y tuerca cuadradas, también se conocen como tornillos de máquina, comunes u ordinarios. Este tipo de tornillos están cubiertos por la especificación ASTM A307.

Los tornillos tipo ASTM A325 se identifican por tres líneas radiales en la cabeza y la notación A325. La tuerca se identifica con tres marcas circunferenciales espaciadas a 120° o con el número 2.

Los tornillos tipo ASTM A490 se identifican con la marca de la especificación en la cabeza, y la tuerca por la marca 2H.

1.2.1.3 Conexiones soldadas

Tipos más comunes de uniones soldadas:

- Soldadura por fusión
- Soldadura en estado sólido o en frío
- Soldadura dura y soldadura blanda

Para este efecto únicamente se atenderá el tipo de soldadura aplicada por fusión por ser la de uso más común dentro de la construcción con acero estructural.

1.2.1.3.1 Soldadura por fusión.

Es la unión de dos o más piezas metálicas o no metálicas, por aplicación de calor, presión o una combinación de ambos, con o sin metal de aporte.

En las conexiones estructurales soldadas las partes que se van a unir se funden a altas temperaturas, en general agregando los materiales metálicos adecuados. El Código de soldadura para acero estructural de la sociedad norteamericana para la soldadura, AWS D1.1, regula la aplicación de los diferentes tipos y tamaños de soldaduras, esfuerzos permitidos en la soldadura y el metal base, geometría de la preparación, tipos y tamaño del material de aporte, detalles para la elaboración y calificación de los procedimientos de soldadura y de soldadores.

La fabricación de estructuras metálicas con soldadura tiene las siguientes ventajas sobre las construcciones remachadas y atornilladas que las hacen más atractivas para los diseñadores:

- Ahorros de acero debido a la eliminación de barrenos que disminuyen la sección efectiva a la tensión y la omisión de materiales de empalme adicionales.
- Apariencia más limpia.
- Facilidad de reparación.
- Menos ruido durante el montaje.
- En bastantes casos una conexión soldada resuelve problemas en los cuales efectuarlas con tornillos o remaches sería imposible (zonas de difícil acceso).
- La eliminación de placas de unión y empalme hace que el tiempo en armado y montaje sea menor, además de proporcionar más limpieza de la obra.
- El uso de soldadura da mayor rigidez a la conexión ya que evita la deformación de las placas o ángulos por la transmisión de cargas.
- Las uniones soldadas brindan mejor resistencia a la fatiga, a las cargas de impacto y a vibraciones severas.
- Al hacer modificaciones a estructuras existentes se considera que cualquier deslizamiento es probable que ocurra tanto en las uniones remachadas como en las de tornillos de alta resistencia, formándose inmediatamente uniones del tipo de empuje, en tales casos se permite el uso de soldadura para resistir los esfuerzos proyectados junto con los producidos por las cargas muertas existentes al tiempo de hacer la modificación.
- Con las uniones soldadas típicas es posible conseguir conexiones limpias y bien conformadas que se pueden dejar expuestas.

- Las uniones soldadas exhiben menos corrosión y requieren poco o ningún mantenimiento.
- Las uniones soldadas facilitan la fabricación de muros, fachadas y la adaptación de otros miembros en contacto con la estructura, además de que, frecuentemente, permiten la reducción de espesores en muros y pisos de edificios.

Estos beneficios se ven parcialmente disminuidos en parte por las siguientes desventajas de fabricación:

- Restricción en la selección de aceros soldables.
- Mayores necesidades de espacio de trabajo.
- Necesidades de inspección más extensas y frecuentemente más costosas.
- Distorsiones resultantes de los enfriamientos diferenciales de la soldadura y la zona afectada por el calor y, consecuentemente, formación de esfuerzos residuales, que son difíciles de localizar.
- Fragilidad de la soldadura a bajas temperaturas.
- Habilitado del acero sin orientar el sentido de laminación con el sentido de transmisión de los máximos esfuerzos calculados.

Finalmente, la construcción con soldadura requiere control especial durante la fabricación de puentes en climas fríos. Cuando se utiliza la soldadura en empalmes de campo bajo condiciones poco favorables para el control efectivo de las variables asociadas con el tipo de soldadura a aplicar, inferiores a las que se tienen en los talleres cubiertos, los empalmes deben pasar por una rigurosa inspección.

Muchos diseñadores están a favor de la combinación de soldadura en el taller con el atornillado de alta resistencia en las conexiones de campo. Como ejemplo, es muy común encontrarse que en las conexiones de placas de extremo se aplique soldadura de taller y se reciban con tornillos en campo.

En el diseño de traveses remachados, el espesor del alma y las dimensiones de los patines de ángulo deben mantenerse, necesariamente, constantes a lo largo de la trabe. Tendiendo a adaptar el módulo de sección a las variaciones del momento mediante la sucesiva adición de cubreplacas, en ambos patines, con espesores que no excedan el de los ángulos (Ilust. 1.3).

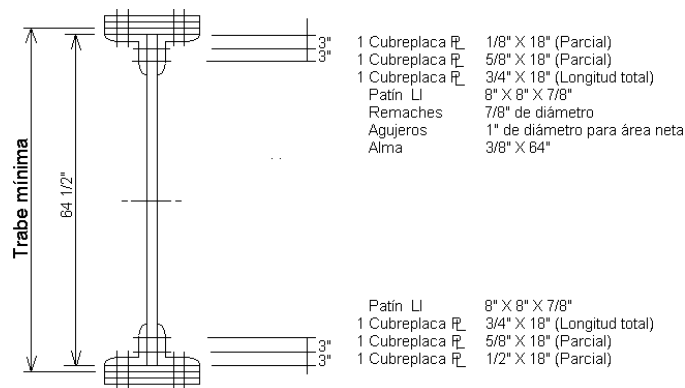


Ilustración 1.3- Sección transversal típica de una trabe remachada

En tanto que en el diseño soldado, las variaciones de la resistencia a momento mecánico se obtienen con placas de patín de diferentes espesores, anchos o grados de acero, soldadas a tope unas con otras en sucesión (Ilust. 1.4). La colocación de las placas, como en el diseño remachado, no es recomendable.

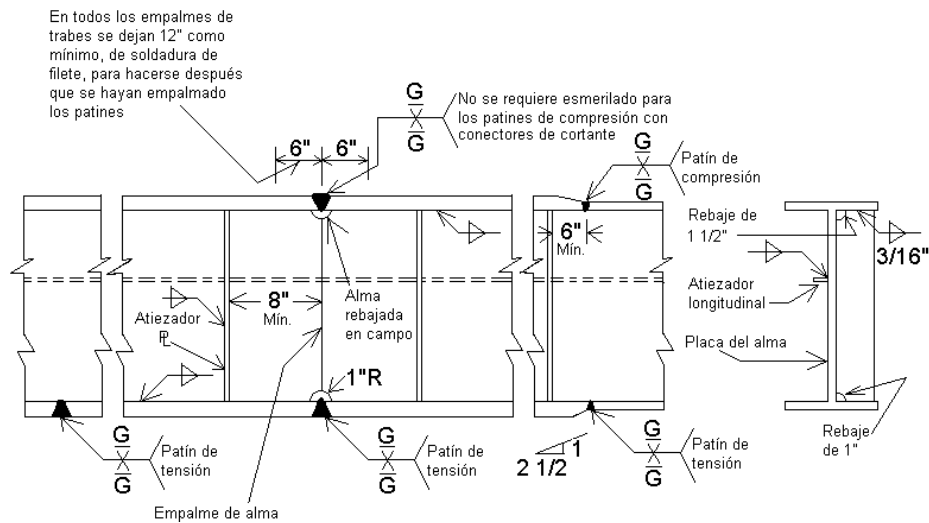


Ilustración 1.4- Detalles típicos de traveses soldados

1.2.1.3.2 Proyección de la soldadura en la industria de la construcción

El descubrimiento de la soldadura eléctrica, en el año de 1877, se le atribuye al estadounidense Elihu Thomson.

Gracias al desarrollo de nuevas técnicas durante la primera mitad del siglo XX, la soldadura sustituyó al atornillado y al remachado en la construcción de muchas estructuras, como puentes (Ilust. 1.5) edificios y barcos. La técnica de fijación con soldadura es fundamental en la industria del motor, en la aeroespacial, en la fabricación de maquinaria y en la de cualquier producto hecho con metales.



Ilustración 1.5- Puente de acero Austin, Texas

En los últimos años se han operado grandes cambios en el proceso de construcción de los barcos gracias a la soldadura en lugar de remaches para sujetar las piezas y a la utilización de grúas que pueden levantar, transferir y situar cargas muy pesadas, de hasta 725 t. Las partes del barco (Ilust. 1.6) siguen siendo las mismas, pero se montan en grandes subconjuntos o bloques dentro de los talleres. El tamaño de los bloques se determina conforme a la mejor utilización de las instalaciones del astillero. Se construyen generalmente boca abajo para facilitar la soldadura de todas sus partes.



Ilustración 1.6- Barco petrolero

La amplia aplicación de la caldera tubular (Ilust. 1.7) se hizo posible en el siglo XX con adelantos como las aleaciones de acero resistentes a las altas temperaturas y las técnicas modernas de soldadura, que convirtieron la caldera tubular en el modelo de las grandes calderas.



Ilustración 1.7- Generador de vapor

Los trenes de largo recorrido (Ilust. 1.8) han logrado mantener un tráfico frecuente y regular, a lo que hay que añadir importantes mejoras en la comodidad: los avances en la suspensión y la supresión de las uniones de las vías gracias a la técnica de la soldadura continua de los carriles hacen que los trenes de pasajeros se deslicen con gran suavidad.



Ilustración 1.8- Soldadura de vías ferroviarias

Durante la II Guerra Mundial, la soldadura sustituyó a los remaches en la construcción naval; como es el caso de los cascos de buques, cascos de submarinos para grandes profundidades (Ilust. 1.9).



Ilustración 1.9- Equipo naval anfibio

Los oleoductos se construyen mediante la unión por soldadura de tubos de acero (Ilust. 1.10) que se colocan superficialmente o ocultos bajo el nivel del terreno existente.



Ilustración 1.10- El soldador utiliza el control para ajustar la distancia de la boquilla a la pieza de trabajo, la velocidad de avance y el ancho de la oscilación

La prefabricación representa, esencialmente, una notable reducción de tiempo y precio, sobre todo en los países donde la mano de obra resulta costosa, así como una enorme fiabilidad en las medidas, resistencias y propiedades intrínsecas.

1.3 Tipos de uniones (juntas) en la soldadura.

Cada unión se diferencia de la otra por el ángulo o tipo de bisel que le da forma, y en consecuencia la soldadura se depositará según las exigencias que impongan la preparación y el tipo de metal base (Ilust. 1.11):

- Unión a tope (de ranura)
- Unión de traslape
- Unión en T
- Unión en esquina
- Unión de borde

Existen muchas otras uniones pero son modificaciones de las anteriores.

1.3.1 Unión a tope (de ranura). Se define como la unión entre dos miembros alineados aproximadamente sobre el mismo plano. Es la más usada en la industria (Aprox. 60%). Se emplea en espesores menores a $5/32$ " (8mm). La soldadura a tope puede realizarse por uno o ambos lados, asegurando mayor penetración.

1.3.2 Unión de traslape. Se define como la unión entre dos miembros paralelos traslapados sobre un mismo plano. Se emplea algunas veces en lugar de la unión a tope.

1.3.3 Unión en " T ". Se define como la unión entre dos miembros acomodados aproximadamente en ángulo recto uno del otro, en forma de T. Es un tipo de unión de gran aceptación en el área industrial, donde aproximadamente el 25% de las soldaduras caen dentro de esta categoría.

1.3.4 Unión en esquina. Se define como la unión entre dos miembros acomodados aproximadamente en ángulo recto uno del otro en forma de L.

1.3.5 Unión de borde. Se define como la unión entre los bordes de dos o más miembros paralelos o aproximadamente paralelos.

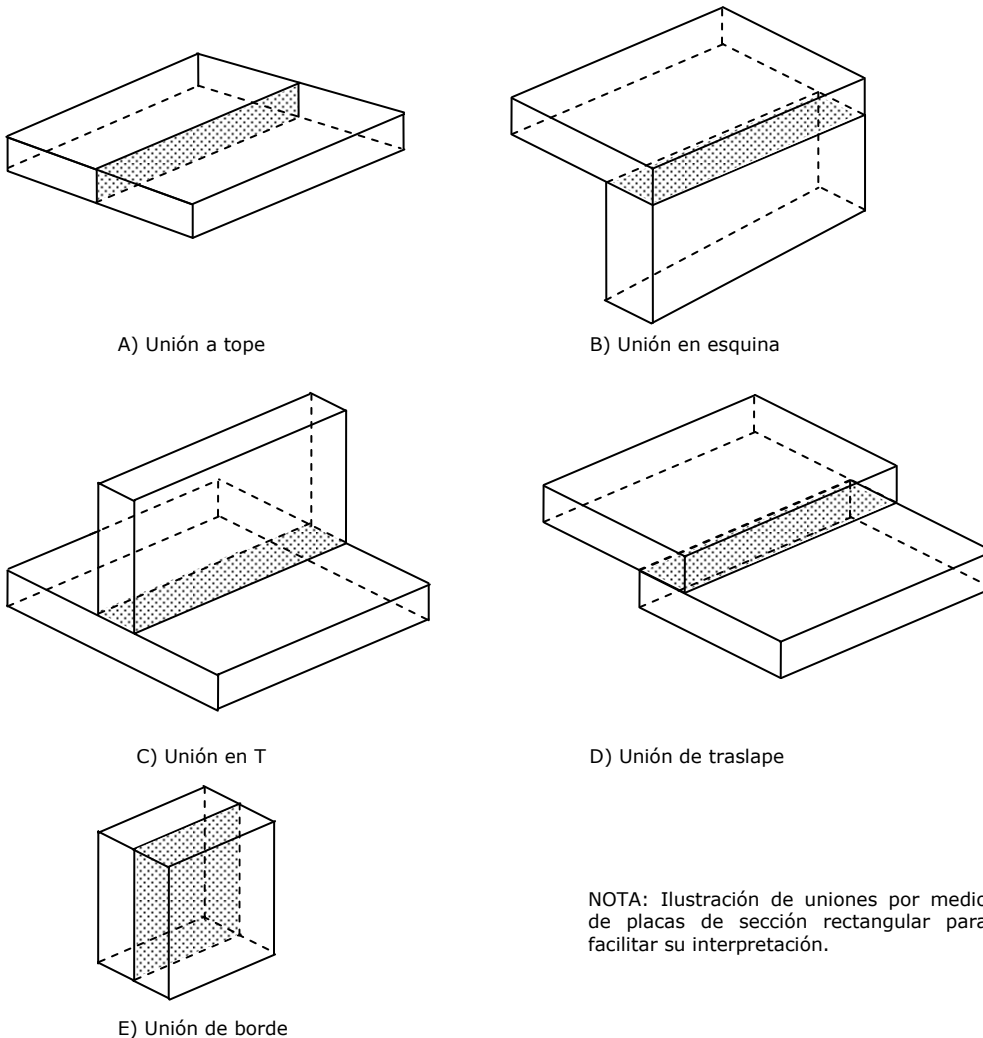


Ilustración 1.11- Tipos de uniones básicas

1.4 Tipo de preparaciones en uniones de ranura.

Normalmente en la preparación de una unión el tipo de la misma se relaciona con el espesor del material que se va a unir y con las características de trabajo de la pieza en construcción.

Más adelante se muestra, por medio de dibujos, la forma de ciertas preparaciones de uniones en ángulo y a tope (Ilust. 1.12).

La preparación de las juntas en la soldadura es uno de los aspectos más importantes y complicados. Son importantes por su aplicación en la soldadura y complicados por la razón de que se necesita una serie de conocimientos para seleccionar la preparación más adecuada. Para que una pieza lleve preparación deberá tener más de 6 mm. (5/16 de pulgada).

Una preparación adecuada tiene como objetivo satisfacer los siguientes puntos:

- a. Penetración completa.
- b. Ahorrar el material de aporte.
- c. Facilitar la soldadura

a. Penetración completa.

Dentro de una soldadura el aspecto más importante es la penetración, ya que sin ésta la pieza se fracturará. Para que exista es necesario utilizar la preparación adecuada en el material de la pieza.

Para que la penetración sea completa se deberán satisfacer los siguientes puntos:

- La preparación deberá permitir el libre movimiento del electrodo.
- La preparación deberá permitir el acceso a la parte profunda de la unión, observando que no se exceda.

b. Ahorro de material de aporte.

Este aspecto es muy importante en espesores mayores a 10 mm, ya que el costo de la soldadura se eleva en caso de no trabajar con el tipo de preparación adecuada.

c. Facilitar la soldadura.

Este factor además de dar libertad de movimiento posibilita cambiar la posición de aplicación de la soldadura.

1.4.1 Preparación de bisel simple

Es utilizado en espesores mayores a 6 mm. Requiere de un mínimo de maquinación por lo cual es muy empleado en la industria. El ángulo máximo empleado es de 40°, en la preparación de un solo miembro.

En este tipo de preparaciones así como en V, J, y en U pueden realizarse con raíz o sin ella. En algunos casos siendo la abertura de raíz muy grande se aplica una placa o arillo de respaldo para dar una superficie tersa y evitar el escurrimiento de metal, este medio es utilizado en algunas soldaduras de tuberías, por la dificultad que existe para aplicar soldadura por el otro lado.

Las placas de respaldo pueden ser eliminadas o quedar formando parte de la pieza, en el caso de ser removibles se utiliza de cobre y carbono.

1.4.2 Preparación de bisel en V simple.

La preparación de bisel en V simple efectuada en ambos miembros a unir, de la misma manera que la preparación de bisel a un solo miembro, se aplica generalmente en espesores mayores a 6.0 mm y menores a 12 mm. Esta preparación requiere maquinación más elaborada que el bisel efectuado en un solo miembro de la unión.

1.4.3 Preparación de bisel en V doble.

Esta preparación suele utilizarse en espesores mayores a los 10 mm y menores de 24 mm. Requiere de una preparación doble a la de bisel, dando una ventaja de soldar por ambos lados.

1.4.4 Preparación de bisel en J.

Se utiliza en preparaciones que requieren una mayor penetración y que su espesor se encuentre entre 12 y 33 milímetros, esta preparación se requiere cuando se utilizan electrodos de alta penetración ya que permite una altura de hombro de 8 mm y una abertura de raíz grande. Este tipo de preparaciones son fáciles de crear haciendo uso de la técnica de preparación con arco-aire el cual da los bordes curvos, automáticamente al efectuar el corte.

| | |
|--------------------------------------|--|
| | <p>Tipo de soldadura</p> <p>Ranura de bisel doble Ranura en J doble Ranura de bisel simple</p> <p>Ranura en J simple Ranura en escuadra Filete</p> |
| (A) Preparación en escuadra | |
| | <p>Tipo de soldadura</p> <p>Ranura de bisel simple Ranura en V simple</p> |
| (B) Preparación de bisel simple | |
| | <p>Tipo de soldadura</p> <p>Ranura de bisel doble Ranura en V doble</p> |
| (C) Preparación de bisel doble | |
| | <p>Tipo de soldadura</p> <p>Ranura en J simple Ranura en U simple</p> |
| (D) Preparación de bisel en J simple | |
| | <p>Tipo de soldadura</p> <p>Ranura en J doble Ranura en U doble</p> |
| (E) Preparación de bisel en J doble | |

Ilustración 1.12- Tipos de preparación de bordes y soldaduras aplicables

1.5 Partes de una preparación (Ilust. 1.13).

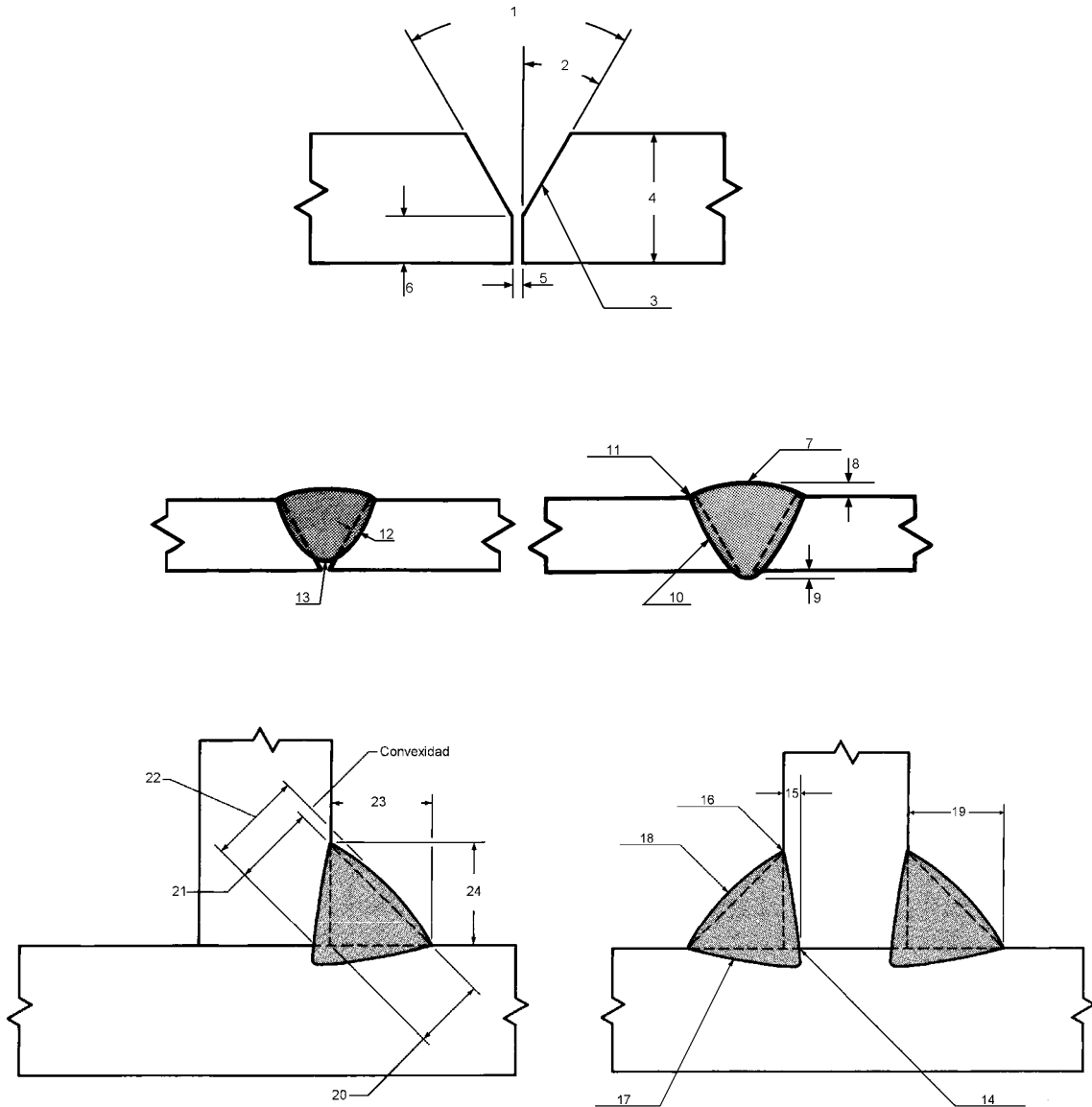


Ilustración 1.13-Partes de una preparación de bisel en V simple y unión en T, soldadas

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1. Ángulo de preparación o de la ranura | 13. Cara de la raíz |
| 2. Ángulo del bisel | 14. Raíz del filete |
| 3. Cara de la preparación | 15. Profundidad de fusión del filete |
| 4. Espesor de la pieza | 16. Pié del filete |
| 5. Abertura de la raíz | 17. Interfase del filete |
| 6. Altura de la raíz (Altura de hombro) | 18. Cara del filete |
| 7. Cara de la soldadura | 19. Pierna del filete |
| 8. Refuerzo de la cara | 20. Garganta teórica |
| 9. Refuerzo de la raíz | 21. Garganta efectiva |
| 10. Interfase de la soldadura | 22. Garganta actual |
| 11. Pie de la soldadura | 23. Pierna Horizontal |
| 12. Profundidad de fusión | 24. Pierna vertical |

1.6 Técnicas para preparación de uniones de ranura.

Existen variados procesos para efectuar las preparaciones de ranuras, los más usuales se mencionan a continuación:

Corte con oxígeno y gas
Corte con biseladoras mecánicas
Corte con arco-aire
Corte con plasma
Otros métodos de corte.

1.6.1 Corte con oxígeno y gas combustible

En el proceso de oxicorte una mezcla de gas combustible y oxígeno se usa para precalentar el acero a su temperatura de ignición (900°C); simultáneamente se le aplica un chorro de oxígeno a alta presión el cual después de producir la oxidación instantánea del material fundido lo arrojará fuera del área de corte. La calidad del corte, el tiempo de precalentamiento y el espesor del material a cortar dependen del tipo de gas combustible que se utilice. El corte con oxígeno y gas es empleado en materiales ferrosos, en aceros al carbón y de baja aleación en espesores de hasta 24 pulgadas. Metales tales como el aluminio y el acero inoxidable no pueden ser cortados bajo este método debido a su gran resistencia a la oxidación.

Con una combinación de antorcha esta técnica puede utilizarse en tratamientos térmicos, en aplicación de soldadura dura (bronce soldado), en aplicación de soldadura blanda (estaño soldado), en aplicación de soldadura por fusión, en la realización de cortes y preparaciones en elevación y en el rolado de metales.

Este método también es utilizado para cortar piezas curvas o complejas. Un modelo estacionario consiste en un pantógrafo de brazo con boquillas de corte en un extremo, dirigido por una plantilla de guía en un extremo. Algunas máquinas de corte con gas son montadas en una carretilla, operada eléctricamente, diseñada para avanzar a través de una pequeña guía. Para realizar cortes relativamente rectos las antorchas son guiadas a través de un riel localizado al extremo de la mesa de control. Para realizar cortes más

complejos un trazador guiado eléctricamente sigue una plantilla a escala dibujada en la mesa adyacente.

Entre sus desventajas se cuentan el alto costo de los gases y el tiempo del precalentamiento.

Los cinco gases utilizados con mayor frecuencia, en combinación con el oxígeno, bajo esta técnica son:

- Acetileno
- Propano
- Metilacetileno-propano
- Propileno
- Gas natural

La habilidad del cortador u operador afecta todas las operaciones, ya que la flama de corte debe ser ajustada manualmente, aún para corte automático.

La parte más caliente de las llamas de oxígeno-acetileno utilizadas para soldar metales alcanza los 3,500 C; dichas llamas tienen un cono verde azulado en lugar del cono luminoso. Si se reduce el suministro de oxígeno, estas llamas tienen cuatro conos: no luminoso, verde-azulado, luminoso e invisible.

1.6.2 Corte con biseladoras mecánicas.

Estas máquinas son las menos empleadas en la industria ya que son lentas y su proceso se desarrolla por medio de un buril mecánico.

Las máquinas desbastadoras convencionales dan forma a la pieza cortando la parte no deseada del material, produciendo virutas. Las prensas utilizan diversos métodos de modelado, como cizallamiento, prensado o estirado.

Las máquinas herramientas especiales utilizan la energía luminosa, eléctrica, química o sonora, gases a altas temperaturas y haces de partículas de alta energía para dar forma a materiales especiales y aleaciones utilizadas en la tecnología moderna.

1.6.3 Corte con arco-aire.

El corte con arco de carbón y aire(arc-air) consiste en fundir el metal por medio de un arco de electrodo de carbón, con o sin recubrimiento de cobre, y el barrido del metal fundido con un chorro de aire a alta presión(6-7 kg/cm²), que viaja inmediatamente detrás del electrodo, para formar la ranura. El chorro de aire debe ser puesto en marcha antes de establecerse el arco. Para este efecto el electrodo y el chorro de aire deberán apuntar en la dirección de avance.

La profundidad del corte depende de la velocidad de avance. Por tanto, una velocidad de avance lenta produce ranuras profundas en contraste con velocidades de avance rápidas las cuales producen ranuras poco profundas. Una velocidad de avance apropiada produce un sonido similar a un silbido constante.

El ancho del electrodo determina el ancho del corte. La ranura será 1/8 de pulgada, aproximadamente, más ancho que el tamaño del electrodo. El máximo espesor que puede ser cortado, de un solo paso, es de aproximadamente 1 1/2 veces el diámetro del electrodo.

1.6.4 Corte con plasma.

El plasma-cuarto estado de la materia- es un gas ionizado que conduce electricidad. El plasma es creado mediante la adición de energía a un gas eléctricamente neutro. En este caso el gas es aire comprimido y la energía es la electricidad.

El plasma posee una gran cantidad de calor que proviene de la energía cinética de los electrones libres que tienden a desplazarse al núcleo del átomo, es decir, a niveles de menor energía cediendo la restante en forma de calor. A mayor energía eléctrica agregada mayor energía térmica será liberada a través del arco formado por el plasma. Las máquinas para corte por arco de plasma controlan esta intensidad de energía reduciendo la amplitud del arco, el cual es forzado a pasar a través de un área estrecha (boquilla). Incrementando la presión del aire e intensificando el arco con mayores voltajes se consigue mayor energía térmica acompañado por una mayor capacidad de limpieza a través de metales de gran espesor.

Las máquinas para corte con arco de plasma pueden realizar cortes rápidos y precisos, ranuras o perforaciones en cualquier metal conductor eléctrico sin precalentamiento previo y con una mínima zona afectada por el calor. El plasma puede cortar metales como el aluminio, acero inoxidable, bronce y cobre en espesores de menos de 3/8 de pulgada hasta 2 pulgadas.

Estos equipos fueron desarrollados para dar forma a aleaciones de gran dureza utilizadas en la industria pesada.

1.6.5 Otros métodos de corte

Las sierras sin fin son extremadamente efectivas en la realización de cortes de precisión en tubería y perfiles tubulares. El corte con láser, al igual que el corte con plasma y el corte con oxígeno y gas combustible, es utilizado con frecuencia en la producción de grandes volúmenes de equipos de construcción pesada y de construcción naval para realizar cortes masivos, de láminas complejas de acero, este sistema elimina posibles errores y fatiga del operador, pero son únicamente necesarios para ciertas aplicaciones de trabajo de alta eficiencia.

Las placas o barras planas hasta un espesor determinado son cortadas en una máquina tipo guillotina llamada cortadora. Los ángulos son cortados en una máquina similar capaz de cortar ambas alas de un solo paso. Vigas, canales y columnas ligeras son usualmente cortadas en una sierra de fricción a alta velocidad o una sierra de cortar en frío a velocidad lenta.

1.7 Posiciones de prueba para aplicación de soldadura.

En esta parte se definen las posiciones para calificación de las soldaduras de prueba y las soldaduras de producción. La posición es una variable esencial para todas las especificaciones de procedimiento de soldadura excepto para los procesos de soldadura por electro escoria (Electro Slag Welding, ESW) y por electrogas (Electro Gas Welding, EGW), los cuales son hechos en una sola posición.

Éstas se definen en función de la ubicación que ocupa el operario con respecto a las juntas durante la ejecución de las soldaduras:

Posiciones para aplicación de soldadura de ranura en placa (Ilust. 1.14)

Posición plana

Posición horizontal

Posición vertical

Posición sobre cabeza

1.7.1 Posición plana (1G).

Posición caracterizada por soldar desde la parte superior de la unión en un punto donde el eje y la cara de la soldadura se localizan en un plano aproximadamente horizontal.

1.7.2 Posición horizontal (2G).

Posición en la cual la cara de la soldadura se localiza en un plano aproximadamente vertical y el eje de la unión en el punto de aplicación de la soldadura es aproximadamente horizontal.

1.7.3 Posición vertical (3G).

Posición de soldadura en la cual el eje de la unión, en el punto de aplicación de la soldadura, es aproximadamente vertical y la cara de la soldadura se localiza en plano aproximadamente vertical.

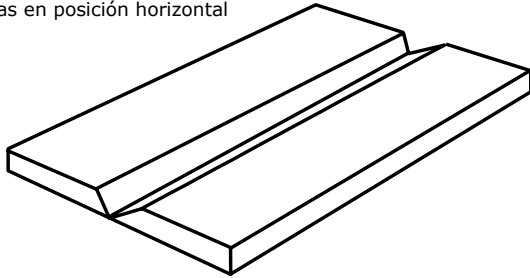
1.7.4 Posición sobre cabeza (4G).

Posición en la cual la soldadura es aplicada por la parte inferior de la unión.

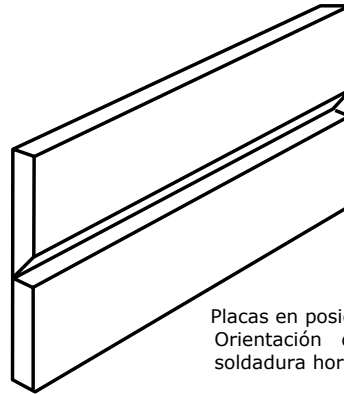
Soldar en posiciones de alto grado de dificultad se realiza por necesidad, aumentando el tiempo requerido así como material de aporte.

Las posiciones de prueba para aplicación de soldadura de ranura en tubería o perfiles tubulares (Ilust. 1.15) y para aplicación de soldadura de filete (Ilust. 1.16) son derivación o combinación de las indicadas arriba.

Placas en posición horizontal

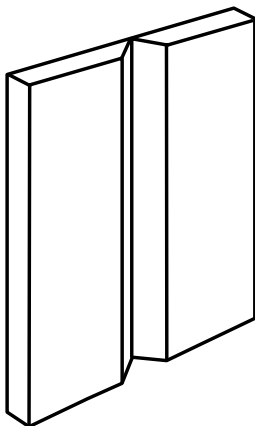


(A) Posición de soldadura de prueba plana-1G



Placas en posición vertical.
Orientación del eje de la
soldadura horizontal.

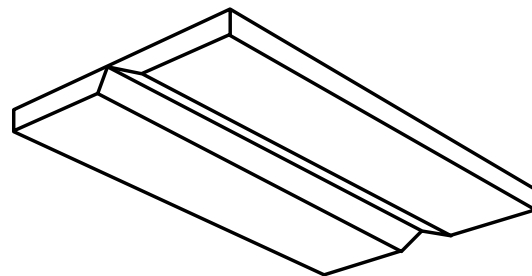
(B) Posición de soldadura de prueba horizontal-2G



Placas en posición vertical.
Orientación del eje de la
soldadura vertical.

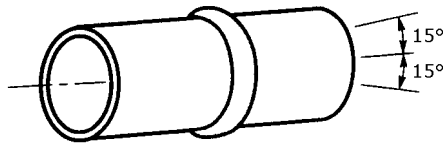
(C) Posición de soldadura de prueba vertical-3G

Placas en posición horizontal



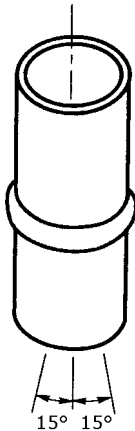
(D) Posición de soldadura de prueba sobrecabeza-4G

Ilustración 1.14- Posiciones de prueba básicas, para soldaduras de ranura en placa

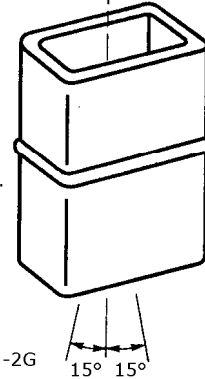


Tubería horizontal y girando.
Soldadura en posición plana ($\pm 15^\circ$). Depósito del metal de relleno en o aproximadamente encima.

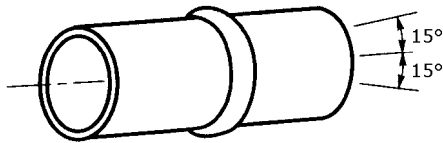
(A) Posición de soldadura de prueba plana, girada-1G



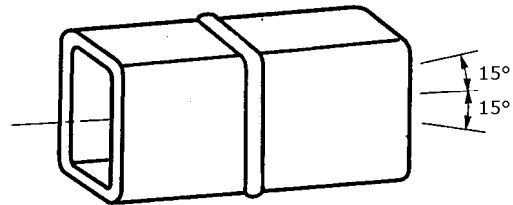
Tubería o perfil tubular vertical y sin girar durante la aplicación de la soldadura.
Soldadura en posición horizontal ($\pm 15^\circ$).



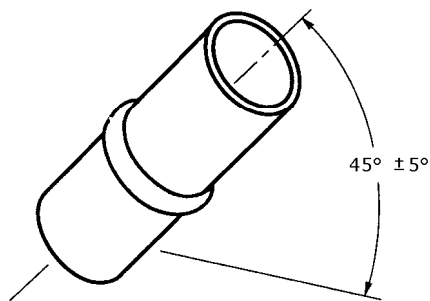
(B) Posición de soldadura de prueba horizontal-2G



Tubería o perfil tubular horizontal fijo ($\pm 15^\circ$) y sin girar durante la aplicación de soldadura.
Soldadura en posición plana, vertical y sobrecabeza.

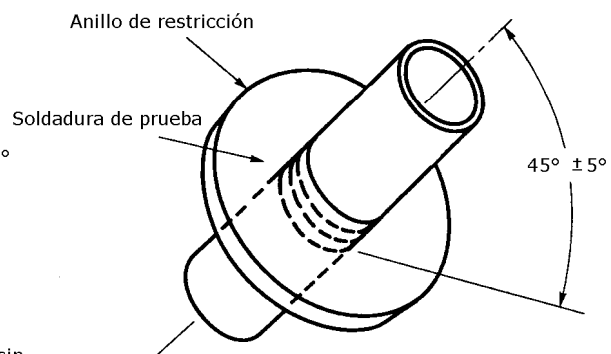


(C) Posición de soldadura de prueba múltiple-5G



Tubería fija con inclinación de ($45^\circ \pm 5^\circ$) y sin girar durante la aplicación de soldadura.

(D) Posición de soldadura de prueba múltiple-6G



(E) Posición de soldadura de prueba múltiple 6GR con anillo de restricción(para soldar conexiones tipo T, Y ó K)

Ilustración 1.15- Posiciones de prueba básicas, para soldaduras de ranura en tubería

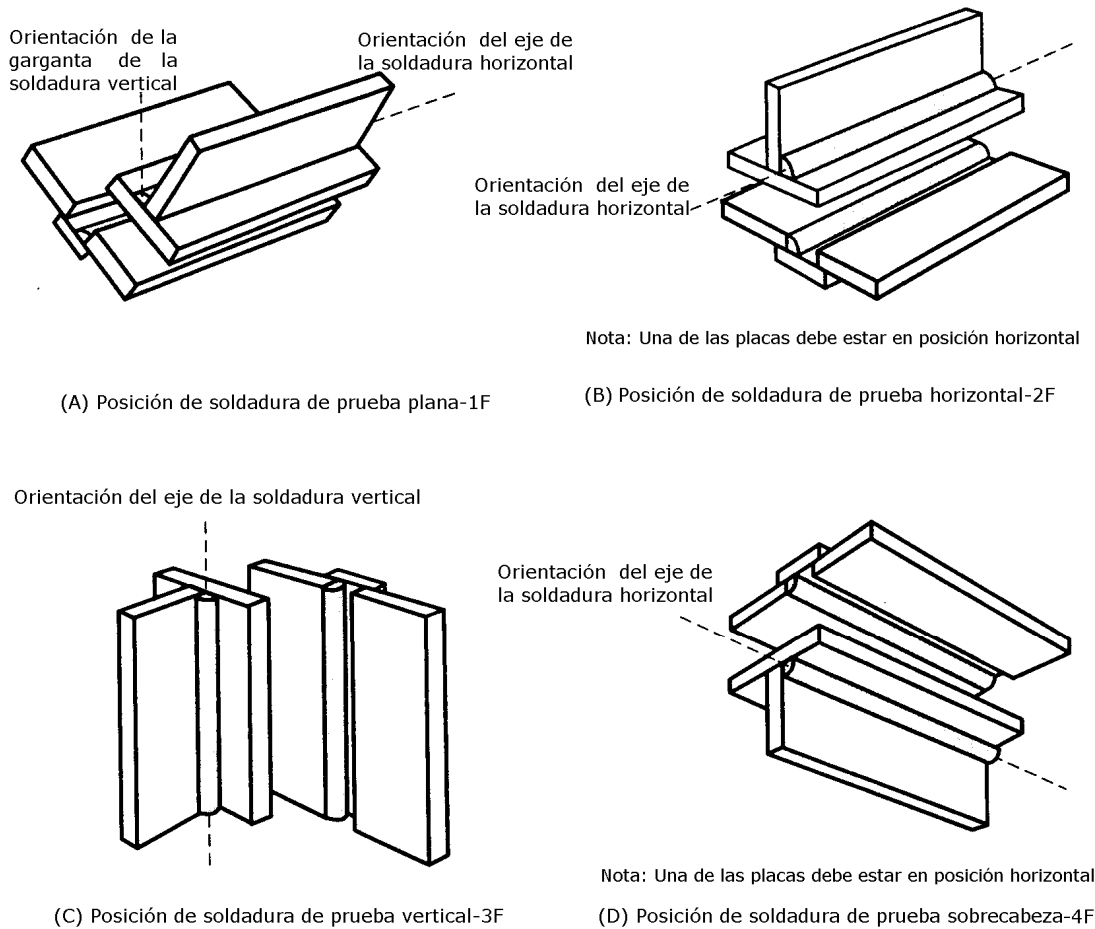


Ilustración 1.16- Posiciones de prueba básicas, para soldaduras de filete en placa

1.8 Símbolos en la soldadura.

1.8.1 Símbolo básico.

Estos símbolos proporcionan los medios para transmitir información de soldadura, bronce soldado y de exámenes no destructivos a través de dibujos.

De acuerdo con la Sociedad Norteamericana para la Soldadura (American Welding Society), "La soldadura no puede ocupar su lugar correspondiente, como una herramienta de fabricación, a menos que se proporcionen los medios para transmitir la información del diseñador al personal de soldadura. Las afirmaciones tales como "soldado a todo lo largo" o "soldado por completo", de hecho, transfieren la responsabilidad de diseño al soldador, cuya persona no podemos esperar que sepa los requerimientos de diseño.

En el pasado, el uso de las palabras "lado lejano" y "lado cercano", al interpretar los símbolos de soldadura llevó a confusiones porque cuando se muestran las uniones en sección, todas las soldaduras están a la misma distancia del lector; y las palabras

"cercano" y "lejano" no quieren decir nada. Con el sistema actual, la unión es la base de referencia. Cualquier unión de soldadura que se indique con un símbolo siempre tendrá un "lado con flecha" y "el otro lado". Por lo tanto, los términos lado con flecha, otro lado y ambos lados se usan para localizar la soldadura en relación a la unión.

La cola del símbolo se utiliza para designar los procesos de corte y soldadura así como las especificaciones de soldadura, los procedimientos o la información complementaria que deberá utilizarse al realizarla. Cuando sólo se especifique el tamaño y el tipo de soldadura, la información necesaria para realizar esa soldadura es limitada. Deberá conocerse el proceso, la identificación del metal de aportación que debe utilizarse, ya sea que se requiera acanalado de la raíz o algunas otras operaciones que se requieran y cualquier otra información pertinente. La anotación que deberá colocarse en la cola del símbolo que indique esta información normalmente será establecida por cada usuario. Si no se utilizan anotaciones, puede omitirse la cola del símbolo.

Los símbolos que se definen en la sección A2.4 de la ANSI/AWS (Ilust. 1.17 e Ilust. 1.18)) tienen el propósito de facilitar la comunicación entre el diseñador, el taller y el personal de fabricación.

| Ranura | | | | | | | |
|----------|---------|---|-------|---|---|-------------|-----------------|
| Cuadrada | Sesgada | V | Bisel | U | J | V Abocinada | Bisel Abocinado |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

| Filete | Tapón o Ranura | Pernos | Puntos o Proyección | Costura | Refuerzo o Respaldo | Superficie | Borde |
|--------|----------------|--------|---------------------|---------|---------------------|------------|-------|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Tipos de soldadura básicos

Ilustración 1.17- Tipos de soldadura y su simbología de acuerdo a ANSI/AWS A2.4

| Soldadura todo alrededor | Soldadura de campo | Soldadura de penetración | Inserto consumible (cuadrado) | Respaldo o separador (rectangular) | Contorno | | |
|--------------------------|--------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------|---------|---------|
| | | | | | Ras o plano | Convexo | Cóncavo |
| | | | | | | | |
| | | | | Refuerzo | | | |
| | | | | Separador | | | |

Tipos de soldadura complementarios

Ilustración 1.17- Tipos de soldadura y su simbología de acuerdo a ANSI/AWS A2.4

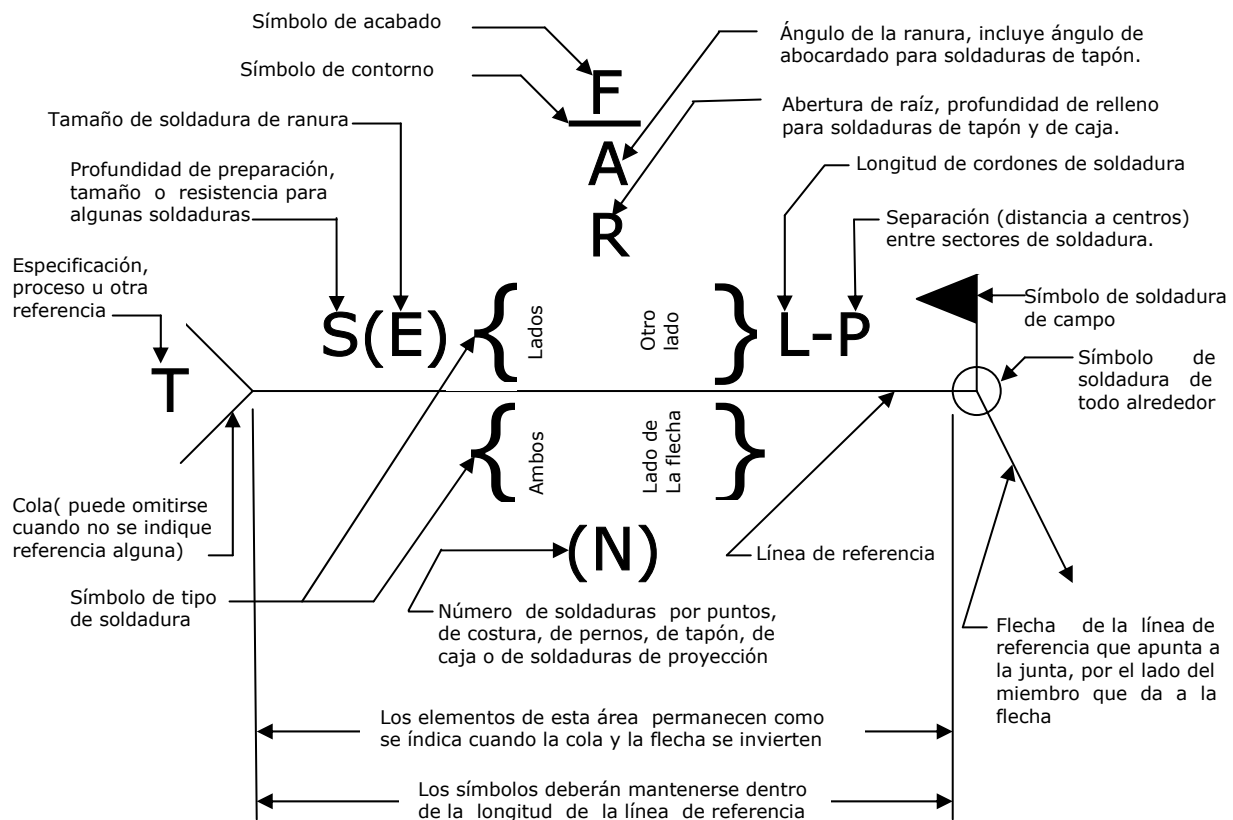


Ilustración 1.18- Localización de cada elemento en un símbolo de soldadura, de acuerdo a la ANSI/AWS A2.4

1.8.2 Conceptos básicos.

1.8.2.1 Significado de localización de la flecha. La información aplicable al lado de la unión, al cual apunta la flecha, deberá colocarse debajo de la línea de referencia. La información aplicable al otro lado de la unión deberá colocarse arriba de la línea de referencia (Ilust. 1.19).

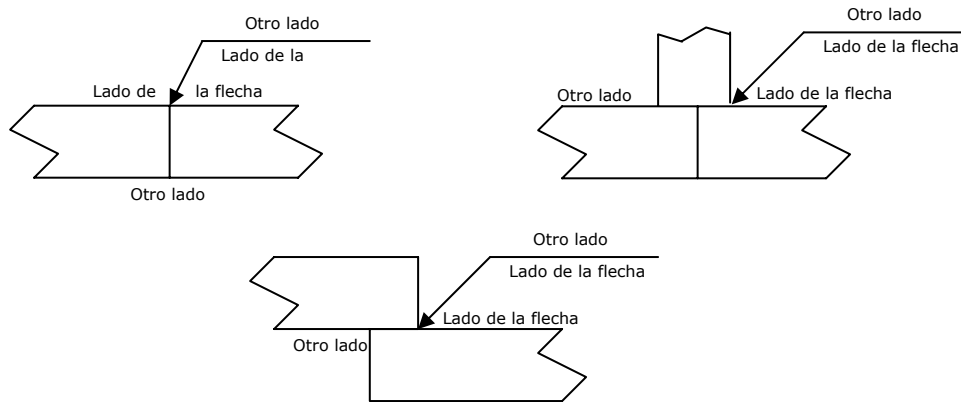


Ilustración 1.19- Localización de la flecha

1.8.2.2 Símbolos para los tipos de soldadura de filete, ranura y de borde. Para estos tipos de soldadura la flecha del símbolo deberá apuntar a un lado de la unión, al cual se le considerará lado de la unión con flecha. El lado opuesto de la unión al cual apunta la flecha se considerará como el otro lado de la unión.

1.8.2.3 Símbolos para los tipos de soldadura de tapón, de cajón, de puntos, y de costura. En estos casos, la flecha del símbolo de soldadura debe apuntar al exterior de la superficie de uno de los miembros de la unión, haciéndola coincidir con la ubicación del tipo de soldadura deseada. El miembro hacia el cual apunta la flecha se considerará el miembro del lado de la flecha. El otro miembro de la unión se considerará el miembro del otro lado.

1.8.2.4 Localización del tipo de soldadura en un símbolo.

1.8.2.4.1 Lado con flecha. Los tipos de soldadura para el lado de la unión con flecha deberán especificarse colocando el símbolo abajo de la línea de referencia (Ilust. 1.20).

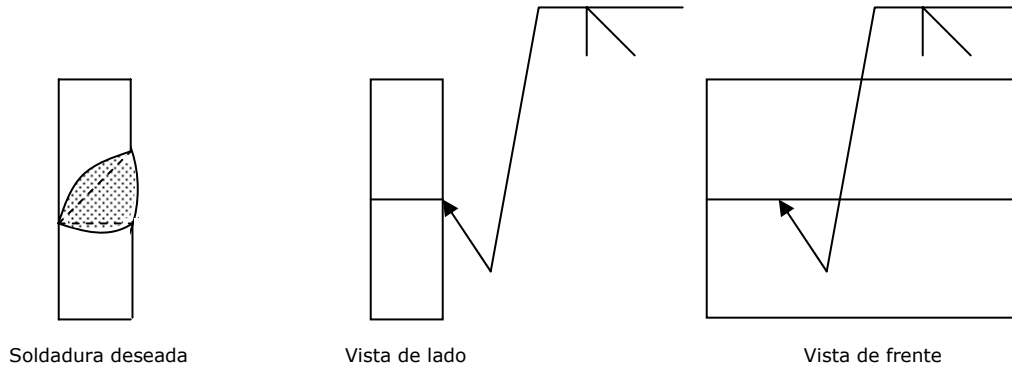


Ilustración 1.20- Lado de la unión al cual apunta la flecha

1.8.2.4.2 Lado sin flecha. Los tipos de soldadura para el otro lado de la unión deberán especificarse colocando el símbolo arriba de la línea de referencia (Ilust. 1.21).

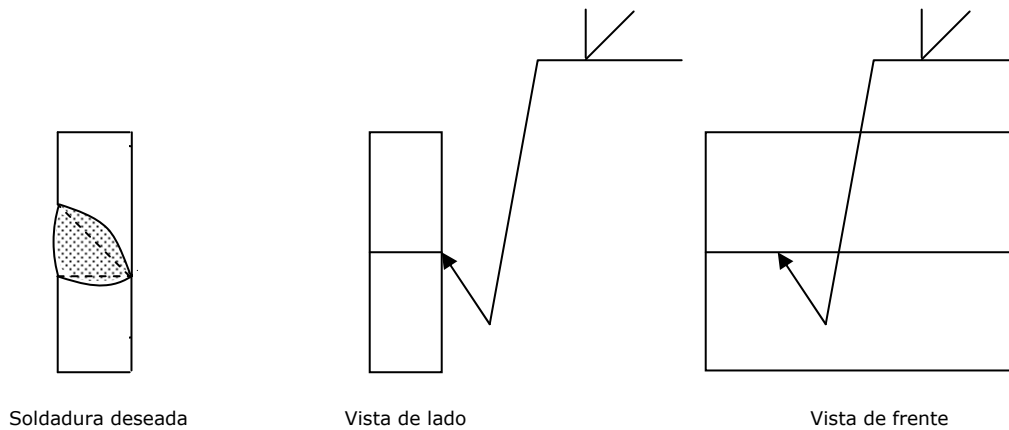


Ilustración 1.21- Otro lado de la unión al cual apunta la flecha

1.8.2.4.3 Ambos lados de la unión. Cuando se requiera aplicar soldadura en ambos lados de una unión se especificará el o los tipos de soldadura arriba y abajo de la línea de referencia del símbolo (Ilust. 1.22).

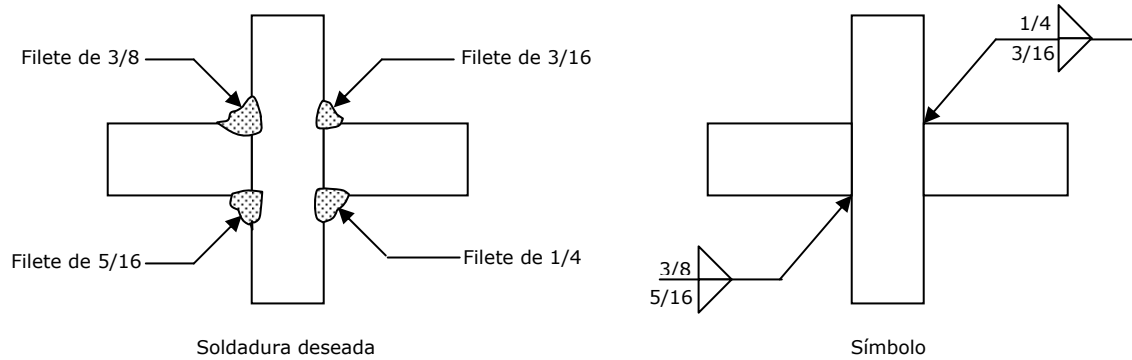


Ilustración 1.22- Ambos lados de la unión

1.8.2.5 Orientación de símbolos de tipos de soldadura. Los símbolos de los tipos de soldadura de filete, de ranura con bisel en V simple, de ranura con bisel en J, de ranura abocinada simple y de borde en esquina deberán dibujarse siempre con la pierna perpendicular del lado izquierdo (Ilust. 1.23).

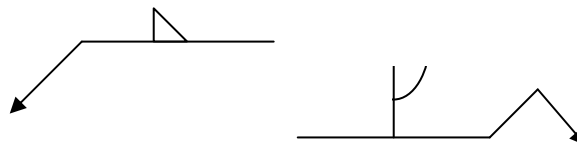


Ilustración 1.23- Orientación de símbolos de tipos de soldadura

1.8.2.6 Deflexión en la flecha. Cuando sea necesario se producirá una deflexión en la flecha para dirigirla al borde de la unión que debe llevar preparación de bisel en V o en J especificada por el símbolo (Ilust. 1.24). En caso de que resulte evidente el borde que requiere preparación o cuando sea irrelevante la elección de uno u otro borde la flecha no necesita mostrar ninguna deflexión.



Ilustración 1.24- Quebre en la flecha

1.8.2.7 Símbolo de soldadura combinada. Para uniones que requieran más de un tipo de soldadura, deberá especificarse mediante la adición de un símbolo por cada tipo de soldadura a aplicar (Ilust. 1.25).

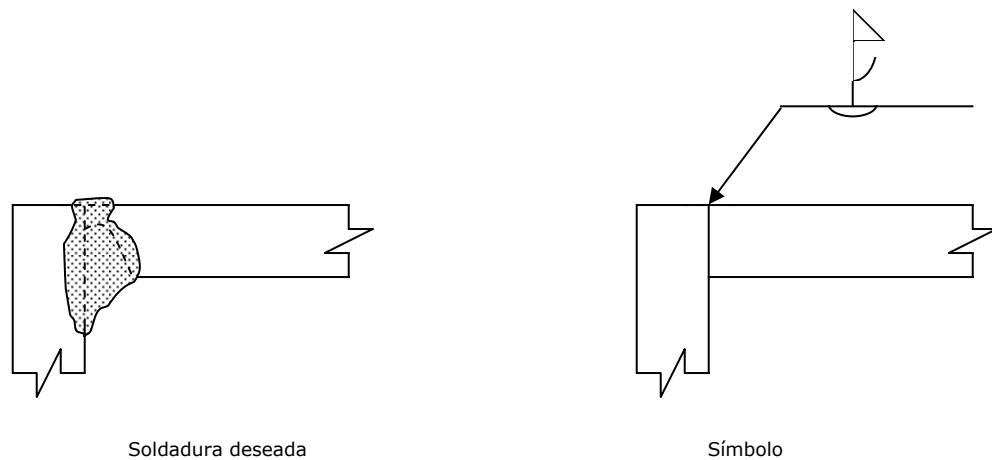


Ilustración 1.25- Símbolo de soldadura combinada

1.8.2.8 Líneas de referencia múltiples.

1.8.2.8.1 Secuencia de operación. Pueden incluirse dos o más líneas de referencia para indicar una secuencia de operaciones sucesivas (Ilust. 1.26). La primera operación será especificada en la línea de referencia más cercana a la flecha. Las siguientes operaciones serán especificadas, obedeciendo a una secuencia ordenada de aplicación, en otras líneas de referencia.

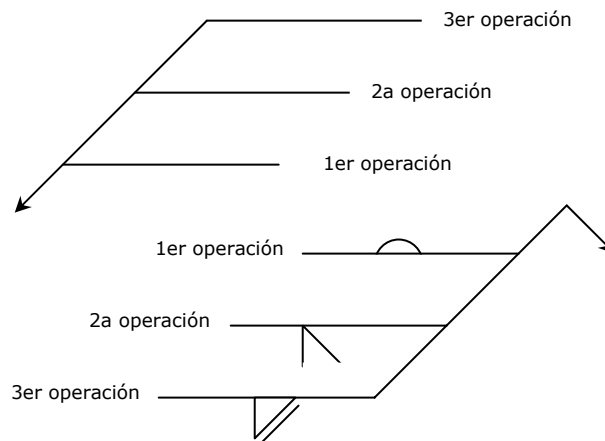


Ilustración 1.26- Secuencia de operación con líneas de referencia múltiples

1.8.2.8.2 Datos complementarios. La cola de las líneas de referencia adicionales puede ser usada para especificar datos complementarios como información del símbolo de soldadura (Ilust. 1.27).

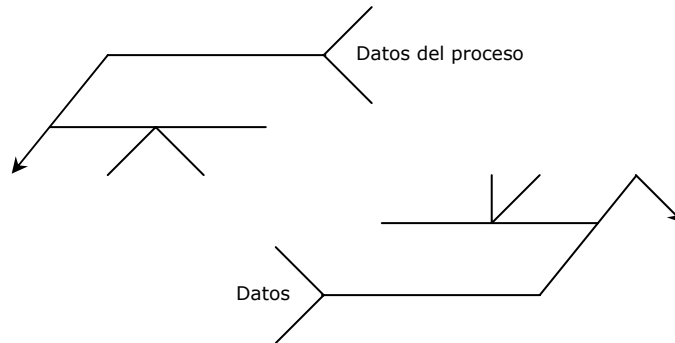


Ilustración 1.27- Datos complementarios

1.8.2.8.3 Símbolo de soldadura de campo y de todo alrededor. Cuando se requiera, el símbolo de soldadura (o de inspección) para todo alrededor de una unión deberá colocarse en la intersección de la línea de referencia y la línea de la flecha (Ilust. 1.28). El símbolo de soldadura de campo será indicado en la misma ubicación, en uno u otro lado y normal a la línea de referencia.

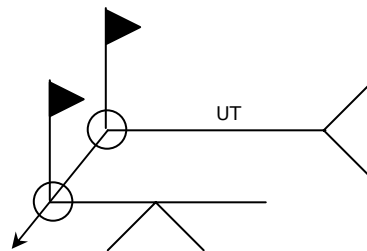


Ilustración 1.28- Símbolo de soldadura de campo para todo alrededor

1.8.2.9 Información para ensayos no destructivos. La información para especificar el tipo de prueba se puede mostrar en una línea de referencia adicional, o en la cola del símbolo de soldadura.

1.8.2.10 Extensión de la soldadura.

1.8.2.10.1 Aplicación de soldadura en diferentes direcciones. Los símbolos aplicarán solo en el contorno de la unión o en aquellas extensiones delimitadas o dimensionadas, excepto en aquellos casos en los que aplique el símbolo de todo alrededor de la unión. Deberán utilizarse símbolos de soldadura adicionales o de flechas múltiples para especificar la aplicación de soldadura en diferentes direcciones. Cuando se requiera utilizar flechas múltiples en un símbolo de soldadura estas deberán partir de la misma línea de referencia o de la primera línea de referencia en caso de utilizar el símbolo de líneas de referencia múltiples (Ilust. 1.29).

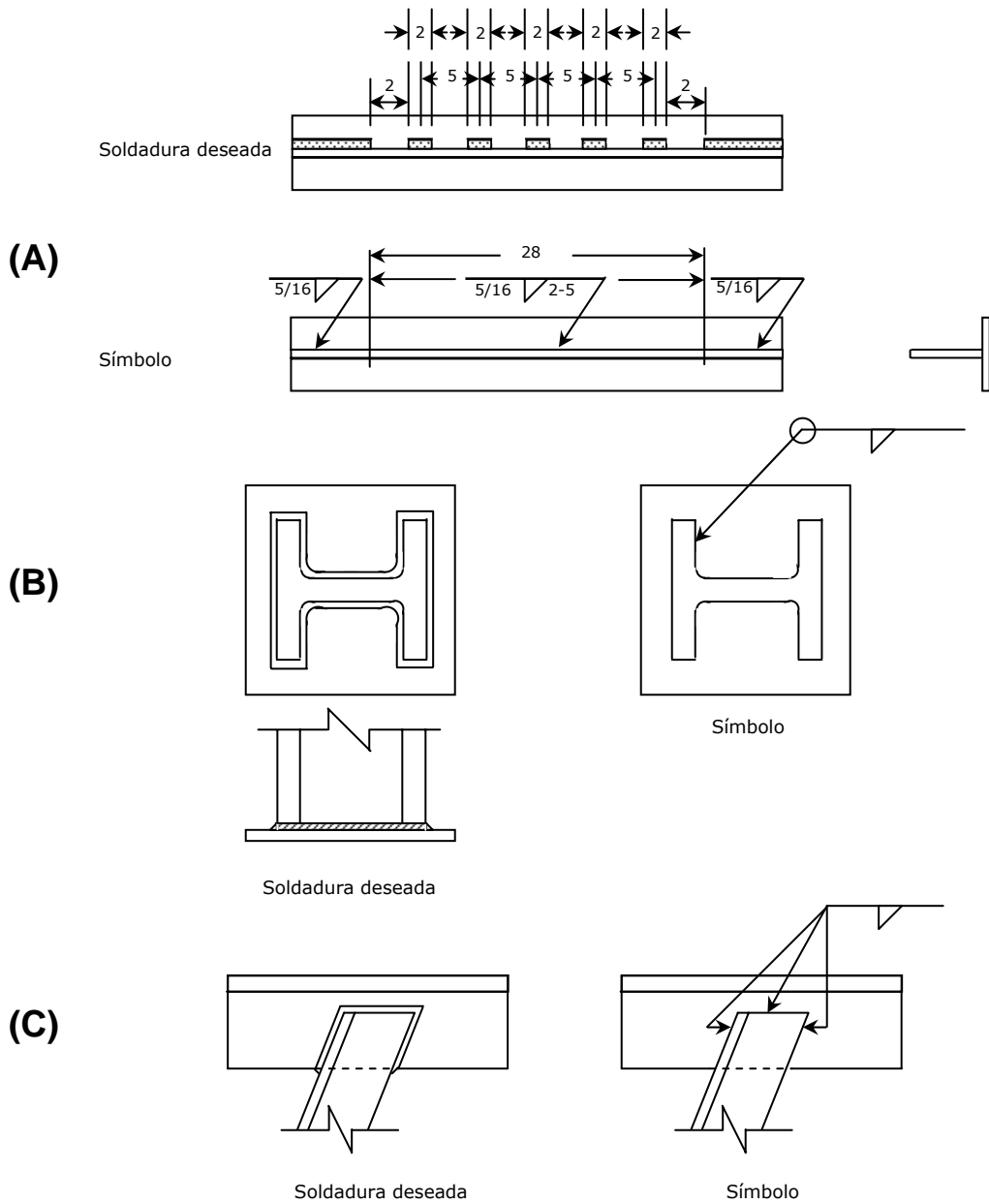


Ilustración 1.29- Símbolos para aplicación de soldadura en diferentes direcciones

1.8.2.10.2 Miembros ocultos. Cuando el tipo de soldadura para un miembro oculto resulte ser similar a la de un miembro expuesto ésta puede ser especificada como se indica abajo (Ilust. 1.30). Si el tipo de soldadura para un miembro oculto difiere del tipo de soldadura especificada para un miembro expuesto esta deberá ser definida para cada uno de los miembros. De ser necesario deberán proporcionarse ilustraciones o secciones que faciliten su comprensión.

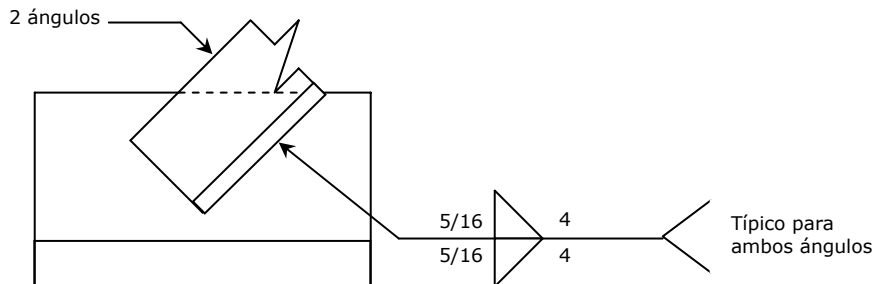


Ilustración 1.30- Miembros ocultos

1.8.2.11 Símbolo de soldadura para todo alrededor de la unión.

1.8.2.11.1 Soldaduras en múltiples direcciones o planos. Una soldadura continua, simple o combinada, que se extiende alrededor de una serie de uniones vinculadas puede ser especificada a partir del símbolo de soldadura para todo alrededor de la unión en la intersección de la línea de la flecha y la línea de referencia.

1.8.2.11.2 Soldadura circunferencial. Las soldaduras que se extienden alrededor de la circunferencia de una tubería están excluidas de los requerimientos que se refieren a cambios de dirección y no requieren del símbolo de soldadura para todo alrededor de la unión durante la especificación de una soldadura continua.

1.8.2.12 Cola del símbolo de soldadura.

1.8.2.12.1 Especificación del tipo de soldadura y de los procesos asociados. El tipo de soldadura y los procesos para aplicación de la misma deberán especificarse colocando la letra o sufijo apropiado en la cola del símbolo.

1.8.2.12.2 Referencias. Las especificaciones, códigos o cualquier otro documento aplicable pueden especificarse colocando la referencia en la cola del símbolo de soldadura. La información contenida en el documento de referencia no necesita ser repetido en el símbolo de soldadura.

1.8.2.12.3 Símbolo de soldadura definido como "típico". La repetición de símbolos de soldadura idénticos, dentro de un dibujo, pueden evitarse denominando el símbolo de la unión más representativa como típico. Deberá proporcionarse información adicional al usuario para identificar el total de las uniones consideradas.

1.8.2.12.4 Denominación de tipos de soldaduras especiales. Cuando los símbolos de soldadura básicos no sean los indicados para identificar el tipo de soldadura que se desea, la soldadura deberá ser especificada haciendo referencia a algún detalle o dibujo aparte.

1.8.2.12.5 Omisión de la cola. Cuando no se necesite especificar referencia alguna, la cola puede ser omitida, del símbolo de soldadura.

1.8.2.12.6 Notas de dibujo. Las notas de dibujo proporcionan información relacionada con el tipo de soldadura de producción, la cual no debe repetirse en el símbolo.

1.8.2.13 Contorno obtenido con soldadura. Cuando se desee obtener un acabado aproximadamente a ras, plano, convexo o cóncavo, sin el empleo de equipo mecánico, deberá indicarse únicamente el tipo de contorno requerido sobre el símbolo de soldadura.

1.8.2.14 Acabado de la soldadura.

1.8.2.14.1 Contornos obtenidos mediante acabado mecánico. Al especificar el método mecánico a emplear para obtener un acabado de la soldadura aproximadamente a ras, plano, convexo o cóncavo deberá acompañarse el símbolo con el tipo de contorno deseado.

1.8.2.14.2 Métodos de acabado mecánico. Se emplearán las siguientes siglas para representar los métodos de acabado mecánico comúnmente empleados a través símbolos de soldadura.

Métodos mecánicos:

- C - Cincelado
- G - Rectificado (esmerilado)
- H - Martilleo
- M - A máquina
- R - Laminado

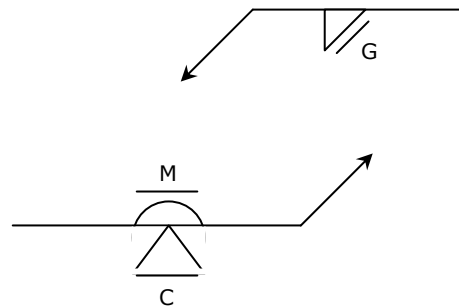


Ilustración 1.31- Métodos de acabado mecánico

1.8.2.15 Símbolo de soldadura de penetración (melt through). El símbolo de soldadura de penetración deberá ser usado únicamente cuando se requiera que el refuerzo de la raíz, por el otro lado de la unión, sea visible, en soldaduras aplicadas por un solo lado.

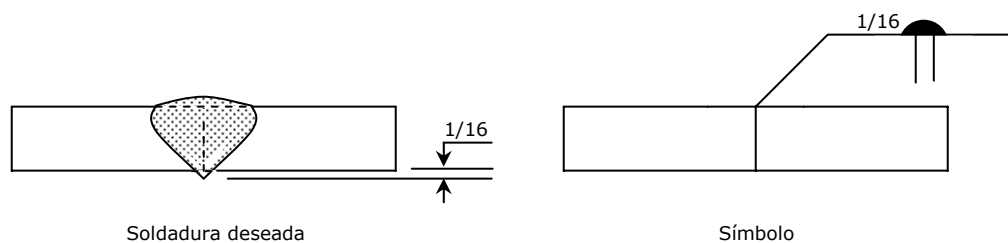


Ilustración 1.32 Símbolo de soldadura de penetración

1.8.3 Ejemplos de aplicación de los símbolos de soldadura.

Para ayudar a comprender la descripción de conceptos relacionados con la simbología empleada en la fabricación de ensamblajes soldados, se presentan a continuación algunos ejemplos representativos de casos particulares, que incluyen, por otra parte, algunas notaciones o formas no incluidas anteriormente

Ejemplo 01. Considerando que la flecha quebrada aplica a las juntas con preparación de bisel en el ejemplo se concluye que la preparación ha de realizarse en el borde de la pieza a la que apunta la flecha (Ilust. 1.33).

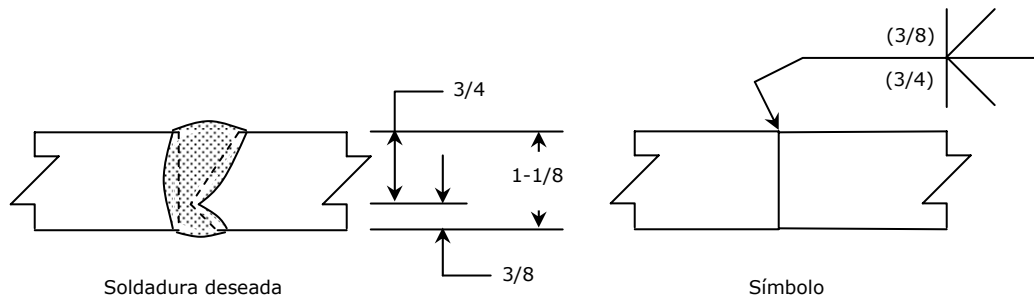


Ilustración 1.33- Ejemplo con quiebre en la línea de la flecha

Ejemplo 02. El siguiente símbolo indica que la preparación de bisel deberá realizarse del lado al que apunta la flecha, y que las piezas deberán guardar una separación o abertura de raíz de 1/8 de pulgada (Ilust. 1.34).

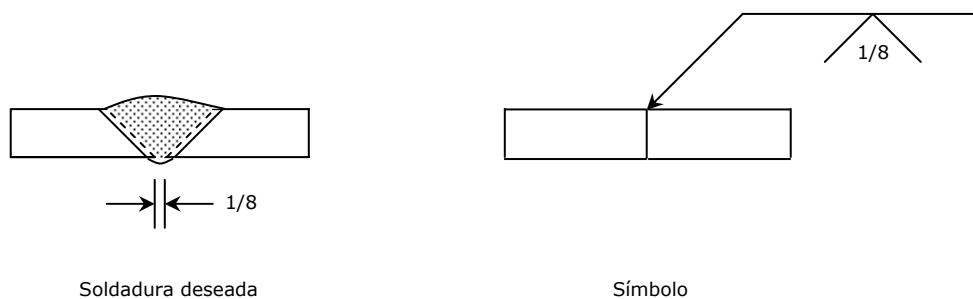


Ilustración 1.34- Soldadura de ranura para el lado con flecha

Ejemplo 03. Las dimensiones 1/4x1/2 que aparecen a la izquierda del símbolo representan las longitudes de los catetos de la soldadura de filete (ilust. 1.35). Estas dimensiones se colocan siempre a la izquierda del símbolo, para el tipo de soldaduras de filete.

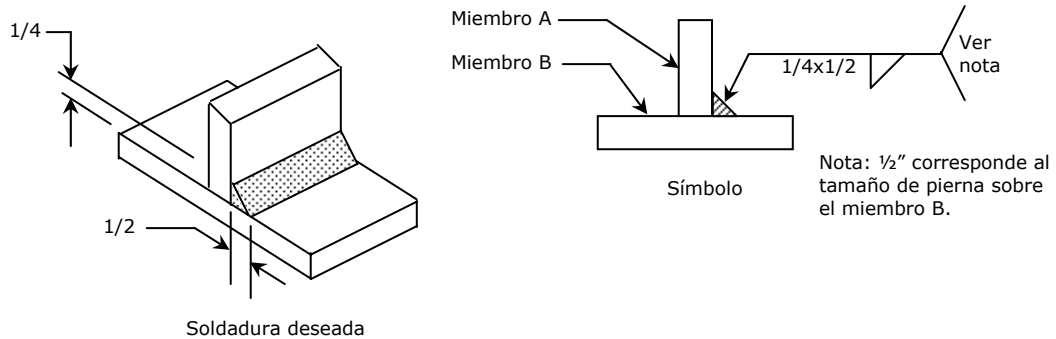


Ilustración 1.35- Soldadura de filete que aplica del lado al que apunta la flecha

Ejemplo 04. En esta figura se representa un tipo de soldadura de filete a aplicar en forma interrumpida, intermitente, por un solo lado de la junta (Ilust. 1.36). Los valores indicados en el símbolo corresponden a la medida de longitud de los cordones, equivalente a 2 pulgadas, dispuestos a una distancia a centros, de cordones de soldadura, de 6 pulgadas.

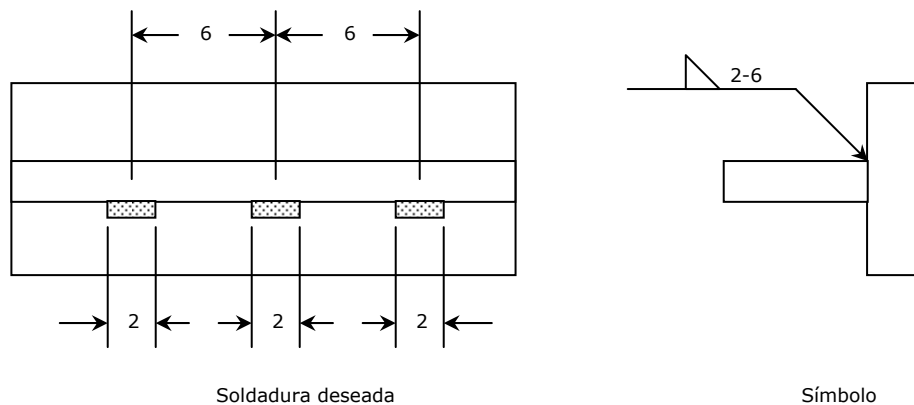


Ilustración 1.36- Símbolo que aplica del otro lado de la unión a la cual apunta la flecha

Ejemplo 05. Este símbolo es similar al de la figura anterior solo que en este caso los cordones intermitentes se dan a ambos lados del miembro vertical, coincidiendo las zonas con soldadura y las zonas sin soldadura (Ilust. 1.37).

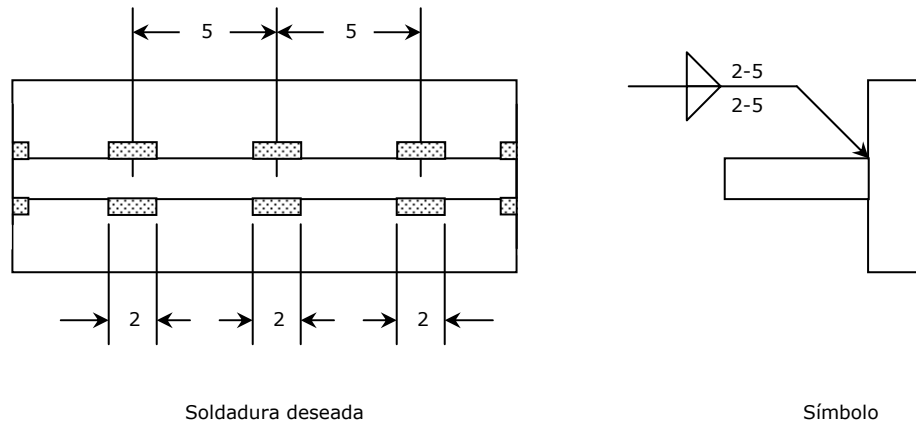


Ilustración 1.37- Símbolo de soldadura que aplica para ambos lados de la unión

Ejemplo 06. La diferencia que existe contra el símbolo anterior es que los cordones intermitentes se encuentran dispuestos de tal forma que cada cordón se encuentra siempre opuesto a un espacio sin soldadura (Ilust. 1.38).

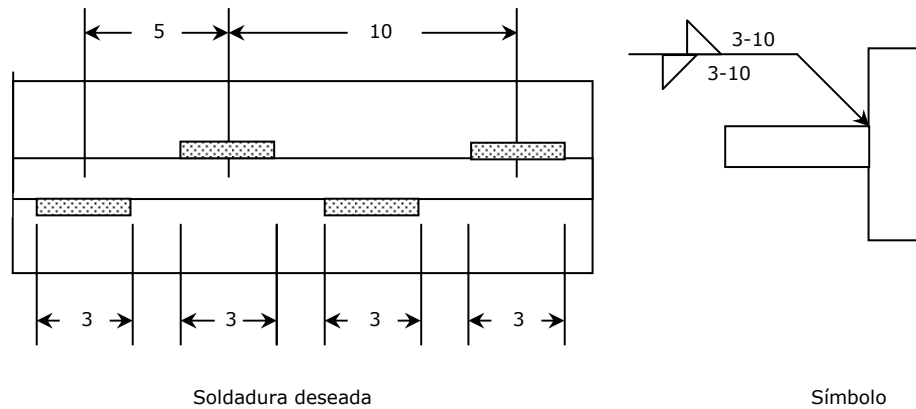


Ilustración 1.38- Símbolo de soldadura intermitente y alternada para ambos lados de la unión

Ejemplo 07. El símbolo hace referencia a una preparación en "J" de 30° y a un tipo de soldadura de filete como acabado por el lado al que apunta la flecha, así como la terminación a base de un back weld, soldadura de refuerzo, de 1/16 de pulgada (Ilust. 1.39). Un back weld se refiere a la soldadura de refuerzo que es aplicada después de aplicar la soldadura de ranura. En este sentido es necesario aclarar que de haber sido especificado en la cola del símbolo backing weld dicha soldadura de refuerzo debería ser aplicada antes de aplicar la soldadura de ranura, como respaldo.

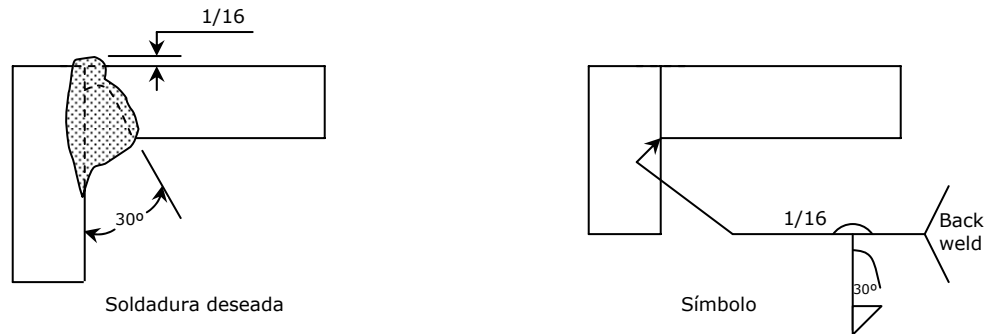


Ilustración 1.39- Símbolo de soldadura combinada

Ejemplo 08. En este símbolo se indican las dimensiones que se acotan en la representación de la izquierda. En general, las dimensiones situadas a la izquierda del símbolo de la junta, para soldaduras que no sean de filete, el número entre paréntesis indica la profundidad de penetración del cordón de soldadura y el número fuera del paréntesis representa la profundidad de la preparación, la dimensión 0 se refiere al tamaño de la abertura de raíz y el 25 al ángulo de preparación de la unión (Ilust. 1.40).

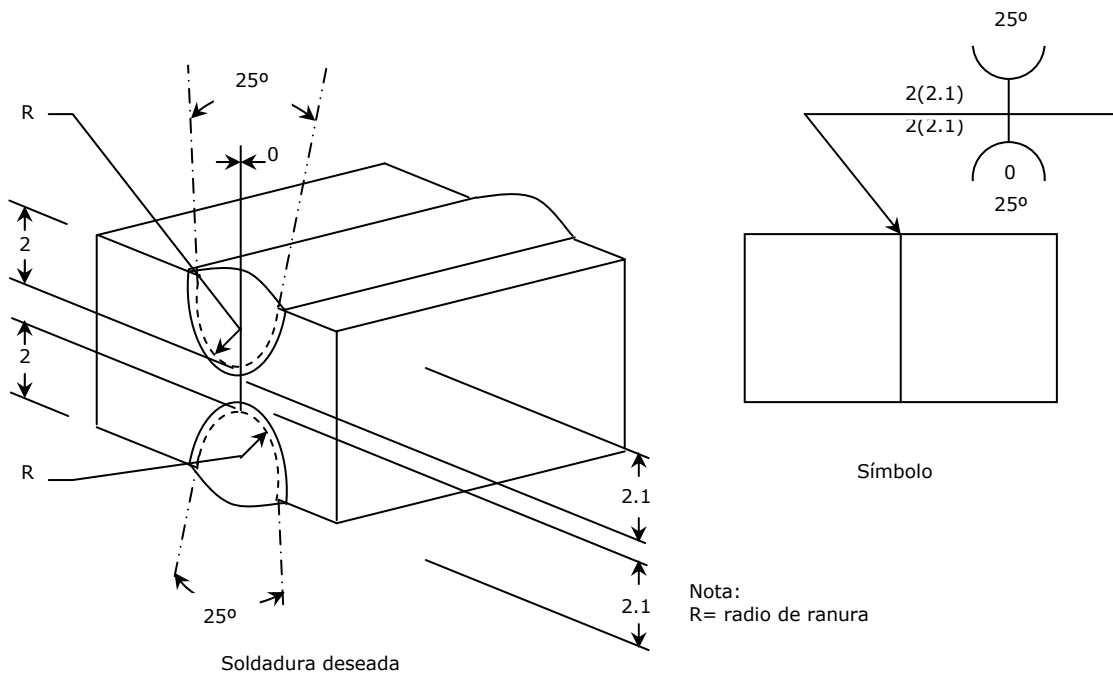


Ilustración 1.40- Símbolo de soldadura que aplica para ambos lados de la unión

Ejemplo 09. En esta figura se representa el símbolo de una soldadura de penetración completa a aplicar en una unión en T, previendo la preparación de bisel, en V doble, en el borde del miembro vertical y la posterior aplicación del tipo de soldadura de filete de 3/8 de pulgada (Ilust. 1.41).

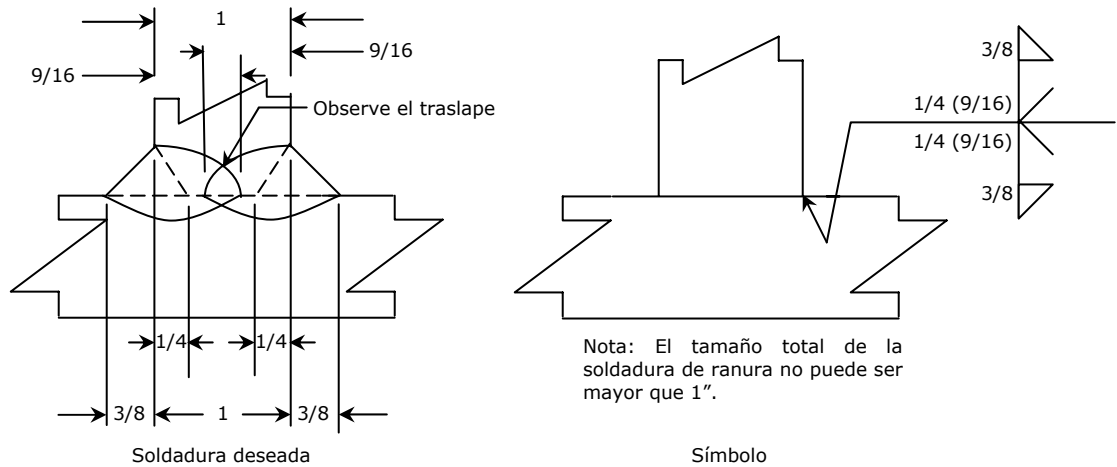


Ilustración 1.41- Símbolo de soldadura combinada para ambos lados de la unión

1.9 Símbolos de pruebas no destructivas (PND).

1.9.1 Descripción general.

Los símbolos para indicar los diferentes métodos de inspección constan de los siguientes elementos:

Línea de referencia

Flecha

Nomenclatura para descripción de la técnica de inspección

Extensión y número de pruebas

Símbolos complementarios

Cola (Especificaciones, códigos u otras referencias)

1.9.2 Nomenclatura para indicar el método de inspección.

Las letras que identifican los métodos de pruebas no destructivas, a través de un símbolo, deberán denotarse de acuerdo a la siguiente nomenclatura.

| Método de inspección | Letras de identificación |
|------------------------|--------------------------|
| Emisión acústica | AET |
| Electromagnetismo | ET |
| Prueba de fugas | LT |
| Partículas magnéticas | MT |
| Radiografía neutrónica | NRT |
| Líquidos penetrantes | PT |
| Prueba de operación | PRT |
| Radiografía industrial | RT |
| Ultrasonido industrial | UT |
| Inspección visual | VT |

1.9.3 Símbolos complementarios.

Los símbolos complementarios empleados para especificación de pruebas no destructivas serán como se indica en el siguiente cuadro (Ilust. 1.42)

| Inspección Todo alrededor | Inspección en campo | Dirección de la radiación |
|---------------------------|---------------------|---------------------------|
| | | |

Ilustración 1.42- Símbolos complementarios para representación de pruebas no destructivas

1.9.4 Elementos en un símbolo estándar

Los conceptos definidos para interpretar los símbolos de soldadura aplicables en la fabricación de ensamblajes soldados son válidos para transmitir instrucciones de las técnicas de inspección no destructivas a través de dibujos.

Los elementos de un símbolo de inspección no destructiva deberán disponerse de acuerdo al estándar extraído de la ANSI/AWS A2.4 (ilust. 1.43)

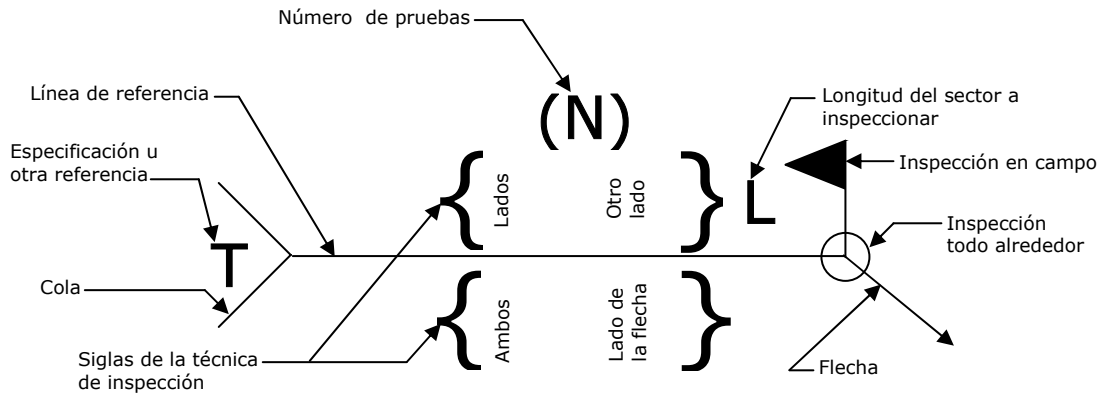


Ilustración 1.43- Localización estándar de elementos

CAPÍTULO 2

Especificación de Procedimiento para Aplicación de Soldadura

2.1 Introducción:

En el presente capítulo se proporciona la descripción de variables contenidas en los documentos conocidos como especificaciones de procedimientos para aplicación de soldadura, EPS, con el propósito de dar a conocer el alcance de su participación, definido el proceso de soldadura y las constantes especificadas por diseño (tipo y grado del material base, espesores, área de trabajo, resistencia del aporte), en la obtención de soldaduras sólidas con las propiedades de resistencia (resistencia última a tensión, resistencia de fluencia o de cedencia, resistencia al corte), ductilidad a la tensión (alargamiento y reducción del área transversal del espécimen de prueba), ductilidad al doblar, tenacidad (tenacidad a la fractura, tenacidad para detener el agrietamiento y tenacidad tipo charpy en especímenes con ranura tipo V), resistencia a la fatiga, resistencia a la corrosión y de deslizamiento aceptables, de acuerdo con las disposiciones del código para construcción de puentes de acero soldados de la AWS D1.5.

El código para construcción de puentes de acero soldados, de la sociedad norteamericana para la soldadura, AWS D1.5-1996, como el código de soldadura para estructuras de acero, AWS D1.1-1998, describen los requerimientos que deben ser incluidos en los procedimientos para aplicación de soldadura, que no cumplen con la condición de precalificados; así como los requerimientos adicionales para calificar al personal soldador antes de iniciar la soldadura de ensambles especiales como conexiones sujetas a momento mecánico de edificaciones de acero localizadas en área sísmica. Entre los requerimientos adicionales, para el caso citado, se sugiere hacer la prueba en un prototipo del ensamble real, es decir, en una muestra que represente la conexión del patín inferior de una viga al patín de una columna, como se muestra en la ilustración 2.1, estas pruebas de réplicas se les conoce con el nombre de "Mock up".



Ilustración 2.1- Modelo de una unión sujeta a actividad sísmica

Se considera que un procedimiento de soldadura, desarrollado por un constructor o fabricante de estructuras metálicas soldadas, está precalificado cuando satisface todas las condiciones estipuladas en la sección correspondiente a "precalificados", del código de fabricación propuesto, y por lo tanto no requiere pasar alguna otra prueba para su uso.

Cada fabricante y contratista, es responsable tanto de preparar especificaciones escritas de los procedimientos de soldadura a emplear, como de realizar los ensayos necesarios para la calificación del mismo.

Los formatos que se emiten para cumplir con estos propósitos son:

1. Especificación de Procedimiento para Aplicación de la Soldadura (Welding Procedure Specification) mejor conocido como "WPS"
2. Registro de Calificación de Procedimiento de Soldadura (Procedure Qualification Record) mejor conocido como "PQR"

En este capítulo se citan como referencia los formatos indicados en el apéndice B del código de calderas y recipientes a presión de la sociedad norteamericana de ingenieros mecánicos ASME sección IX, para la descripción de datos y variables de soldadura. Es necesario hacer constar que estos formatos no son mandatorios sino solamente sugeridos para facilitar la preparación del procedimiento, ya que como se observará para un procedimiento preparado bajo el proceso de soldadura de arco con electrodo metálico sumergido (Submerged Arc Welding, SAW), resulta innecesaria toda la información requerida para el proceso de soldadura de arco con electrodo metálico revestido (Shielded Metal Arc Welding, SMAW).

La especificación de procedimiento de soldadura, EPS (por sus siglas en español), es una descripción escrita de las variables definidas en base a un proceso de soldadura específico, de tal forma que provee las directrices al soldador durante la realización de soldaduras de prueba o de producción. La EPS debe incluir las variables esenciales así como las no esenciales y cualquier detalle que se considere importante durante la producción de la soldadura, como el grupo de material base o su especificación incluyendo tipo y grado, especificación del metal de aporte, cuando se requiera la aplicación de tratamiento térmico para antes y después de soldar, espesores cubiertos de acuerdo a código, etc.

El Registro de Calificación de Procedimiento, RCP (por sus siglas en español), es un registro que contiene los datos de la calificación de un procedimiento de soldadura, consistentes en los resultados de los ensayos realizados junto con los parámetros reales empleados durante la aplicación de la soldadura de prueba (Por ejemplo únicamente se cita el espesor de la probeta de prueba y no el rango que se considera cubierto por código). Todo RCP debe estar certificado por el fabricante o contratista y disponible para consulta y revisión del inspector autorizado, en el lugar de fabricación. Puede o no citar las variables no esenciales. Es importante, tener presente, que la soldadura para calificación se obtendrá de acuerdo a una EPS, la cual será indicada como referencia en el RCP.

A menos que se establezca de otro modo en los documentos de contrato, el ingeniero o representante del propietario deberá aceptar la presentación de evidencias de EPS's previas, aprobadas, siempre y cuando se satisfagan las siguientes disposiciones:

- El PQR esté completo y se demuestre que los resultados de las pruebas mecánicas satisfacen las disposiciones del código aplicable.
- Se demuestre que las pruebas fueron conducidas dentro del período establecido por el código aplicable (como se describe en el capítulo 5 párrafo 5.3 del código de la AWS D1.5) o por los documentos de contrato, y que los resultados de tales pruebas cuentan con la certificación de un representante calificado.

2.2 Variables.

El código de la AWS D1.5 (capítulo 5 párrafo 5.13.3) recoge una serie de datos, para preparación de especificaciones de procedimientos de soldadura, agrupados de acuerdo al siguiente listado:

1. Juntas
2. Metales base
3. Metales de aporte
4. Posición
5. Tratamiento térmico para antes de soldar (precalentamiento)
6. Tratamiento térmico para después de soldar (postcalentamiento)
7. Gas de protección
8. Características eléctricas
9. Técnica

Dentro de estos grupos se identifican las variables que de sufrir algún cambio darán lugar a la recalificación del procedimiento para aplicación de soldadura.

Todas estas variables influyen durante el procesamiento de la soldadura, pero su influencia está supeditada al tipo de técnica de soldadura que se emplee como del tipo de soldadura de prueba a producir.

2.2.1 Variables esenciales.

Son aquellas que si son modificadas se requiere nueva calificación de un procedimiento de soldadura, ya que se considera que afectan la correlación entre material base, material de aporte, proceso de soldadura y técnica de aplicación lo cual afectará las propiedades mecánicas de la unión soldada.

2.2.2 Variables esenciales suplementarias.

Son aquellas que se consideran esenciales si se requiere ensayo de resiliencia (prueba de impacto Charpy), cuyo propósito es medir la tenacidad del área de grano grueso en la zona afectada por el calor.

2.2.3 Variables no esenciales.

Son aquellas en las cuales un cambio no requiere recalificación del procedimiento, ya que no afectan las propiedades físicas del depósito y solo aplican para mejorar la capacidad de soldeo.

Para la calificación de procedimientos de soldadura y para calificación de habilidad del personal soldador se consultarán las secciones que se refieren a la clasificación de variables de soldadura, del código aplicable, para seleccionar aquellas que se relacionen con el proceso de soldadura a utilizar y con las condiciones que favorezcan la obtención de soldaduras aceptables. Como ejemplo se definen a continuación las variables esenciales bajo el proceso de soldadura de arco con electrodo metálico revestido, SMAW, extraídas de la tabla 5.3 del código de soldadura para puentes AWS D1.5-96, que de sufrir alguna de las modificaciones referidas dan lugar a la recalificación de un procedimiento de soldadura.

Electrodo

- 1) Aumento o reducción en el diámetro del electrodo en más de un tamaño estándar.
- 2) Cambio en el número de electrodos.
- 3) Cambio de amperaje en un valor no recomendable por el fabricante de los electrodos.
- 4) Un aumento en el calor ingresado en más del 10% o una disminución en más del 30%.

General

- 5) Sobre el área de ranura asentado en un registro de calificación de procedimiento, RCP, un incremento o disminución mayor al 25% en el número de pases.
- 6) Cambio de un tipo de ranura en U a una del tipo en V (pero no a la inversa)
- 7) Cambio de un tipo de preparación de ranura a una ranura en escuadra y a la inversa.
- 8) Un cambio que exceda las tolerancias permisibles respecto a la forma de cualquier tipo de ranura:
 - a. Una reducción en el ángulo de ranura.
 - b. Una reducción en la abertura de raíz.
 - c. Un incremento en la cara de raíz, la cual no deberá ser removida por saneado.
- 9) La omisión, pero no inclusión, de respaldo o saneado por desbaste.
- 10) La adición o eliminación de tratamiento térmico posterior a la aplicación de soldadura.
- 11) En materiales de la especificación M270M (M270)(A709M(A /09)), grado 690(100), 690W (100W) un incremento en el espesor de la placa mayor a 12 mm. o una reducción de 25 mm. o más.

2.3 Combinación de metales base y metales de relleno

El código de la AWS D1.5-1996 agrupa los materiales base a unir con el número de especificación de material de relleno, atendiendo a características tales como composición química, soldabilidad y propiedades mecánicas, agrupados en las tablas 4.1 y 4.2 en el orden indicado en tabla 2.1 de la siguiente página:

| Metal base | Especificación AWS de electrodo | Requerimientos para prueba de calificación, preprueba y de verificación | | | | |
|---|---|---|--|--|---|-------------------------|
| | | Resistencia mínima a la cedencia en MPa(ksi) | Resistencia mínima a la tensión MPa(ksi) | Porcentaje de alargamiento mínimo en 50 mm.(2 pulg.) | Zonas de temperatura AASHTO para la prueba CVN, J(pie-lb) | |
| Especificación AASHTO(ASTM) | | | | | I y II | III |
| M270M (M270) (A 709M (A709)) Gr. 250 (36) | SMAW AWS A5.1 E7016, E7018, E7028 A5.5 E7016-X, E7018-X | Precalificados- exentos de pruebas | | | | |
| | SAW AWS A5.17/A5.17M F6A0-EXXX F7A0-EXXX | 300 (45) | 400 (60) | 22 | 27@-20 °C (20-0 °F) | 27@-30 °C (20-20 °F) |
| | FCAW-G AWS A5.20 E6XT-1, 5 E7XT-1, 5 | 300 (45) | 400 (60) | 22 | 27@-20 °C (20-0 °F) | 27@-30 °C (20-20 °F) |
| | GMAW AWS A5.18/A5.18M E70C-3C, E70C-3M, E70C-6C, E70C-6M | 300 (45) | 400 (60) | 22 | 27@-30 °C (20-0 °F) | 27@-30 °C (20-20 °F) |

Tabla 2.1- Requerimientos de los metales de relleno para EPS ´s calificadas de acuerdo con las limitaciones de producción de calor ingresado

Sólo cuando sea especificado en los dibujos o especificaciones de contrato las pruebas de impacto serán incluidas en la calificación de la EPS. Las pruebas de impacto estarán de acuerdo con las disposiciones del párrafo 5.19.5, del código de la AWS D1.5-1996, o como sea especificado en los documentos de contrato.

Los requerimientos correspondientes a las propiedades mecánicas, solidez, y uso del metal soldado (aporte) así como la composición química del depósito vienen indicados en los documentos relacionados con el metal de relleno de la American Welding Society(Por ejemplo la especificación ANSI/AWS A5.1 contiene los requerimientos que deben satisfacer los electrodos para acero al carbón empleados bajo el proceso SMAW), los cuales servirán de base para verificar la calidad del material de aporte previo a su aplicación en la soldadura de producción.

2.4 Ejemplo de especificación de procedimiento de soldadura.

2.4.1 Requerimientos generales.

2.4.1.1 Alcance.

La siguiente propuesta de procedimiento comprende una lista de detalles generales de materiales, comprendidos en la sección de metales base, aplicables bajo determinados procesos de soldadura; así como ciertos detalles para determinar los valores de las diferentes variables que influirán en el comportamiento final del ensamble de prueba.

2.4.1.2 Requerimientos para el uso de un procedimiento.

Cada procedimiento debe calificarse de acuerdo con el Código o especificación definida por contrato, tomando como base las condiciones de aplicación de la soldadura.

| ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (EPS) | | | |
|--|-------------|--|----------------|
| NOMBRE DE LA COMPAÑÍA | | | (1) |
| NO. DE LA ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA | | | (2) |
| REVISIÓN | (4) | FECHA | (3) |
| PROCESO (S) DE SOLDADURA | (6) | TIPO | (7) |
| UNIÓN(ES) | | DETALLE DE LA UNIÓN | |
| DISEÑO DE LA RANURA | (8) | (12) | |
| RESPALDO: SI | NO | | |
| MATERIAL DE RESPALDO(TIPO) | (10) | | |
| OTROS | (11) | | |
| METAL BASE | | TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDADURA | |
| ESPECIF. DEL MATERIAL | (13) A (14) | TEMPERATURA | (31) |
| ESPESOR | (15) | TIEMPO | (32) |
| DIÁMETRO DE TUBERÍA | (16) | OTROS | (33) |
| OTROS | (17) | | |
| METAL DE APORTE | | GAS | |
| NO. DE ESPECIFICACIÓN | (18) | GAS(ES) DE PROTECCIÓN | (34) |
| CLASIFICACIÓN AWS | (19) | COMPOSICIÓN(MEZCLA) | (35) |
| TAMAÑO DE ELECTRODO | (20) | VELOCIDAD DE FLUJO | (36) |
| PAR FUNDENTE ELECTRODO(CLASE) | (21) | GAS DE RESPALDO | (37) |
| INSERTO CONSUMIBLE | (22) | OTROS | (38) |
| OTROS | (23) | | |
| POSICIÓN(ES) | | CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS | |
| POSICIÓN(ES) DE RANURA | (24) | CORRIENTE: CA O CD | (39) POLARIDAD |
| PROGRESIÓN DE LA SOLDADURA | (25) | AMPERAJE | (41) VOLTAJE |
| OTROS | (26) | (40) | |
| PRECALENTAMIENTO | | OTROS | |
| TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO | (27) | (43) | |
| TEMPERATURA ENTRE PASOS | (28) | | |
| TIEMPO DE PRECALENTAMIENTO | (29) | | |
| OTROS | (30) | | |
| | | TÉCNICA | |
| | | CORDÓN RECTO O OSCILADO | |
| | | (44) | |
| | | ORIFICIO O TAMAÑO DE LA COPA DE GAS | |
| | | (45) | |
| | | LIMPIEZA INICIAL O ENTRE PASOS | |
| | | (46) | |
| | | MÉTODO DE SANEADO POR EL OTRO LADO | |
| | | (47) | |
| | | OSCILACIÓN | |
| | | (48) | |
| | | DISTANCIA DE TUBO DE CONTACTO A LA PIEZA | |
| | | (49) | |
| | | PASO SIMPLE O MÚLTIPLE(POR LADO) | |
| | | (50) | |
| | | ELCTRODO SIMPLE O MÚLTIPLE | |
| | | (51) | |
| | | VELOCIDAD DE AVANCE | |
| | | (52) | |
| | | OTROS | |
| | | (53) | |

Ilustración 2.2- Formato de especificación de procedimiento de soldadura, sugerido

2.4.1.3 Descripción de requerimientos generales y variables que conforman una especificación de procedimiento de soldadura.

1. Nombre de la compañía.

Nombre del fabricante o constructor de estructuras metálicas soldadas por considerarse responsable de la elaboración y calificación de los procedimientos de soldadura y de la calificación del personal soldador bajo su servicio de acuerdo con las disposiciones de los códigos de fabricación con soldadura. Todos los procedimientos de soldadura calificados, precalificados y documentos de la compañía que más adelante llegue a cambiar de nombre voluntariamente o por la consolidación con otra empresa del mismo género pueden ser utilizados con el nuevo nombre siempre y cuando se realicen las correcciones en los renglones correspondientes a revisión del documento y fecha en la que se llevó a efecto la modificación, inciso 4 y 5 de la ilustración 2.2.

2. Número asignado a cada EPS.

Código de identificación que hace referencia al tipo de proceso o combinación de procesos de soldadura empleados, bajo el procedimiento, acompañado por algún símbolo o dígito relacionado con el tipo de metal base utilizado o el número de procedimiento consecutivo.

3. Fecha en que fue preparada la EPS.

Fecha que se relaciona con la generación de un nuevo procedimiento o con la última modificación producida en alguna de las variables.

4. Número de última revisión de la EPS.

El cambio del número de revisión tendrá efecto cuando se modifique alguna de las variables no esenciales del procedimiento, con razón justificada, y esta modificación sea permanente dentro del proceso.

Cuando se haga referencia a la generación de un procedimiento nuevo este renglón se dejará en blanco o se indicará como una revisión cero.

5. Fecha de la última revisión de la EPS.

Esta fecha será actualizada cuando sea justificable la modificación de alguna de las variables no esenciales. Cuando estas modificaciones tengan que ver con el mejoramiento del comportamiento de las soldaduras aplicadas bajo este procedimiento.

Cuando se haga referencia a la generación de un procedimiento nuevo este renglón se dejará en blanco o se indicará la fecha de generación del procedimiento.

6. Proceso de soldadura.

Nombre del tipo de proceso o combinación de procesos que intervienen en la producción de la soldadura de prueba, registrados de acuerdo a la secuencia de aplicación.

7. Tipo de proceso de soldadura usado.

En función de las características del medio de aplicación de la soldadura, desplazamiento y el control arranque-paro los procesos de soldadura se dividen en manual, semiautomático, mecánico, automático.

Un cambio en la forma de controlar la aplicación de la soldadura de un tipo semiautomático a automático y viceversa, representa el tener que cambiar de número al procedimiento, por considerarse variable esencial en la especificación de procedimiento de soldadura.

8. Tipo de junta o soldadura especificada con esta EPS.

Descripción escrita del tipo de junta y preparación de sus bordes, cuando se requiera, que recibirán el depósito de soldadura:

- Unión a tope sin preparación
- Unión a tope con preparación en V simple
- Unión de esquina con preparación en V simple
- Unión de esquina con preparación en V abocinada
- Unión en T con preparación de bisel
- Unión en T con preparación en J

9. Placa de respaldo

Cuando se utilice placa de respaldo en uniones de placa o tubería ésta deberá guardar las dimensiones especificadas en el detalle de la unión de prueba.

La aplicación de placas de respaldo es de uso obligatorio en uniones de elementos que reciben esfuerzos calculados o en elementos secundarios sujetos a tensión o inversión de esfuerzos, soldadas por un solo lado. Este requerimiento deberá indicarse a través del detalle de la unión de prueba.

Al utilizar placa de respaldo al interior de uniones de tubería la cara que va junto a la unión deberá ser plana y ésta deberá estar en contacto directo con la parte posterior de la unión a soldar. La primera soldadura de la unión deberá fusionar por completo la superficie de contacto entre el respaldo y el material del componente a soldar a lo largo de todo el ensamble.

10. Material del respaldo.

Cuando se utilice placa de respaldo ésta deberá ser de la misma especificación y grado de las placas de prueba a soldar, excepto cuando se requiera la prueba de impacto tipo Charpy con preparación de ranura en V, en donde habrán de ser removidas por completo previo a la ejecución de la prueba.

El espesor nominal mínimo recomendable, de las barras de respaldo, deberá ser suficiente para impedir que éste sea completamente fundido al aplicar la soldadura de penetración (Tabla 2.2).

| <u>Proceso</u> | <u>Espesores mínimos</u> | |
|---|--------------------------|------------|
| | <u>Pulg.</u> | <u>mm.</u> |
| Soldadura de arco con electrodo metálico de tungsteno y gas, GTAW | 1/8 | 3 |
| Soldadura de arco con electrodo metálico revestido, SMAW | 3/16 | 5 |
| Soldadura de arco con electrodo metálico y gas, GMAW | 1/4 | 6 |
| Soldadura de arco con electrodo met. de núcleo fundente autoprotegido, FCAW-S | 1/4 | 6 |
| Soldadura de arco con electrodo metálico de núcleo fundente y gas, FCAW-G | 3/8 | 10 |
| Soldadura de arco con electrodo metálico sumergido, SAW | 3/8 | 10 |

Tabla 2.2- Espesor de placa de respaldo de acuerdo a AWS D1.1

11. Otros.

Cualquier requerimiento adicional relacionado con el diseño de la unión:

- Prepare las uniones a soldar mediante el uso de equipo de oxicorte, equipo de corte con arco de plasma, equipo de corte mecánico.
- La superficie que va a soldarse deberá estar libre de rebabas donde pudiera quedar atrapada la escoria o que pudiera evitar la fusión completa del metal base.
- Elimine la escoria, el óxido, la grasa, la pintura y otras sustancias ajenas de la superficie de contacto y del área inmediata antes de soldar.
- Características especiales de la junta.

12. Detalle de la unión.

La especificación deberá incluir un dibujo o dibujos de la unión que muestren el ángulo de bisel, el tamaño de la cara de la raíz, y la abertura de la raíz o el espacio entre los miembros a empatar. Deberán identificarse completamente la forma y el tamaño de las soldaduras de filete. En caso de requerirse el uso de respaldo éste deberá dimensionarse en el detalle de la unión.

A criterio del fabricante pueden anexarse en el dibujo de la unión, capas y secuencia de aplicación de los cordones de soldadura.

13 y 14. Especificación del metal o metales de base.

Los metales base a utilizar deberán cumplir con la especificación de diseño y con los requerimientos para los aceros aprobados por el código que aplique. Para efecto de garantizar que los materiales de fabricación cumplen con las propiedades prescritas del metal base designado un medio efectivo lo constituye la vía de ensayos mecánicos y de análisis químico.

La certificación del proveedor constituye suficiente evidencia de que el material cumple con la norma aplicable. Dejando a elección del cliente el realizar las pruebas de verificación correspondientes.

Para efecto de minimizar el número de EPS's algunos códigos suelen clasificar a determinados materiales en grupos basándose principalmente en características que se pueden comparar, tales como composición, soldabilidad y propiedades mecánicas. De manera que los materiales que pertenecen a una misma clasificación se consideran iguales. Sin embargo esto no quiere decir que podamos sustituir indiscriminadamente un material definido para fabricación por el material utilizado para la prueba de calificación sin considerar su compatibilidad desde el punto de vista de sus propiedades metalúrgicas, requerimientos de tratamiento térmico post soldadura, requerimientos de diseño, propiedades mecánicas y requerimientos de servicio.

Los ingenieros de diseño deberán especificar, en la medida que sea posible, únicamente aceros listados por los códigos de fabricación aplicables, y de no ser así, únicamente productos de acero soldables. Tomando en cuenta su disponibilidad en el mercado.

15. Espesor

El rango de espesores calificado estará de acuerdo con la sección del código de fabricación aplicable (Tabla 4.2 del código de soldadura para estructuras de acero AWS D1.1/d1.1M:2002, tabla 5.2 del código de soldadura para puentes de acero ANSI/AASHTO/AWS D1.5-96), tabla 2.3 de la siguiente página.

| 1. Pruebas en placa | | | | | | | | | | |
|---------------------|--|-----------------------|---------------|---------------|---------------|---|--------|----|--|--|
| | Espesor nominal de placa (T) ensayada, en pulgadas | Número de especímenes | | | | Espesor nominal calificado de placa, tubería o perfil tubular | | | | |
| | | Tensión | Doble de raíz | Doble de cara | Doble de lado | Mínimo | Máximo | | | |
| | | $1/8 \leq T \leq 3/8$ | 2 | 2 | 2 | - | 1/8 | 2T | | |
| | | $3/8 < T < 1$ | 2 | - | - | 4 | 1/8 | 2T | | |
| 1 y mayor | 2 | - | - | 4 | 1/8 | Ilimitado | | | | |

| 2. Pruebas en tubería o perfil tubular | | | | | | | | | |
|--|--|--|-----------------------|---------------|-----------------------|---------------|---|---|-----------|
| Tamaño tubería de prueba | Tamaño o diámetro nominal de la tubería, en pulgadas | Espesor de pared nominal, T, en pulgadas | Número de especímenes | | | | Tamaño o diámetro nominal calificado de tubería o perfil tubular, en pulgadas | Espesor de pared nominal calificado de placa, tubería o perfil tubular, en pulgadas | |
| | | | Tensión | Doble de raíz | Doble de cara | Doble de lado | | Mínimo | Máximo |
| | | | | <24 | $1/8 \leq T \leq 3/8$ | 2 | | 2 | 2 |
| $3/8 < T < 3/4$ | 2 | - | | | - | 4 | Diámetro de prueba y mayor | T/2 | 2T |
| $T \geq 3/4$ | 2 | - | | | - | 4 | Diámetro de prueba y mayor | 3/8 | Ilimitado |
| ≥ 24 | $1/8 \leq T \leq 3/8$ | 2 | | 2 | 2 | - | Diámetro de prueba y mayor | 1/8 | 2T |
| | $3/8 < T < 3/4$ | 2 | | - | - | 4 | 24 y mayor | T/2 | 2T |
| | $T \geq 3/4$ | 2 | | - | - | 4 | 24 y mayor | 3/8 | Ilimitado |

Tabla 2.3- Soldaduras de ranura de penetración completa para calificación de EPS: número y tipo de especímenes de prueba y rango de espesores y diámetros calificados (tabla 4.2 de la AWS D1.1/D1.1M:2002)(dimensiones en pulgadas)

Cada prueba será conducida bajo los requerimientos de aplicación de la soldadura con el mínimo y máximo calor ingresado, en el espesor de metal base aplicable.

16. Diámetro de tubería

Cuando la probeta de prueba esté conformada por secciones de tubería deberá especificarse el rango de diámetro calificado de acuerdo con la sección correspondiente a calificación de procedimiento en probetas de prueba tubulares del código de fabricación aplicable, partiendo del conocimiento del tamaño de la probeta de prueba (Tabla 4.2 del código de soldadura para estructuras de acero AWS D1.1/d1.1M:2002), tabla 2.3.

17. Otros

Especificación de tolerancias dimensionales para soldadura de filete de acuerdo con el código de fabricación aplicable, como las reproducidas de la tabla 2.1 del código de soldadura para puentes de acero ANSI/AASHTO/AWS D1.5-96 en la tabla 2.4 de la siguiente página, excepto para soldaduras de filete empleadas como refuerzo de soldaduras de ranura, deberá ser como se muestra en la siguiente tabla o como sea calculado utilizando procedimientos establecidos para evitar el agrietamiento (temperatura de precalentamiento y entre pasos). En ambos casos el tamaño mínimo aplica si éste satisface los requerimientos de diseño.

| Esesor del metal base, de la pieza más gruesa unida (T) | Tamaño mínimo de la soldadura de filete | |
|---|---|--|
| $T \leq 20$ mm | 6 mm | Las soldaduras deberán ser aplicadas de un solo paso |
| $T > 20$ mm | 8 mm | |

Tabla 2.4- Tamaño de soldaduras de filete mínimos, de acuerdo a AWS D1.5

18 y 19. Metales de aporte.

Especificación del metal o metales de relleno. Cuando más de un metal de relleno sea utilizado, durante la aplicación de la soldadura de prueba, se deberá indicar el tamaño o espesor aproximado de cada capa depositada.

Los metales de aporte deberán cumplir con las especificaciones de materiales de relleno de la AWS:

- ANSI/AWS A5.1 Especificación de electrodos de acero al carbón aplicables bajo el proceso de soldadura de arco con electrodo metálico revestido.
- ANSI/AWS A5.2 Especificación de varillas de acero al carbón y de baja aleación aplicables bajo el proceso de soldadura con oxígeno y gas combustible.
- ANSI/AWS A5.20 Especificación de electrodos de acero al carbón aplicables bajo el proceso de soldadura de arco con electrodo metálico de núcleo fundente.
- Otros.

Los electrodos, fundentes y materiales consumibles para aplicación de la soldadura deberán cumplir todos los requerimientos de la última edición de las especificaciones de la AWS. Entre los que se cuentan las condiciones de almacenamiento y manejo después de ser extraídos de su empaque original.

El tipo de material de aporte estará de acuerdo con la especificación destinada a los metales base aprobados por el código de fabricación aplicable (Tabla 4.1 y 4.2 del código para construcción de puentes de acero soldados de la AWS D1.5, tabla 3.1 del código de soldadura para estructuras de acero AWS D1.1-1998).

El constructor deberá proporcionar la certificación de que los materiales de aporte o combinación fundente-electrodo cumplen con los requerimientos de la clasificación.

Los materiales consumibles para aplicación de la soldadura que hayan sido removidos de su empaque original deberán ser protegidos y almacenados de manera que sus propiedades no se vean afectadas.

Los electrodos y los tubos para conducir materiales consumibles deberán estar secos, limpios y en condiciones apropiadas para su uso.

20. Tamaño de electrodo.

La clasificación y tamaño del electrodo, longitud de arco, voltaje y amperaje deberán estar de acuerdo con el espesor del metal base, tipo de ranura, posiciones de soldadura y demás circunstancias relacionadas con el trabajo.

21. Par fundente-electrodo

Cuando se requiera estará de acuerdo con la clasificación del par-fundente contenido en la especificación de la ANSI/AWS A5.17/A5.17M-1997 o algún tipo de fundente especial aplicable cuando se utilice el proceso de soldadura de arco con electrodo metálico sumergido, SAW, para calificación de procedimiento.

22. Inserto consumible.

Cuando sea requerido para calificación de procedimientos de soldadura por algún código éste deberá ser del mismo tipo del metal base utilizado.

23. Otros.

Prácticas de seguridad durante la aplicación de soldadura:

- Protección respiratoria contra humos y gases.
- Protección contra riesgos eléctricos.
- Protección contra ruidos.
- Protección contra quemaduras.
- Protección contra la radiación.

24. Posición de la junta.

La posición para aplicación de la soldadura de prueba será determinada en función de la forma del producto o las necesidades del área de trabajo.

25. Progresión de la soldadura.

El sentido de aplicación de la soldadura estará determinado por las características del tipo de electrodo como del proceso de soldadura seleccionado.

Por ejemplo un aporte clase AWS E71T-8 de 0.072 de pulgada de diámetro, electrodo tubular para el proceso de soldadura de arco con electrodo metálico de núcleo fundente del tipo autoprotegido, es recomendable para soldar en posición vertical ascendente por dar un alto volumen de depósito del orden de 6.5 lb/hr (especificación de metales de aporte para el proceso FCAW, ANSI/AWS A5.20).

26. Otros.

Mantenga el electrodo a un ángulo de arrastre aproximadamente recto en la posición vertical (apuntando hacia la pieza de trabajo).

De acuerdo con el código para construcción de puentes de acero soldados de la AWS D1.5-1996, cada EPS deberá calificarse en las posiciones que se requieran para aplicar la soldadura de producción, con excepción de la posición plana la cual califica para soldar en

las posiciones plana y horizontal. Los procesos de soldadura y los electrodos deberán ser los adecuados para utilizarse en las posiciones permitidas por la EPS.

27. Pre calentamiento.

En caso de requerirse, la aplicación de calor para antes de soldar, pre calentamiento:

- La experiencia ha demostrado que las temperaturas de pre calentamiento mínimas especificadas en la tabla 4.4 del código de soldadura para puentes AWS D1.5-1996, tabla 2.5, son adecuadas para impedir el agrietamiento en muchos casos.

| Procesos de soldadura (metal base) | Espesor de la pieza más gruesa en junta a soldar, mm. (pulg.) | | | |
|---|---|--|--|---------------------------|
| | Hasta 20 mm. (3/4 pulg.) | Entre 20 mm. y 40 mm. (3/4 pulg. a 1 1/2 pulg.) | Entre 40 mm. y 60 mm. (1 1/2 pulg. a 2 1/2 pulg.) | ≥ 60 mm. (2 1/2 pulg.) |
| SAW, GMAW, FCAW, SMAW (M270M (M270)(A709M (A709)) Gr. 250 (36), 345 (50), 345W (50W)) | 10 (50) | 20 (70) | 65 (150) | 110 (225) |
| SAW, GMAW, FCAW, SMAW (M270M (M270)(A709M (A709)) Gr. 485W (70W), 690 (100), 690W (100W)) | 10 (50) | 50 (125) | 80 (175) | 110 (225) |

Tabla 2.5- Temperatura para antes y durante la aplicación de la soldadura mínima, de acuerdo a tabla 4.4 del código de soldadura para puentes AWS D1.5

- El código de soldadura para puentes brinda una guía de métodos alternativos para la determinación de temperaturas de pre calentamiento en base a la composición del acero, espesores trabajados y al grado de restricción.

Para combinaciones de metales base, las temperaturas de pre calentamiento y entre pasos se tomará la temperatura más alta que se requiera.

Un aspecto importante en la determinación de la cantidad de calor que se requiere durante la aplicación de la soldadura involucra la composición y espesor del metal base los cuales de alguna manera están relacionados en los diferentes métodos empleados para evitar el agrietamiento en frío. La selección de uno u otro método suele estar condicionado por el cálculo del contenido de carbono y de otros elementos de aleación que suelen disminuir la soldabilidad, aunque de un modo menor, a partir de la siguiente ecuación (Ec. 2-01):

$$\text{Ec. 2-01} \quad \text{CE} = \text{C} + (\text{Mn} + \text{Si})/6 + (\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V})/5 + (\text{Ni} + \text{Cu})/15$$

Donde:

- CE Carbón Equivalente
- C Carbón
- Mn Manganeso
- Si Silicio
- Cr Cromo
- Mo Molibdeno
- V Vanadio
- Ni Níquel
- Cu Cobre

Un aumento en el calor ingresado o un aumento en el volumen del depósito de soldadura por unidad de longitud arriba del rango calificado, puede repercutir en la afectación de las propiedades mecánicas de la unión soldada. El incremento del calor ingresado puede ser medido bajo una de las siguientes recomendaciones:

a) La velocidad de soldeo adquiere mayor importancia cuando se trata de mantener dentro de un margen el calor ingresado para un voltaje y amperaje de arco dados mediante la fórmula EC. 2-02:

$$\text{Ec. 2-02} \quad \text{Calor ingresado al soldar} = \frac{60 * E * I}{V}$$

Donde:

Calor ingresado al soldar en Joules/cm (Heat input, J/cm)

E Voltaje, en voltios

I Amperaje, en amperios

V Velocidad de avance, en cm/mín.

Ya que una variación de la energía aportada por centímetro fuera de los límites indicados en un procedimiento constituye una variable esencial.

El calor ingresado no deberá exceder la cantidad recomendada por el fabricante del metal base.

b) El volumen de metal soldado es igual al aumento del tamaño de un cordón o disminución de la longitud del cordón de soldadura por unidad de longitud del electrodo.

El requerimiento para medir el calor ingresado o volumen de metal soldado depositado no aplica cuando la WPS es calificada con un Tratamiento Post-soldadura (PWHT) arriba de la temperatura de transformación superior o con un recocido de la disolución después de la soldadura de materiales austeníticos.

No deberá realizarse ningún trabajo de soldadura cuando la temperatura ambiente sea menor a -20°C , cuando las superficies se encuentren mojadas o expuestas a la lluvia, a la nieve o a altas velocidades de viento ni cuando los soldadores estén expuestos a condiciones inclementes.

Para aumentar la efectividad del precalentamiento sin necesidad de aumentar la temperatura, como una opción para el constructor, el área y profundidad a ser calentada puede extenderse más allá de la mínima especificada.

La temperatura de precalentamiento y la temperatura entre pasos deberá aplicarse a una distancia no menor a la equivalente al espesor del metal base (pero no menor que 3 pulgadas) en todas las direcciones tomando como referencia la zona de soldeo.

Cuando se suelden aceros endurecidos por enfriamiento y templados el calor ingresado deberá estar restringido al igual que la máxima temperatura de precalentamiento y entre pasos requerida. El total de las limitaciones estarán de acuerdo a las recomendaciones del

proveedor del metal base. El vaciado de soldadura con equipo de oxicorte en aceros endurecidos por enfriamiento y templados está prohibido.

28. Temperatura entre pasos.

Cuando se requiera mantener a una determinada temperatura al metal base durante la aplicación de soldadura deberá especificarse el método para conseguir la temperatura deseada, el o los métodos para llevar el control sobre la misma y a partir de que temperatura, en la vecindad del material, se precisa de un tratamiento térmico.

Los requerimientos de temperatura mínima entre pasos deberán ser considerados iguales a los requerimientos de precalentamiento, a menos que se indique de otro modo.

29. Tiempo de precalentamiento.

De acuerdo a AWS D1.1 (capítulo 5 párrafo 5.6) la temperatura de precalentamiento y entre pasos deberá ser mantenida durante toda la operación de aplicación de soldadura.

La temperatura de precalentamiento y entre pasos deberá ser revisada exactamente antes de iniciar el arco de cada paso.

30. Otros.

Cuando se requiera se deberá especificar el método o métodos aceptables de tratamiento térmico, los métodos para el control de la temperatura y la temperatura ambiente factible para aplicar la soldadura.

31. Tratamiento térmico post-soldadura.

La aplicación de calor para después de soldar será requerido para prevenir el agrietamiento o minimizar la aparición de desgarres laminares. Cuando sea especificado el tratamiento térmico post-soldadura será definido en función del espesor del metal base.

El tratamiento térmico post-soldadura suele ser necesario en aplicaciones donde los ensamblajes soldados deben mantener estabilidad dimensional durante el maquinado o en aquellos casos en donde se presume la existencia de corrosión por la transmisión de esfuerzos. Sin embargo, los resultados derivados de pruebas de tenacidad en especímenes ranurados han demostrado que el tratamiento térmico post-soldadura, en realidad, suele empeorar la tenacidad de la soldadura y de la zona afectada por el calor, además de propiciar la manifestación de agrietamiento intergranular, en algún momento, en la región de grano grueso de la zona afectada por el calor al soldar.

Para una descripción más detallada sobre requerimientos de tratamiento térmico post soldadura consúltese el capítulo 5, párrafo 5.8 del código de soldadura para acero estructural AWS D1.1/d1.1M:2002, el capítulo 4, párrafo 4.4 y el capítulo 12, párrafo 12.15 del código de soldadura para puentes ANSI/AASHTO/AWS D1.5-96 o consúltese el código o especificación aplicable.

Para ejemplos de tipo de materiales, rango de espesores y tipo de servicio de componentes soldados que requieren tratamiento térmico post soldadura consúltense sección I párrafo PW-39, sección VIII división I párrafo UCS-56 del código de recipientes a presión de la sociedad norteamericana de ingenieros mecánicos, etc.

32. Duración del tratamiento térmico post-soldadura.

De acuerdo con el código de soldadura para puentes AWS D1.5, cuando se requiera la aplicación de calor para después de soldar, las soldaduras y el metal base adyacente deberán ser calentados a una temperatura de 230°C mínimo, hasta 315°C máximo por no menos de una hora por cada 25 mm. de espesor de soldadura, o dos horas, cualquiera que sea menor.

El tiempo de aplicación de calor mínimo para reparación de soldaduras será de una hora por cada 25 mm. de profundidad desde la superficie, pero no menos de una hora.

El tratamiento térmico post-soldadura de acuerdo al código de soldadura para estructuras de acero AWS D1.1 estará de acuerdo a los requerimientos descritos en el capítulo 5, párrafo 5.8, los cuales son determinados en base al espesor de los materiales. En donde se deduce que para espesores de metal base superiores a 3/4" deberá suministrarse una temperatura promedio entre los 600°C y los 650°C, manteniéndola por un periodo de 1 hora.

33. Otros.

Métodos aceptables de tratamiento térmico para después de soldar.

34. Gas de protección.

Las atmósferas de protección del arco son de varios tipos y pueden consistir de gases inertes, gases activos o mezclas de gases inertes y activos. Su alta pureza y nulo contenido de humedad tienen gran influencia en la soldadura y deberán ser de valores apropiados para el proceso y los materiales a ser soldados. La atmósfera de protección deberá ser calificada para el material y el proceso de soldadura seleccionado.

Los gases de protección deberán ser mantenidos en sus contenedores originales, los cuales deberán ser almacenados lejos de temperaturas extremas. Los gases de pureza dudosa y aquellos de contenedores que muestren signos de daño no deberán ser utilizados.

Los gases para proteger el arco o el charco de soldadura deberán tener una pureza y un grado de soldadura altos.

Los gases de protección no deberán emplearse en área abierta donde existan corrientes de aire o viento a menos que la soldadura sea protegida por medio de una barrera. Tal barrera deberá ser de un material y forma apropiada para reducir la velocidad del viento en la vecindad de la soldadura a un máximo de ocho a diez kilómetros por hora.

El gas o mezcla de gases utilizados para soldar bajo el proceso de soldadura de arco metálico y gas, GMAW, o cuando sea requerido por el proceso de soldadura de arco con núcleo de fundente, FCAW, deberá ser de un grado de soldadura que tenga un punto de condensación de -40°C o menor.

35. Composición del gas de protección.

Cuando sea solicitado por el ingeniero, el constructor deberá proporcionar la certificación del proveedor de que el gas o mezcla de gases es aceptable para el uso al que está destinado y que satisface el requerimiento del punto de condensación. Cuando la mezcla tenga que prepararse, en el lugar de trabajo deberán utilizarse los instrumentos de medición apropiados para obtener el proporcionamiento adecuado de los gases.

El arco del proceso de soldadura de arco metálico y gas, GMAW, protegido con un gas simple o una mezcla de gases que contiene menos de 80% de argón será considerado un proceso por corto circuito y no deberá ser utilizado en la construcción de miembros para puentes sin la aprobación por escrito del ingeniero.

36. Índice de flujo del gas de protección.

Al hacer uso de gases para formar la atmósfera de protección del arco de la soldadura se deberá especificar el índice o los índices de flujo requeridos por la técnica de soldadura seleccionada.

La velocidad de flujo estará de acuerdo a las recomendaciones del proveedor del gas de protección.

37. Gas de respaldo

De acuerdo con AWS D1.1 las soldaduras de ranura de penetración completa de la unión pueden ser hechas con o sin el uso de gas de respaldo, barra de respaldo o inserto consumible o bien la soldadura del paso inicial puede ser vaciada con disco de desbaste, cincelada o removida de algún otro modo hasta el metal sólido antes de iniciar la soldadura por el otro lado de la unión.

38. Otros.

Cuando sea requerido se indicará el tipo de material de la boquilla, o cualquier requerimiento especial sobre el manejo de los gases.

39. Corriente eléctrica.

Deberá especificar cualquiera de los tipos de corriente de soldadura adecuada para el tipo de electrodo a utilizar durante la aplicación de la soldadura de prueba.

Entre los tipos de corriente de soldadura se definen:

- Corriente alterna (C.A.) la cual se obtiene directamente de las líneas de distribución comercial.

- Corriente directa (C.D.) se obtiene a partir de la conversión de la corriente alterna, mediante el uso de un transformador-rectificador
- Corriente continua (C.C.) este tipo de corriente se obtiene por medio de una batería o generador.

39. Polaridad.

El tipo de polaridad será definida en función del tipo y diámetro del electrodo, varilla o alambre. Se tomará la polaridad de acuerdo a las recomendaciones del fabricante de los electrodos.

Entendiéndose como polaridad el sentido en el que viaja la corriente eléctrica, se definen los siguientes tipos:

- Polaridad directa se obtiene cuando la corriente viaja del electrodo al metal base, o el electrodo es conectado al borne negativo del equipo de soldar (EN).
- Polaridad invertida se obtiene cuando la corriente viaja del metal base al electrodo, o el electrodo es conectado al borne positivo del equipo de soldar (EP).

41. Amperaje.

El rango de la corriente de la soldadura al igual que el voltaje estará dentro del rango de operación recomendado por el fabricante del material de aporte (electrodo, varilla, alambre).

42. Voltaje.

El rango de voltaje estará de acuerdo al rango de operación recomendado por el fabricante del material de aporte.

43. Otros.

Cuando se requiera mejorar la transferencia del metal de aporte se indicará el tipo de corriente más recomendable (corriente pulsada, etc.)

La soldadura con corriente pulsada consiste en hacer que la corriente pulse, alternando entre niveles altos y bajos, de manera que sólo valores de corriente de corta duración puedan ser utilizados. Tales valores de corta duración son significativamente diferentes del valor promedio de la corriente.

44. Cordón recto u oscilado.

A menos que se indique de otra manera, utilícese la técnica de cordón oscilado cuando se suelde en las posiciones 1G, 1F, 3G, 3F y 5G.

Se le llama cordón recto al que resulta a partir del progreso de la soldadura a lo largo de la unión con poco o ningún movimiento de lado a lado.

Se le conoce como cordón oscilado al que resulta a partir de la manipulación del electrodo lateralmente, o de lado a lado, cuando la soldadura es depositada a lo largo de la unión.

45. Tamaño del orificio, copa o boquilla de gas.

Cuando trabaje bajo el proceso GMAW o FCAW-S, antes de empezar la soldadura, cubra la boquilla de soldar con un compuesto repelente a la soldadura aceptable y corte la punta del electrodo a la misma altura de la boquilla antes de cada arranque.

Seleccione el tamaño de la boquilla en base a las recomendaciones del fabricante para evitar contaminación de la soldadura o la aparición de porosidad (P. ej. bajo el proceso de soldadura de arco con electrodo metálico y gas una boquilla de 5/8" de diámetro interior es recomendada para tamaños de alambre desde 0.035 de pulgada hasta 3/32 de pulgada de diámetro, por otra parte bajo el proceso de soldadura de arco con electrodo metálico de tungsteno y gas una boquilla del No. 5 es recomendable para un tamaño de electrodo de 0.040 de pulgada de diámetro, etc.).

46. Limpieza inicial y entre pasos.

Elimine los defectos tales como metal de soldadura que no se haya fusionado, huecos, escoria, fundente, salpicaduras de la soldadura, traslape, golpes de arco o exceso de convexidad de cada cordón de soldadura, antes de depositar los cordones subsecuentes y de la soldadura de acabado. Utilice el cincelado, cepillado manual, esmerilado o una combinación de estos métodos de limpieza.

47. Preparación del otro lado de la unión.

Para las uniones que deben soldarse por ambos lados efectúe un saneado previo con esmeril, cincel o por la técnica de corte con arco de carbón y aire comprimido a lo largo de la unión, retirando el cordón inicial de la raíz hasta descubrir metal soldado sólido antes de soldar el segundo lado. De efectuarse el retiro de la soldadura de raíz por arco con electrodo de carbón a chorro de aire comprimido, elimine las irregularidades ásperas y el exceso de carbón esmerilando antes de soldar el segundo lado.

48. Oscilación.

Al emplear una oscilación normal en la raíz o un movimiento sin oscilación se puede observar que la escoria sobrepasa el arco muy fácilmente. Un movimiento de oscilación muy rápido, de lado a lado, puede resolver el problema. Aunque este movimiento no es muy fácil de realizar, con el es posible mantener la escoria detrás del arco.

49. Distancia del tubo de contacto a la pieza de trabajo.

Cuando se utilice el proceso de soldadura SAW, GMAW y FCAW, la extensión del electrodo de 0.5 a 1 de pulgada es normal; con una extensión de 0.5 de pulgada es posible mantener la escoria fuera del charco de soldadura, especialmente si se tienen problemas con la escoria que llega a sobrepasar el charco de soldadura.

La extensión del electrodo o la distancia del tubo de contacto a la pieza de trabajo es una variable importante al soldar, ya que repercute en la intensidad de corriente como en el modo de transferencia de la soldadura. De tal forma que a una velocidad de alimentación de alambre fijada, utilizando una fuente eléctrica de voltaje constante, extensiones de electrodos grandes ocasiona que la corriente de soldar disminuya. Tal evento traerá consigo una disminución en la penetración de la soldadura aplicada y el calor ingresado promoviendo la generación de discontinuidades del tipo de falta de fusión. En contraste con una extensión del electrodo más corta trae como consecuencia un aumento de la corriente al soldar. Por otro lado, una variación en la extensión del electrodo puede causar un cambio de transferencia de la soldadura de un tipo rocío a globular o corto circuito.

50. Paso simple o múltiple por lado.

Un cambio de pasos múltiples por lado a la aplicación de paso simple por lado significa recalificar nuevamente el procedimiento.

Se entiende por paso simple cuando la soldadura resulta de un solo paso o cordón de soldadura.

Se entiende por pasos múltiples cuando la soldadura se obtiene a partir de varios pasos o cordones de soldadura.

51. Electrodo simple o múltiple.

Electrodo simple significa que un electrodo está conectado exclusivamente a una fuente de alimentación eléctrica la cual puede consistir de uno o más unidades alimentadoras de alambre (aporte).

Electrodo paralelo significa que dos electrodos están conectados eléctricamente en paralelo directamente de la misma fuente de alimentación eléctrica. Ambos electrodos son usualmente suministrados por medio de un alimentador de electrodo simple. La corriente de soldar, cuando sea especificada, será el total de los dos electrodos (P. ej. producción de soldaduras rectas, en posición plana u horizontal, con el proceso de soldadura de arco con electrodo metálico sumergido previendo que la distancia entre los arcos sea tal que la escoria proteja a la soldadura producida por el arco de adelante para impedir un enfriamiento repentino de la soldadura depositada).

Por electrodos múltiples se define como la combinación de dos o más sistemas de electrodos simples o paralelos. Cada uno de los componentes del sistema tiene su propia fuente de alimentación eléctrica independiente y su propio alimentador de electrodo.

Un cambio de electrodo simple a electrodo múltiple, o viceversa, en un tipo de soldadura mecánica o automática únicamente requiere la recalificación del procedimiento.

52. Velocidad de avance.

Deberá especificarse el rango de velocidad de avance para cada paso o cordón de soldadura hasta completar el espesor del metal base.

53. Otros.

Encienda el arco en el centro de la unión. Incline el arco de tal manera que evite la formación de cráteres en la soldadura. No está permitido mantener en contacto la punta del electrodo con el metal base.

Ningún cordón individual de soldadura podrá tener un ancho de más de 1/2 de pulgada.

El ajuste deberá cumplir con los detalles especificados en el diseño de la unión.

Si las superficies de las placas de la probeta están desalineadas más de 1/16 de pulgada, transición de espesores o anchos de uniones a tope, rebaje el espesor de la orilla más gruesa a razón de 2.5 a 1 para igualar a la orilla más delgada. Las conexiones de traveses continuas en la región de máximo momento, de marcos para salvar claros amplios, es un ejemplo de aplicación de este tipo de detalle.

Puntos de soldadura.

Utilice un número adecuado de puntos de soldadura en diferentes lugares de las uniones para mantenerlas alineadas. Los puntos deben de ser consistentes, con un largo mínimo de 1/2 de pulgada además de estar rebajados en los dos extremos antes de depositar el cordón de la raíz.

Martillado.

Cuando sea aprobado por el ingeniero de soldadura el martilleo puede ser utilizado para evitar el agrietamiento y la aparición de desgarres laminares para reducir los esfuerzos residuales creados por la soldadura. El paso de raíz y de acabado o final no deberán ser sometidos a martilleo.

El martillado deberá ser hecho cuando la soldadura se encuentre a una temperatura de 65°C a 260°C.

Soldaduras de filete.

Las soldaduras de filete que vayan a soportar una carga de servicio deberán hacerse con por lo menos dos cordones.

Soldadura semiautomática.

Utilice la técnica de cordón de penetración (melt through) en la raíz cuando esté soldando en las posiciones 2G, 2F, 4G y 4F.

Para las posiciones 3G y 3F suelde el cordón de la raíz de arriba hacia abajo. Empiece el primer cordón de la raíz en un punto de soldadura en la parte de arriba de la unión con la antorcha inclinada a 15° con respecto a la unión. Oscile el baño de metal fundido ligeramente de lado a lado.

Haga el avance lo más rápido posible, pero no permita que el electrodo se adelante de la orilla guía del baño de metal fundido. Si esto ocurre, la varilla entrará a través de la unión abierta, se fundirá sobre la orilla de la unión y dejará un pedazo corto de varilla sin fundir proyectándose del otro lado. Tales proyecciones (llamadas inclusiones de metal de aporte) son inaceptables.

Suelde de punto a punto. Si se debe detener una soldadura antes de llegar al siguiente punto, mueva el arco ligeramente hacia un lado y pare el arco sobre el bisel de la unión. Los cordones de la raíz deberán tener una fusión total y una penetración completa.

Suelde hacia arriba oscilando el electrodo desde abajo en todas las soldaduras después del cordón de la raíz. Recargue ligeramente en cada lado de la unión para evitar la socavación. Las soldaduras deberán ser planas y deberán tener una convexidad máxima de 1/16 de pulgada. La convexidad excesiva ocasiona la fusión incompleta de los cordones subsecuentes y por lo tanto no es aceptable.

Para las uniones que deben soldarse por ambos lados efectúe un saneado previo con esmeril, cincel o por arco con electrodo de carbón a chorro de aire comprimido a lo largo de la unión, retirando el cordón inicial de la raíz hasta descubrir el metal sólido antes de soldar el segundo lado. De efectuarse el retiro de la soldadura de raíz por arco con electrodo de carbón a chorro de aire comprimido, elimine las irregularidades ásperas y el exceso de carbón esmerilando antes de soldar el segundo lado.

Soldadura automática.

El equipo deberá tener una transmisión de velocidad variable que sea exacta y capaz de mantener una velocidad uniforme en cualquier graduación dentro de un rango de 0 a 6 RPM. La desviación máxima de una graduación específica es de 2 %. Utilice la técnica de cordón de penetración (melt through); no oscile.

2.4.2 Requerimientos de calidad de la soldadura.

2.4.2.1 General

2.4.2.1.1 Importante:

Los requerimientos de calidad de la soldadura deberán cumplir con el código de soldadura especificado.

La calidad general de la soldadura deberá ser como sigue:

Las soldaduras terminadas deberán tener un contorno uniforme y cada cordón deberá estar fusionado con el otro de una manera homogénea, al igual que las orillas de la soldadura con el metal base.

Para todas las soldaduras, la profundidad de los socavados se limita a 1/32 de pulgada o el 10 por ciento del espesor del metal base, lo que sea menor. La hoja de datos de soldadura puede especificar requerimientos más estrictos.

2.4.2.1.2 Soldaduras de ranura.

Las soldaduras de ranuras deberán tener un ligero refuerzo arriba de la superficie del metal base y deberá penetrar por completo. El refuerzo, de la raíz y de la cara no deberá exceder 1/8 de pulgada.

No se permiten las grietas, fusión incompleta, penetración incompleta, solape y porosidad aislada.

El ancho de la soldadura terminada no deberá rebasar el ancho de la ranura soldada más 1/4 de pulgada.

La concavidad en uniones soldadas de tubería es aceptable hasta una profundidad máxima de 1/32 de pulgada siempre y cuando el tamaño de la soldadura sea igual o mayor que el espesor del metal base y todo esté bien fusionado.

2.4.2.1.3 Soldaduras en uniones de esquina.

Las soldaduras en uniones de esquina de todos tamaños, en todos los espesores de metales base y en todos los diámetros son calificados por pruebas de soldadura de ranura.

Las soldaduras de filete deberán cumplir con los siguientes requerimientos:

- La convexidad y la concavidad no deberán exceder 1/16 de pulgada.
- El tamaño de las piernas deberán ser iguales, con un margen máximo de diferencia de 1/16 de pulgada.
- El tamaño de las piernas en soldaduras de filete deberán ser por lo menos iguales al espesor de la pared más delgada que se está uniendo.
- El traslape no es aceptable.

2.4.3 Ejemplo de especificación de procedimiento de soldadura utilizando el proceso FCAW-S.

| ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO PARA APLICACIÓN DE SOLDADURA (EPS) | |
|--|---|
| PROCESO(S) DE SOLDADURA | |
| Procesos de soldadura (2.4.1.2-6): | FCAW-S. |
| Método de aplicación (2.4.1.2-7): | Semiautomático. |
| DISEÑO DE LA UNIÓN | |
| Diseño de la unión (2.4.1.2-8): | Unión a tope con preparación de bisel en V simple a 60°, ver detalle de la unión (Ilustración 2.4, extraída del código de la AWS D1.5). |
| Respaldo (2.4.1.2-9): | No aplica. |
| METALES BASE | |
| Metal base (2.4.1.2-13,14): | AASHTO M270M Gr. 345 (equivalente a un acero tipo ASTM A572, Gr. 50, párrafo C1.2 del código AWS D1.5). |
| Rango de espesores (2.4.1.2-15): | 1/8 de pulg. a 1 1/2 de pulg. para soldaduras de ranura. 1/8 de pulg mínimo para soldaduras de filete. |
| METALES DE APORTE | |
| Metal de aporte (2.4.1.2-18): | ANSI/AWS A 5.20. |
| Clasificación (2.4.1.2-19): | E71T-8 por su aplicación en todas posiciones como y elevados volúmenes de depósito. |
| Tamaño del aporte (2.4.1.2-20): | 5/64 de pulgada (2 mm.). |
| POSICION | |
| Posiciones permitidas (2.4.1.2-24): | Todas. |
| Progresión al soldar (2.4.1.2-25): | En posición vertical, la soldadura será aplicada hacia arriba. |
| PRECALENTAMIENTO | |
| Precalentamiento (2.4.1.2-27): | 20°C mín., 230°C máx. |
| Temp. entre pasos (2.4.1.2-28): | 20°C mín., 230°C máx. |
| Tiempo precalentamiento (2.4.1.2-29): | Continuo. |
| POST-CALENTAMIENTO | |
| Temperatura (2.4.1.2-31): | No aplica. |
| Tiempo (2.4.1.2-32): | No aplica. |
| GAS PARA PROTECCION DEL ARCO | |
| Gas de protección (2.4.1.2-34): | No aplica, el aporte a utilizar es del tipo autoprotegido. |
| CARACTERISTICAS ELECTRICAS | |
| Tipo de corriente (2.4.1.2-39): | Corriente directa (CD). De acuerdo con las disposiciones de la especificación ANSI/AWS A5.20. |
| Polaridad (2.4.1.2-40): | Electrodo conectado al polo negativo, polaridad directa. De acuerdo con las disposiciones de la especificación ANSI/AWS A5.20. |
| Intensidad de Corriente (2.4.1.2-41): | 150 a 355 Amperes, de acuerdo con catalogo de INFRA. |
| Tensión de operación (2.4.1.2-42): | 16 a 22 Voltios, de acuerdo con catalogo de INFRA. |
| TÉCNICA | |
| Cordón recto o oscilado (2.4.1.2-44): | Recto u oscilado. |
| Tamaño de la pistola (2.4.1.2-45): | 5/8 de pulgada, de acuerdo con catalogo de ESAB. |
| Limpieza al soldar (2.4.1.2-46): | Cepillo y esmeril, secar la unión antes de soldar. |
| Saneado otro lado unión (2.4.1.2-47): | Cepillo y esmeril, de acuerdo con párrafo 3.2.6 del código de la AWS D1.5. |
| Oscilación (2.4.1.2-48): | 1/2 de pulgada, de acuerdo con párrafo 4.14.1.5 del código de la AWS D1.5. |
| Tubo de contacto a metal base (2.4.1.2-49): | 3/4 de pulgada ± 1/4 de pulgada. |
| Paso simple o múltiple (2.4.1.2-50): | Múltiple, por alcanzar el espesor del metal base de varios cordones de soldadura. |
| Electrodo simple o múltiple (2.4.1.2-51): | Simple, un solo electrodo desde el inicio hasta finalizar la aplicación de la soldadura. |
| Velocidad de avance (2.4.1.2-52): | 50 a 140 pulg./mín. |
| Nota: Especificación apegada a los requerimientos del código de la AWS D1.5. | |

Ilustración 2.3- Aplicación del formato de especificación de procedimiento de soldadura

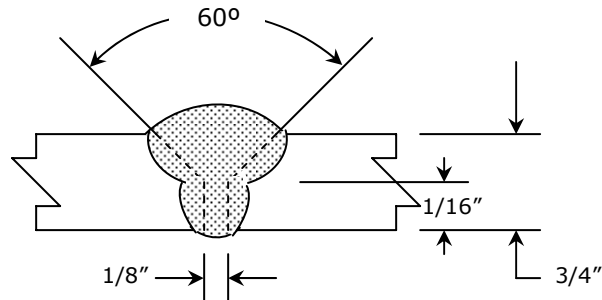


Ilustración 2.4- Detalle de la unión para calificación de la EPS

2.5 Calificación de procedimiento para aplicación de soldadura.

La calificación de un procedimiento para aplicación de soldadura deberá cumplir con el Código de Soldadura o especificación que aplique.

| REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (RCP) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|--|---------------------------------------|--|------------------------|--|-------------------|--|--------------------------------|--|------------------|--|-------------------|--|--------------------------------|--|---|--|------------------------------|--|------------------|--|----------|--|-------------------------------|--|------------------------------------|--|------------------|--|------------------|--|--|--|------------------------------------|--|------------------|--|---|-----------------------------------|--|------------------------|--|-------------------|--|------------------|--|-----|--|--------------------------------|--|--|--|------------------|--|----------------------------|--|----------------------|--|----------------------|--|---------------------|--------------------|------------------|--|---------|--|--------------------------------|--|------------------------------------|--|-----------------------|--|--|--|--|--|------------------|--|
| NOMBRE DE LA COMPAÑÍA _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NO. DE REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO _____ (1) | FECHA _____ (2) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NO. DE WPS _____ (3) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROCESO(S) DE SOLDADURA _____ (4) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TIPO DE OPERACIÓN DEL PROCESO (MANUAL, AUTOMÁTICO, SEMIAUTOMÁTICO) _____ (5) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| UNIÓN _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (6) TIPO DE UNIÓN DEFINIDA POR DISEÑO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">METALES BASE</td> </tr> <tr> <td>ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL _____ (7)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>TIPO O GRADO _____ (8)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ESPESOR _____ (9)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>DIÁMETRO DE TUBERÍA _____ (10)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>OTROS _____ (11)</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">METALES DE APORTE</td> </tr> <tr> <td>TAMAÑO DE ELECTRODO _____ (12)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>NO. DE ESPECIFICACIÓN ANSI/AWS _____ (13)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CLASIFICACIÓN AWS _____ (14)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>OTROS _____ (15)</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">POSICIÓN</td> </tr> <tr> <td>POSICIÓN DE RANURA _____ (16)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PROGRESIÓN DE LA RANURA _____ (17)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>OTROS _____ (18)</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">PRECALENTAMIENTO</td> </tr> <tr> <td>TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO _____ (19)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>TEMPERATURA ENTRE PASOS _____ (20)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>OTROS _____ (21)</td> <td></td> </tr> </table> | METALES BASE | | ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL _____ (7) | | TIPO O GRADO _____ (8) | | ESPESOR _____ (9) | | DIÁMETRO DE TUBERÍA _____ (10) | | OTROS _____ (11) | | METALES DE APORTE | | TAMAÑO DE ELECTRODO _____ (12) | | NO. DE ESPECIFICACIÓN ANSI/AWS _____ (13) | | CLASIFICACIÓN AWS _____ (14) | | OTROS _____ (15) | | POSICIÓN | | POSICIÓN DE RANURA _____ (16) | | PROGRESIÓN DE LA RANURA _____ (17) | | OTROS _____ (18) | | PRECALENTAMIENTO | | TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO _____ (19) | | TEMPERATURA ENTRE PASOS _____ (20) | | OTROS _____ (21) | | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">TRATAMIENTO TÉRMICO POSTSOLDADURA</td> </tr> <tr> <td>TEMPERATURA _____ (22)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>TIEMPO _____ (23)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>OTROS _____ (24)</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">GAS</td> </tr> <tr> <td>TIPO DE GAS O GASES _____ (25)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA DE GASES _____ (26)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>OTROS _____ (27)</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</td> </tr> <tr> <td>CORRIENTE _____ (28)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>POLARIDAD _____ (29)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>AMPERAJE _____ (30)</td> <td>VOLTAJE _____ (31)</td> </tr> <tr> <td>OTROS _____ (32)</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">TÉCNICA</td> </tr> <tr> <td>VELOCIDAD DE AVANCE _____ (33)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CORDÓN RECTO O OSCILADO _____ (34)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>OSCILACIÓN _____ (35)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PASO SIMPLE O MÚLTIPLE (POR LADO) _____ (36)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ELECTRODO SIMPLE O MÚLTIPLE _____ (37)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>OTROS _____ (38)</td> <td></td> </tr> </table> | TRATAMIENTO TÉRMICO POSTSOLDADURA | | TEMPERATURA _____ (22) | | TIEMPO _____ (23) | | OTROS _____ (24) | | GAS | | TIPO DE GAS O GASES _____ (25) | | COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA DE GASES _____ (26) | | OTROS _____ (27) | | CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS | | CORRIENTE _____ (28) | | POLARIDAD _____ (29) | | AMPERAJE _____ (30) | VOLTAJE _____ (31) | OTROS _____ (32) | | TÉCNICA | | VELOCIDAD DE AVANCE _____ (33) | | CORDÓN RECTO O OSCILADO _____ (34) | | OSCILACIÓN _____ (35) | | PASO SIMPLE O MÚLTIPLE (POR LADO) _____ (36) | | ELECTRODO SIMPLE O MÚLTIPLE _____ (37) | | OTROS _____ (38) | |
| METALES BASE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL _____ (7) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TIPO O GRADO _____ (8) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESPESOR _____ (9) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIÁMETRO DE TUBERÍA _____ (10) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OTROS _____ (11) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| METALES DE APORTE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TAMAÑO DE ELECTRODO _____ (12) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NO. DE ESPECIFICACIÓN ANSI/AWS _____ (13) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CLASIFICACIÓN AWS _____ (14) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OTROS _____ (15) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| POSICIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| POSICIÓN DE RANURA _____ (16) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROGRESIÓN DE LA RANURA _____ (17) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OTROS _____ (18) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PRECALENTAMIENTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO _____ (19) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TEMPERATURA ENTRE PASOS _____ (20) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OTROS _____ (21) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRATAMIENTO TÉRMICO POSTSOLDADURA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TEMPERATURA _____ (22) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TIEMPO _____ (23) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OTROS _____ (24) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TIPO DE GAS O GASES _____ (25) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA DE GASES _____ (26) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OTROS _____ (27) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CORRIENTE _____ (28) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| POLARIDAD _____ (29) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AMPERAJE _____ (30) | VOLTAJE _____ (31) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OTROS _____ (32) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TÉCNICA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VELOCIDAD DE AVANCE _____ (33) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CORDÓN RECTO O OSCILADO _____ (34) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OSCILACIÓN _____ (35) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PASO SIMPLE O MÚLTIPLE (POR LADO) _____ (36) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ELECTRODO SIMPLE O MÚLTIPLE _____ (37) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OTROS _____ (38) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Ilustración 2.5- Formato de registro de calificación de procedimiento de soldadura, sugerido

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ACATLÁN"

PRUEBAS DE TENSIÓN

| ESPECIMEN | ANCHO | ESPEJOR (PULG) | ÁREA (PULG ²) | CARGA TOTAL ÚLTIMA (LBS) | RESIST. UNITARIA ÚLTIMA (PSI) | LOCALIZACIÓN Y TIPO DE FALLA |
|-----------|-------|----------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| (39) | (40) | (41) | (42) | (43) | (44) | (45) |
| (46) | | | | | | |
| | | | | | | |

PRUEBAS DE DOBLEZ GUIADO

| TIPO Y NÚMERO DE ESPECIMEN | RESULTADO |
|----------------------------|-----------|
| (47) | (48) |
| (49) | |
| | |
| | |

PRUEBAS DE TENACIDAD

| ESPECIMEN | LOCALIZACIÓN DE LA RANURA | TIPO DE RANURA | TEMPERATURA DE PRUEBA | VALORES DE IMPACTO | EXPANSIÓN LATERAL | | COMPORTAMIENTO AL CHOQUE | |
|-----------|---------------------------|----------------|-----------------------|--------------------|-------------------|-----------|--------------------------|---------|
| | | | | | %CORTE | MILESIMAS | CEDE | NO CEDE |
| (50) | (51) | (52) | (53) | (54) | (55) | (56) | (57) | (58) |
| (59) | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

PRUEBAS EN SOLDADURAS DE FILETE

RESULTADO SATISFACTORIO: SI (60) NO _____ PENETRACIÓN EN LA PARED DEL METAL: SI (61) NO _____
TIPO Y CARACTERÍSTICAS DE LA FALLA (62) RESULTADO DE MACROATAQUE _____

OTRAS PRUEBAS

TIPO DE PRUEBA _____ (64)
ANÁLISIS DEL DEPÓSITO _____ (65)
OTROS _____ (66)

NOMBRE DEL SOLDADOR _____ (67) NO. DEL SOLDADOR _____ (68)
PRUEBA CONDUCCIDA POR _____ (69) NO. DE PRUEBA DE LABORATORIO _____ (70)

CERTIFICAMOS QUE LO INDICADO EN ESTE REGISTRO DE CALIFICACIÓN ES CORRECTO Y LAS SOLDADURAS DE PRUEBA FUERÓN PREPARADAS, SOLDADAS Y ENSAYADAS DE ACUERDO CON LOS REQUERIMIENTOS ESTABLECIDOS EN EL CÓDIGO DE LA AWS D1.5

FECHA _____ (72) CONSTRUCTOR O CONTRATISTA _____ (71)
POR _____ (73)

Ilustración 2.5- Formato de registro de calificación de procedimiento de soldadura, sugerido (Continuación)

2.5.1 Requerimientos para calificación de una especificación de procedimiento de soldadura.

Cada fabricante o constructor es responsable de realizar todos los exámenes de calificación de sus procedimientos para aplicación de soldadura

El procedimiento será calificado en los materiales, los procesos y las posiciones requeridas en la fabricación de componentes soldados. Llevando un control sobre los valores reales de las variables aplicables, descritas en la EPS.

2.5.1.1 Descripción de requerimientos generales y variables.

A continuación se da una descripción de variables y parámetros adicionales a los descritos en la parte correspondiente a especificación de procedimiento de soldadura.

Todos los valores de las variables, que se registren, deberán corresponder con los valores reales, inclusive rangos, utilizados durante la aplicación de soldadura en la probeta de prueba.

Aquellas variables que no intervengan durante la producción de la soldadura de prueba no deberán ser incluidas en el registro.

1. Número de registro de calificación de procedimiento, RCP

Número asignado al registro de calificación de procedimiento que ampara a uno o más de una EPS.

Los soldadores empleados en la producción de los ensambles soldados que serán ensayados para calificación del procedimiento deberán estar bajo la supervisión y control del fabricante o constructor. No está permitido que el fabricante o constructor se auxilie de otra organización para conseguir los ensambles soldados de prueba. Sin embargo, se le permitirá subcontratar los trabajos relacionados con la preparación de los materiales a utilizar para la prueba, preparación de especímenes procedentes de la probeta de prueba, inspección y ensayo de la soldadura de prueba y la documentación de los resultados obtenidos a partir del ensayo de los especímenes de prueba.

2. Fecha.

Fecha en la que el fabricante o constructor realizó las pruebas de calificación de la EPS.

El ingeniero de soldadura deberá aceptar evidencias, apropiadamente documentadas, de pruebas de calificación de procedimiento hechas en fechas anteriores a la presente o una prueba para verificación de la calificación, asumiendo que:

- a. El PQR está completo y cumple con los requerimientos de las pruebas mecánicas estipuladas en las especificaciones del código de referencia aplicable.
- b. Las pruebas fueron atestiguadas dentro del periodo definido por el código de referencia aplicable (últimos cinco años de acuerdo al código de la AWS D1.5) y los resultados certificados por un organismo de pruebas reconocido.

3. Número de la EPS

Número(s) de la(s) especificación(es) de procedimiento de soldadura objeto de prueba.

39. Prueba de tensión.

El número o etiqueta de identificación de cada espécimen, las características geométricas de los especímenes y evaluación de los resultados de las pruebas de tensión deberán

estar de acuerdo con los requerimientos mínimos aceptables definidos por el código de referencia aplicable (figura 5.1 y párrafos 5.16.3 y 5.19.1 de acuerdo con el código de soldadura para puentes de la AWS D1.5).

La prueba de tensión será utilizada para determinar la resistencia última de uniones soldadas de ranura, para efecto de comparación con los estándares de aceptación.

Cuando el espesor de las probetas de prueba sea menor o igual a una pulgada se deberá tomar el espesor efectivo del material para preparación de los especímenes de tensión.

Para espesores de placa mayores a una pulgada pueden obtenerse especímenes múltiples, en lugar de utilizar un espécimen con el espesor de la probeta, bajo esta consideración cada juego deberá representar una prueba de tensión simple de todo el espesor de la placa. Cada juego de especímenes será obtenido seccionando el espesor de la placa en un número de franjas aproximadamente iguales.

Cuando se requiera deberá someterse a prueba de tensión un espécimen de soldadura para medir su resistencia a tensión, su resistencia de cedencia y su ductilidad, bajo las condiciones de prueba definidas por la especificación del material de aporte aplicado.

La resistencia a tensión resultante de la prueba no deberá ser menor que la mínima especificada del metal base utilizado.

Ejemplo.

Código de referencia: AWS D1.5

Especificación del material base: ASTM A131 Gr. A

Resistencia mínima a tensión del metal base: 58,000 libras/pulg²

Geometría del espécimen de prueba: Figura 5.10, AWS D1.5-96

Fórmulas:

Área = Ancho de la sección reducida del espécimen X espesor del espécimen

Resistencia unitaria final = $\frac{\text{Carga máxima}}{\text{Área}}$

PRUEBA DE TENSIÓN

| Especimen No. | Ancho (pulg) | Espesor (pulg) | Área (pulg ²) | Carga máxima (lbs) | Resistencia unitaria final (lbs/ pulg ²) | Loc. y tipo de falla |
|------------------|--------------|----------------|---------------------------|--------------------|--|----------------------|
| T1 | 1.00 | 0.75 | 0.75 | 52,500 | 70,000 | M.B., dúctil |
| T2 | 1.00 | 0.75 | 0.75 | 52,275 | 69,700 | M.B., dúctil |
| M.B.: metal base | | | | | | |

47. Prueba de doblez guiado.

El tipo de doblez (de cara, de raíz, de lado) al que será sometido cada espécimen de prueba, las características geométricas de los especímenes y la evaluación de los resultados de las pruebas de doblez guiado estarán de acuerdo con los requerimientos mínimos aceptables definidos por el código de referencia aplicable (figura 5.1 y párrafos 5.16.3 y 5.19.2 de acuerdo al código de soldadura para puentes de la AWS D1.5).

El propósito de este tipo de prueba consiste en determinar el grado de solidez y ductilidad de uniones soldadas de ranura.

Los especímenes para la prueba de doblado guiado deberán ser preparados cortando la placa de prueba de manera que la sección transversal de los especímenes de prueba sean aproximadamente rectangulares. Las superficies de corte serán consideradas como los lados del espécimen. Las otras dos superficies serán consideradas como la cara y raíz de cada espécimen, entre las cuales la superficie de la cara tiene el mayor ancho de la soldadura.

50. Prueba de tenacidad

Cuando sea requerido para calificación del procedimiento de soldadura ésta deberá estar de acuerdo con la sección de especificación de requerimientos de la prueba de tenacidad de ranura en V tipo Charpy o con los requerimientos de la prueba de tenacidad de ranura del tipo caída de maza del código o especificación de referencia aplicable (anexo III del código de soldadura para acero estructural AWS D1.1, párrafos 5.16.4 y 5.19.5 de acuerdo con el código de soldadura para puentes de la AWS D1.5).

La localización de los especímenes y la localización y orientación de la ranura, para la prueba de impacto tipo Charpy o de caída de maza, deberá ser como se indique en la sección que se refiera a tales pruebas, del código de referencia aplicable (figura 5.1 de acuerdo con el código de soldadura para puentes AWS D1.5).

El método de prueba tipo Charpy se relaciona, específicamente, con el comportamiento del metal cuando se le somete a un esfuerzo de carga simple, aplicada a alta velocidad y a una temperatura de prueba especificada. Uno de los métodos para determinar el valor de la tenacidad consiste en obtener cinco especímenes de una probeta de prueba requeridos para la calificación de un procedimiento de soldadura preparado bajo los procesos SMAW, SAW, FCAW o GMAW después de descartar el valor de prueba de impacto más alto y el más bajo el promedio de los tres valores de prueba restantes deberá ser igual o mayor que el valor de energía de impacto mínima especificada para el metal base utilizado. No más de un espécimen, de los tres restantes, puede tener un valor de energía de impacto menor que la mínima especificada, así como ninguno deberá estar por debajo de 2/3 del valor mínimo especificado. De acuerdo con el código de soldadura para puentes de la AWS D1.5, los metales base aprobados deberán cumplir con los valores de prueba de impacto mínimos especificados por la AASHTO, a la temperatura de la zona en la cual será localizado el ensamble soldado.

Cuando las soldaduras de ranura tengan una resistencia a la cedencia o fluencia igual a la mínima especificada del metal base deberán tener una tenacidad determinada por el método de impacto tipo Charpy igual o mayor a los valores indicados en la sección del código de referencia aplicable (como se define en el capítulo 5, párrafo 5.19.5 del código de la AWS D1.5).

60, 61, 62 y 63. Prueba de soldaduras de filete.

Cuando se requiera calificar el procedimiento, únicamente, bajo la aplicación de soldaduras de filete los resultados de la prueba de macro-ataque estarán de acuerdo a los requerimientos mínimos aceptables del Código de Soldaduras aplicable (como se define en el capítulo 5, párrafo 5.10.3 de acuerdo a AWS D1.5) o como se indique en los documentos contractuales.

La prueba de macro-ataque en las soldaduras de filete es útil para la evaluación de la solidez de la soldadura y determinación de sus dimensiones, tales como tamaño, forma y distribución de cada paso de soldadura aplicado.

Las propiedades mecánicas, de resistencia, ductilidad y tenacidad, de las soldaduras de filete serán medidas mediante la prueba de soldaduras de ranura a menos que sea especificado de otro modo en los documentos de contrato.

Los ácidos (reactivos) empleados para obtener una clara definición de la estructura de la soldadura inspeccionada y la zona afectada por el calor deberán ser seleccionados en función del tipo de material a inspeccionar.

Para consulta sobre soluciones comúnmente empleadas en el método de prueba de macro-ataque diríjase al párrafo QW-470, artículo IV del código de la ASME sección IX-2001.

64. Otras pruebas.

En caso de que se requiera la realización de un análisis químico de toda una unión soldada o de una muestra aislada de soldadura ésta será especificada en la EPS.

65. Análisis del depósito de soldadura.

El metal de aporte o muestra fundida deberá ser analizado por métodos de prueba analíticos aceptables, como análisis químicos de acuerdo con especificaciones de la ASTM, capaces de determinar si la composición reúne los requerimientos de la especificación del metal de aporte utilizado en la prueba de calificación de procedimiento. Los resultados derivados de la prueba serán comparados con la composición denotada en un patrón de comparación previamente definido (especificaciones de material de aporte de la ANSI/AWS).

67. Nombre del soldador que efectuó la prueba

El soldador que realice la prueba de calificación de la EPS con soldadura de ranura de penetración completa y cumpla con los requerimientos del código de fabricación aplicable estará automáticamente calificado para soldar con el proceso y en la posición calificada durante la prueba. El soldador estará también calificado para aplicar soldaduras de filete y de caja en placa en el proceso y posición de prueba.

68. Número del soldador.

Por número de soldador se refiere al número de identificación, letra o símbolo que se le asigna al soldador o operador de equipo de soldar al momento de aprobar la prueba de calificación de un procedimiento o la prueba de habilidad para producir soldaduras sólidas y con las propiedades mecánicas que satisfacen los requerimientos prescritos por el código aplicable o los documentos contractuales.

Asigne un símbolo a cada soldador para identificar cada soldadura, de producción. Para el acero de más de 1/4 de pulgada de espesor y materiales no ferrosos con un espesor de 1/2 de pulgada o mayor, utilice un sello metálico de 1/4 de pulgada. Para el acero con un espesor de menos de 1/4 de pulgada y los materiales no ferrosos con un espesor de 1/2 de pulgada o menor, el soldador deberá aplicar la identificación con tinta indeleble, marcador de fieltro, o de alguna otra manera para evitar rallar el metal.

El símbolo debe colocarse en la superficie del metal adyacente a la soldadura o sobre la misma soldadura inmediatamente después de haberla completado.

La identificación aplicada deberá estar claramente visible y deberá ser diferente de cualquier otro símbolo que se esté utilizando en el área de trabajo.

Para soldaduras en placa o soldaduras estructurales estampe o marque cada soldadura de hasta tres pies de largo una vez; y una vez más para cada incremento adicional de soldadura de tres pies de largo o menor.

69. Prueba(s) conducida(s) por

Nombre del laboratorio o técnico que condujo el ensaye de los especímenes para calificación del procedimiento de soldadura.

Todas las pruebas deberán ser conducidas por un laboratorio debidamente acreditado.

70. Número de prueba de laboratorio.

Número del reporte emitido por el laboratorio el cual contiene los resultados de las pruebas destructivas y/o no destructivas, efectuadas a los especímenes extraídos de las probetas de prueba.

71. Constructor o contratista

Nombre del representante de la compañía responsable de la fabricación de ensambles soldados.

72. Fecha.

Fecha de emisión de los resultados derivados de las pruebas practicadas a la soldadura de prueba para calificar la EPS, de acuerdo a los requerimientos definidos por el código de referencia aplicable o los documentos de contrato.

73. Por.

Nombre de quien atestiguó, calificó, aprobó, y certificó la especificación de procedimiento de soldadura.

2.5.2 Tipos de calificación (fuente de consulta AWS D1.5).

No termine la soldadura, ni realice las pruebas de tensión, dobléz, tenacidad y de macro-ataque cuando la apariencia visual de la raíz o la soldadura terminada no cumpla con el procedimiento de soldadura y los estándares visuales que se requieren. En tal caso, deberá considerarse que la soldadura de prueba no ha sido aprobada.

Antes de que los especímenes de prueba sean preparados la placa de prueba para calificación deberá ser radiografiada de acuerdo con las disposiciones definidas en la sección de inspección, del código aplicable.

Las pruebas de soldaduras de ranura en placa califican al procedimiento para soldar placa con soldadura de ranura y de filete.

Las pruebas de soldadura de filete califican al procedimiento únicamente para hacer soldaduras de filete.

2.5.2.1 Soldaduras de ranura.

Las pruebas deben conducirse en placa. El procedimiento puede estar calificado para soldar en alguna de las posiciones de prueba, pero las pruebas que se realicen con placa en las posiciones 2G, 3G y 4G califican al procedimiento para todas las posiciones.

2.5.2.2 Soldaduras de filete.

El procedimiento puede estar calificado para aplicar soldadura en cualquier posición, pero las pruebas conducidas en las posiciones 2F, 3F y 4F califican al procedimiento para soldar placa en todas las posiciones.

2.5.3 Tamaño y espesor del metal base.

2.5.3.1 Soldaduras de Ranura.

Califique al procedimiento de soldadura como sigue:

| Proceso de Soldadura | Material de Prueba | Espesor |
|-----------------------|--------------------------|------------------|
| SMAW, GMAW, FCAW, SAW | Placa de acero al carbón | Placa de 1 pulg. |

Tabla 2.6- Especificación del espesor del material base de prueba

2.5.4 Preparación de la unión de prueba.

2.5.4.1 Soldaduras de ranura.

Para uniones a tope de soldaduras de ranura simple, la preparación de la unión deberá cumplir con el procedimiento de soldadura.

2.5.4.2 Dimensiones mínimas de las piezas a soldar para calificación de EPS.

| Posición de código | No. de piezas | Ancho mínimo | Largo Mínimo |
|-------------------------|---------------|--------------|---|
| 1G hasta 4G En placa | 2 | 9 pulg. | 26 pulg. (unir dos piezas a lo largo de las orillas de 26") |

Tabla 2.7- Dimensiones de las placas para prueba de calificación de la EPS con soldaduras de ranura

Cuando el constructor elija usar detalles de soldaduras de ranura que no cumplan con los detalles de juntas precalificadas, por el código de soldadura para puentes AWS D1.5-1996, los WPS's pueden ser calificados por prueba como se describe en la sección de calificación de procedimiento utilizando las siguientes dimensiones.

| Posición de código | No. De piezas | Ancho mínimo | Largo Mínimo |
|-------------------------|---------------|--------------|---|
| 1G hasta 4G en placa | 2 | 9 pulg. | 16" pulg. (unir dos piezas a lo largo de las orillas de 16 pulg.) |

Tabla 2.8- Dimensiones de las placas para prueba de calificación de EPS's que no cumplen con la condición de precalificadas.

2.5.4.3 Soldaduras de filete.

2.5.4.3.1 Dimensiones mínimas de las piezas a soldar para calificación de EPS

| Posición de código | No. de piezas | Ancho (mínimo) | Largo (mínimo) |
|-------------------------|---------------|----------------|---|
| 1F hasta 4F en placa | 2 | 6 pulg. | 12 pulg. (Junta en T de 1/4 pulg.-1 pulg. de espesor. Unir los bordes de 12 pulg. de largo) |

Nota: Para mayor detalle consúltese figura 5.8, del código AWS D1.5-96

Tabla 2.9- Dimensiones de las placas para prueba de calificación de la EPS con soldaduras de filete

2.5.5 Procesamiento de soldaduras de prueba.

2.5.5.1 Selección y preparación de especímenes para pruebas

2.5.5.1.1 Prueba de tensión.

Las dimensiones estándar del espécimen para prueba de tensión del material soldado deberán estar de acuerdo a la siguiente tabla

| Material | Diámetro reducido | Diámetro extremos | Largo |
|-----------|---------------------|-------------------|---------|
| Soldadura | 12.5 mm. ± 0.25 mm. | 20 mm. | 130 mm. |

Tabla 2.10- Dimensiones de espécimen para prueba de tensión del metal soldado

El ancho y la preparación de los especímenes de sección reducida para prueba de tensión de acuerdo con el código de la AWS D1.5-96, deberán limitarse a lo siguiente

| Placa | Grosor | Ancho de la Muestra |
|-------|---------------------|---------------------|
| Placa | ¾ pulg. - 1 ½ pulg. | 1 ½ pulg. |

Tabla 2.11- Dimensiones espécimen para prueba de tensión de sección reducida

2.5.5.1.2 Prueba de doblez.

El ancho y la preparación de los especímenes, que se someterán a prueba de doblez, de acuerdo con el código de la AWS D1.5-1996, los cuales se reproducen en tabla 2.12.

| Placa | Grosor | Ancho de la Muestra |
|-------|-------------|---------------------|
| Placa | ≤ 3/8 pulg. | 1 ½ pulg. |
| Placa | > 3/8 pulg. | 3/8 pulg. |

Tabla 2.12- Dimensiones de espécimen para prueba de doblez guiado

2.5.5.1.3 prueba de impacto tipo Charpy.

Cuando se requiera la ejecución de la prueba de Impacto tipo Charpy, en documentos de contrato, las dimensiones de los especímenes de prueba deberán ser preparados con las dimensiones indicadas en tabla 2.13.*

| Placa | Grosor en mm. | Ancho en mm. | Largo en mm. |
|-------|---------------|--------------|--------------|
| Placa | 10 | 10 | 55 |

* Las variaciones permisibles estarán de acuerdo a la AWS D1.5

Tabla 2.13- Dimensiones de especímenes para prueba de impacto tipo Charpy

2.5.6 Criterios de aceptación.

2.5.6.1 Soldaduras de ranura.

Los resultados requeridos deberán estar de acuerdo con los criterios de aceptación definidos, para el tipo de prueba aplicable, en el código de fabricación establecido en documentos de contrato:

- Prueba de tensión de metal soldado(soldadura) (párrafo 5.19.4)
- Prueba de tensión de sección reducida (párrafo 5.19.1)
- Pruebas de doblez (párrafo 5.19.2)
- Pruebas de macro-ataque (párrafo 5.19.3)
- Pruebas de impacto tipo Charpy (párrafo 5.19.5) y
- Inspección visual (5.19.6)

2.5.6.2 Soldaduras de filete.

Los resultados de prueba deberán estar de acuerdo con el párrafo 5.19.3, del código de la AWS D1.5-1996, evaluación por medio de la prueba de macro-ataque.

Para pasar la prueba visual, de aplicaciones no críticas, las soldaduras de filete deberán tener aproximadamente las mismas longitudes del cateto y no deberán ser excesivamente cóncavas o convexas. La superficie deberá estar razonablemente lisa y deberá estar libre de falta de fusión entre cordones sucesivos, de grietas, de socavación y de porosidad.

2.5.7 Presentación de un nuevo examen.

Si alguno de los especímenes ensayados no cumple con los requerimientos de calificación de procedimiento sólo se permite presentar un examen adicional, inmediato, consistente en la prueba de dos especímenes extraídos de la misma probeta de prueba para calificación del WPS. De otra manera se requiere revisar todos los parámetros o variables involucradas en el procedimiento.

En cualquier momento un inspector autorizado puede solicitar la recalificación de un procedimiento si no está satisfecho con los datos presentados.

2.5.8 Registros.

Se deberá llevar un control sobre los registros de calificación de procedimiento como se describe en el código y mantenerse en un archivo permanente.

2.5.9 Estándares visuales para soldaduras de prueba.

Son aplicables a todas las soldaduras de prueba de desempeño

- Grietas. No están permitidas
- Falta de fusión. No está permitida
- Penetración incompleta. No está permitida
- Socavados(cara y/o raíz). No deben exceder 1/32"
- Concavidad. 1/16" siempre que el espesor de la soldadura sea igual o mayor que el espesor del metal base.
- Soldadura de refuerzo. La soldadura de refuerzo de cara y raíz no deberá exceder 1/8".

2.6 Calificación de habilidad del personal soldador

La calificación y recalificación del desempeño del personal soldador son necesarias y deben cumplir con el Código de Soldadura o especificación definido en los documentos de contrato.

2.6.1 Requerimientos generales.

Cada fabricante o constructor es responsable de realizar todos los exámenes de calificación de desempeño siguiendo un procedimiento para aplicación de soldadura calificado.

Se calificará a los soldadores en los materiales, los procesos y las posiciones en las que deberán trabajar. Todas las variables y resultados de las pruebas efectuadas para calificación del soldador serán registradas en un formato específico para este efecto:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ACATLÁN"

REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE SOLDADOR (RCS)

NOMBRE DEL SOLDADOR _____ (1) NO. DE EMPLEADO _____ (2) NO. SOLDADOR _____ (3)
 PROCESO DE SOLDADURA _____ (4) TIPO _____ (5)
 ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA(EPS) _____ (6)
 RESPALDO _____ (7)
 ESPECIFICACIÓN DEL METAL BASE _____ (8) A _____ (9)
 ESPESOR _____ (10)
 NO. DE ESPECIFICACIÓN DEL METAL DE APORTE _____ (11) NO. DE CLASIFICACIÓN _____ (12)
 OTROS _____ (13)
 POSICIÓN _____ (14)
 TIPO DE GAS _____ (15) COMPOSICIÓN EN % _____ (16)
 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS: CORRIENTE _____ (17) POLARIDAD _____ (18)
 PROGRESIÓN DE LA SOLDADURA _____ (19)
 OTROS _____ (20)

SOLO PARA INFORMACIÓN

DIÁMETRO DEL METAL DE APORTE Y NOMBRE DE LA MARCA _____ (21)
 NOMBRE DE LA MARCA DEL FUNDENTE PARA SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO _____ (22)
 NOMBRE DE LA MARCA DEL GAS DE PROTECCIÓN PARA SOLDADURA POR ARCO METÁLICO Y GAS _____ (23)

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE DOBLEZ GUIADO

| TIPO Y NÚMERO DE ESPÉCIMEN | RESULTADO |
|----------------------------|-----------|
| (24) | (25) |
| (26) | |
| | |
| | |

RESULTADOS DE PRUEBA RADIOGRÁFICA
CALIFICACIÓN ALTERNATIVA DE SOLDADURAS DE RANURA

RESULTADOS DE PRUEBA RADIOGRÁFICA _____ (27)

RESULTADOS DE PRUEBA EN SOLDADURAS DE FILETE

PRUEBA DE FRACTURA (LOCALIZACIÓN, NATURALEZA Y TAMAÑO DE CUALQUIER GRIETA O DESGARRE EN EL ESPÉCIMEN) _____ (28)
 LONGITUD Y PORCENTAJE DE DEFECTOS _____ (29) PULGADAS _____ (30) %
 FUSIÓN (MEDIANTE PRUEBA DE MACROATAQUE) _____ (31)
 TAMAÑO (PIERNAS) Y APARIENCIA DE SOLDADURAS DE FILETE _____ (32) PULG. X _____ (33) PULG. CONVEX. _____ (34) PULG.
 O CONCAVIDAD _____ (35) PULG.

PRUEBA CONDUCTIDA POR _____ (36) NO. DE PRUEBA DE LABORATORIO _____ (37)

NOSOTROS CERTIFICAMOS QUE LO INDICADO EN ESTE REGISTRO DE CALIFICACIÓN ES CORRECTO Y LAS SOLDADURAS DE PRUEBA FUERÓN PREPARADAS, SOLDADAS Y ENSAYADAS DE ACUERDO CON LOS REQUERIMIENTOS ESTABLECIDOS EN EL CÓDIGO DE LA AWS D1.5-1996.

FECHA _____ (39) ORGANIZACIÓN _____ (38)
 POR _____ (40)

Ilustración 2.6- Formato de registro de calificación de habilidad de soldador o operador de equipo de soldar

Descripción de variables:

A continuación se da una descripción de variables y parámetros que difieren de los definidos en las partes correspondiente a la Especificación de Procedimiento de Soldadura y al Registro de Calificación de Procedimiento.

1. Nombre del soldador.

Nombre del soldador o operador de equipo de soldar que realice y pase la prueba de calificación bajo las condiciones de una EPS calificada.

2. No. de empleado

Cuando lo considere necesario el fabricante se incluirá este requerimiento en el formato. Sin embargo, su inclusión o eliminación no será motivo de modificación o renovación de la calificación.

3. No. de soldador

Por número de soldador se refiere al número de identificación, letra o símbolo que se le asigna al soldador o operador de equipo de soldar al momento de aprobar la prueba de calificación de un procedimiento o la prueba de habilidad para producir soldaduras sólidas y con las propiedades mecánicas que satisfacen los requerimientos prescritos por el código aplicable o los documentos contractuales.

Asigne un símbolo a cada soldador para identificar cada soldadura. Para el acero de más de 1/4" de espesor y materiales no ferrosos con un espesor de 1/2" o mayor, utilice un sello metálico de 1/4". Para el acero con un espesor de menos de 1/4" y los materiales no ferrosos con un espesor de 1/2" o menor, el soldador deberá aplicar la identificación con tinta indeleble, marcador de fieltro, o de alguna otra manera para evitar rallar el metal.

El símbolo debe colocarse en la superficie del metal adyacente a la soldadura o sobre la misma soldadura inmediatamente después de haberla completado.

La identificación aplicada deberá estar claramente visible y deberá ser diferente de cualquier otro símbolo que se esté utilizando en el área de trabajo.

Para soldaduras en placa o perfiles estructurales estampe o marque cada soldadura de hasta tres pies de largo una vez; y una vez más para cada incremento adicional de soldadura de tres pies de largo o menor.

En adelante se indicarán los valores reales de las variables empleadas para calificación en una posición determinada por las condiciones más difíciles encontradas durante la producción (vertical, horizontal y sobre-cabeza). La calificación en una posición más difícil usualmente califica al soldador en posiciones de menor dificultad.

El código de la AWS D 1.5 define las reglas para la calificación de las soldaduras de prueba (ranura y filete). Frecuentemente, las pruebas de doblez mecánico son realizadas a especímenes cortados de una localización específica de las soldaduras de prueba. En algún momento las pruebas radiográficas llegan a ser requeridas como único método de prueba o en ocasiones en combinación con pruebas mecánicas o de otro tipo.

Otras propiedades requeridas para calificar las soldaduras de un procedimiento, tales como resistencia a tensión y ductilidad del metal soldado, normalmente no son especificadas para calificación del personal soldador.

Los soldadores cuya soldadura de prueba reúna los requerimientos descritos en la sección de calificación de soldadores, del código que aplique (ej. capítulo 5 parte B del código de

soldadura para puentes, AWS D1.5), están calificados para aplicar soldadura con los procesos, metales de relleno y procedimientos utilizados durante la prueba.

27. Pruebas radiográficas.

Excepto para las soldaduras hechas por el proceso de soldadura GMAW-S (Soldadura por Arco Metálico y Gas transferido por Corto Circuito) podrá utilizarse la prueba radiográfica para inspeccionar las probetas de prueba, de calificación de habilidad del soldador, en lugar de las pruebas de doblez guiado.

El procedimiento y la técnica radiográfica deberán satisfacer los requerimientos de la sección de inspección del código que aplique o como lo definan los documentos de contrato.

28. Prueba a la fractura

La soldadura de filete aplicada a las probetas para prueba a fractura deberá ser extraída de la unión de prueba de acuerdo a los requerimientos de la sección correspondiente a calificación del personal soldador, del código de soldadura aplicable (capítulo 4 párrafo 4.30.4 del código de soldadura para puentes AWS D1.5).

29. Longitud de defectos

Extensión de la soldadura de prueba sometida a fractura.

30. Porcentaje de defectos

Volumen de defectos detectados en la extensión de la soldadura, sometida a fractura, expresado en porcentaje.

31, 32, 33, 34, 35. Evaluación de la fusión, en la soldadura sometida a prueba de macro-ataque

El criterio de aceptación deberá estar de acuerdo con la sección que requiera la prueba de macro-ataque, del código de soldadura que aplique (capítulo 5 párrafo 5.27.4 del código de soldadura para puentes AWS D1.5).

Las pruebas de macro-ataque en las soldaduras de filete se emplearán para verificar la solidez de la unión soldada; así como para medir el tamaño, forma y distribución de cada paso de soldadura.

Los especímenes de prueba deberán ser preparados con una solución adecuada para obtener una clara definición de la soldadura.

36. Prueba(s) conducida(s) por

Nombre del laboratorio o técnico que condujo el ensaye de los especímenes para calificación de habilidad del soldador o operador de equipo de soldar.

Todas las pruebas deberán ser conducidas por un laboratorio debidamente acreditado.

37. Número de prueba de laboratorio.

Número del reporte emitido por el laboratorio el cual contiene los resultados de las pruebas destructivas y/o no destructivas, efectuadas a los especímenes extraídos de las probetas de prueba.

No termine la soldadura, ni realice las pruebas de doblez, macro-ataque y a la fractura cuando la apariencia visual de la raíz o la soldadura terminada no cumplan con el procedimiento de soldadura y los estándares visuales que se requieren. En tal caso, deberá considerarse que los soldadores no han aprobado y su trabajo no cumple con las calificaciones requeridas.

38. Organización

Nombre del constructor o fabricante de ensambles soldados.

39. Fecha.

Fecha de emisión del los resultados derivados de la prueba de calificación del soldador o operador de equipo de soldar.

40. Por.

Nombre de quien atestiguó, calificó, aprobó, y certificó la aplicación de la soldadura de prueba para calificación de habilidad del personal soldador o operador de equipo de soldar.

2.6.2 Tipos de calificación (fuente de consulta AWS D1.5).

Las pruebas de soldaduras de ranura en placa califican al personal soldador para soldar placa con soldadura de ranura y de filete.

Las pruebas de soldaduras de filete califican al soldador para realizar soldaduras de filete, únicamente.

2.6.2.1 Soldaduras de Ranura.

Las pruebas deben conducirse en placa. El soldador puede estar calificado para soldar en cualquier posición, pero las pruebas que se realicen en placa en las posiciones 3G y 4G califican al soldador para todas las posiciones.

2.6.2.2 Soldaduras de filete.

Los soldadores pueden estar calificados en cualquier posición, pero las pruebas conducidas en las posiciones 3F y 4F califican a los soldadores para soldar placa en todas las posiciones.

2.6.3 Tamaño y espesor del metal base.

2.6.3.1 Soldaduras de Ranura.

Califique a los soldadores como sigue:

| Proceso de Soldadura | Material de Prueba | Espesor |
|-----------------------|--------------------------|------------------|
| SMAW, GMAW, FCAW, SAW | Placa de acero al carbón | Placa de 1 pulg. |

Tabla 2.14- Especificación del espesor del material base para prueba de calificación de habilidad del personal soldador u operador de equipo de soldar

2.6.4 Preparación de la unión de prueba.

2.6.4.1 Soldaduras de ranura.

Para uniones a tope de soldaduras de ranura simple, la preparación de la unión deberá cumplir con el procedimiento de soldadura.

2.6.4.1.1 Dimensiones mínimas de las piezas a soldar

| Posición de código | No. De piezas | Ancho mínimo | Largo mínimo |
|-------------------------|---------------|--------------|---|
| 1G hasta 4G En placa | 2 | 3 pulg. | 7 pulg.(unir dos piezas a lo largo de las orillas de 7 pulg.) |

Tabla 2.15- Dimensiones de las placas de prueba para calificación de habilidad del personal soldador u operador de equipo de soldar de soldaduras de ranura

2.6.4.2 Soldaduras de filete.

2.6.4.2.1 Dimensiones mínimas de las piezas a soldar

| Posición de código | No. de piezas | Ancho (mínimo) | Largo (mínimo) |
|-------------------------|---------------|----------------|--|
| 1F hasta 5F En placa | 2 | 4 pulg. | 8 pulg.(Junta en T de 1/2" de espesor mínimo. Unir a lo largo de las orillas de 8 pulg.) |

Tabla 2.16- Dimensiones de las placas de prueba para calificación de habilidad del personal soldador u operador de equipo de soldar de soldaduras de filete

2.6.5 Procesamiento de soldaduras de prueba.

2.6.5.1 Selección y preparación de especímenes para pruebas

2.6.5.1.2 Prueba de dobléz.

El ancho y la preparación de los especímenes, que se someterán a prueba de dobléz, deberán cumplir con el código de la AWS D1.5-1996, o de acuerdo a la tabla de abajo

| Placa | Grosor | Ancho de la Muestra |
|-------|------------------|---------------------|
| Placa | $\leq 3/8$ pulg. | 1 1/2 pulg. |
| Placa | $> 3/8$ pulg. | 3/8 pulg. |

Tabla 2.17- Dimensiones de especímenes para prueba de dobléz guiado para calificación de habilidad del personal soldador u operador de equipo de soldar

2.6.6 Criterio de aceptación.

2.6.6.1 Soldaduras de ranura.

De acuerdo con los párrafos correspondiente a prueba de tensión de sección reducida (5.19.1), pruebas de dobléz (5.19.2), pruebas de macro-ataque(5.19.4), pruebas de impacto tipo Charpy (5.19.5) y inspección visual(5.19.6) del código de la AWS D1.5-1996.

2.6.6.2 Soldaduras de filete.

Ver el párrafo 5.19.3 del código de la AWS D1.5-1996.

Para pasar la prueba visual, de aplicaciones no críticas, las soldaduras de filete deberán tener aproximadamente las mismas longitudes del cateto y no deberán ser excesivamente cóncavas o convexas. La superficie deberá estar razonablemente lisa y libre de falta de fusión entre cordones sucesivos, de grietas, de socavación y de porosidad.

2.6.7 Presentación de un nuevo examen.

Sólo se permite presentar un examen adicional, inmediato, consistente en la ejecución de dos pruebas de cada tipo de soldadura y posición en las que el soldador haya fallado. De otra manera se requiere entrenamiento adicional.

2.6.8 Recalificación de los soldadores.

2.6.8.1 Requerimientos generales.

Cuando exista una razón específica para cuestionar la habilidad de un soldador al realizar soldaduras de construcción, las calificaciones previas que califican al tipo de soldaduras que ese soldador está realizando, deberán ser revocadas.

Cuando un soldador no ha usado un procedimiento de soldadura específico en un período de seis meses, o más, la calificación para ese proceso deberá expirar.

Las calificaciones que hayan expirado, pueden ser renovadas soldando un cupón de prueba de tubería o placa, del material y espesor previamente calificado, en la posición más difícil previamente calificada.

La posición más difícil para soldadores de placa es la 3G-3F.

Las soldaduras de prueba deberán ser evaluadas bajo el método de prueba especificado por el código aplicable, de acuerdo a la edición más reciente.

2.6.8.2 Mantenimiento de las habilidades.

Los soldadores deberán mantener un nivel de habilidad adecuado para cumplir con los requerimientos mínimos de calidad impuestos por los códigos locales y nacionales.

2.6.9 Inspección periódica de calidad.

El inspector de soldadura verificará la calidad del trabajo realizado por cada soldador de la siguiente manera:

- Inspeccionar el ajuste de las uniones para asegurar el cumplimiento con el procedimiento de soldadura.
- Realizar inspecciones visuales frecuentes de las soldaduras en curso y de las soldaduras terminadas para asegurar que la calidad de la soldadura cumpla con la especificación, el estándar, o el código correspondiente.

2.6.10 Registros.

Se deberá llevar un control sobre los registros de calificación de procedimiento como se describe en el código y mantenerse en un archivo permanente.

2.6.11 Estándares visuales para soldaduras de prueba.

Son aplicables a todas las soldaduras de prueba de desempeño

- Grietas. No están permitidas
- Falta de fusión. No está permitida
- Penetración incompleta. No está permitida
- Socavados (cara y/o raíz). No deben exceder 1/32 pulg.
- Concavidad. 1/16 pulg. siempre que el espesor de la soldadura sea igual o mayor que el espesor del metal base.
- Soldadura de refuerzo. La soldadura de refuerzo de cara y raíz no deberá exceder 1/8 pulg.

CAPÍTULO 3

Procesos para la aplicación de soldadura SMAW, GMAW, FCAW, SAW

3.1 Introducción:

Los metales pueden, efectivamente, unirse de muy diversas maneras, excluyendo aquellos métodos de unión mecánica o de adhesivos, existen en la actualidad gran cantidad de métodos de unión por soldadura los cuales se resumen en las siguientes dos categorías:

- Soldadura por presión, aplicada sin la aportación de otro material mediante la aplicación de la presión suficiente y normalmente ayudada con calor
- Soldadura por fusión, realizada mediante la aplicación de calor a las superficies, que se funden en la zona de contacto, con o sin la aportación de otro metal

A continuación se reproduce una tabla ilustrando diferentes métodos de soldadura, extraída del Estándar de Términos y Definiciones de Soldadura de la ANSI/AWS A3.0, relacionados con las formas de aplicación antes citadas:

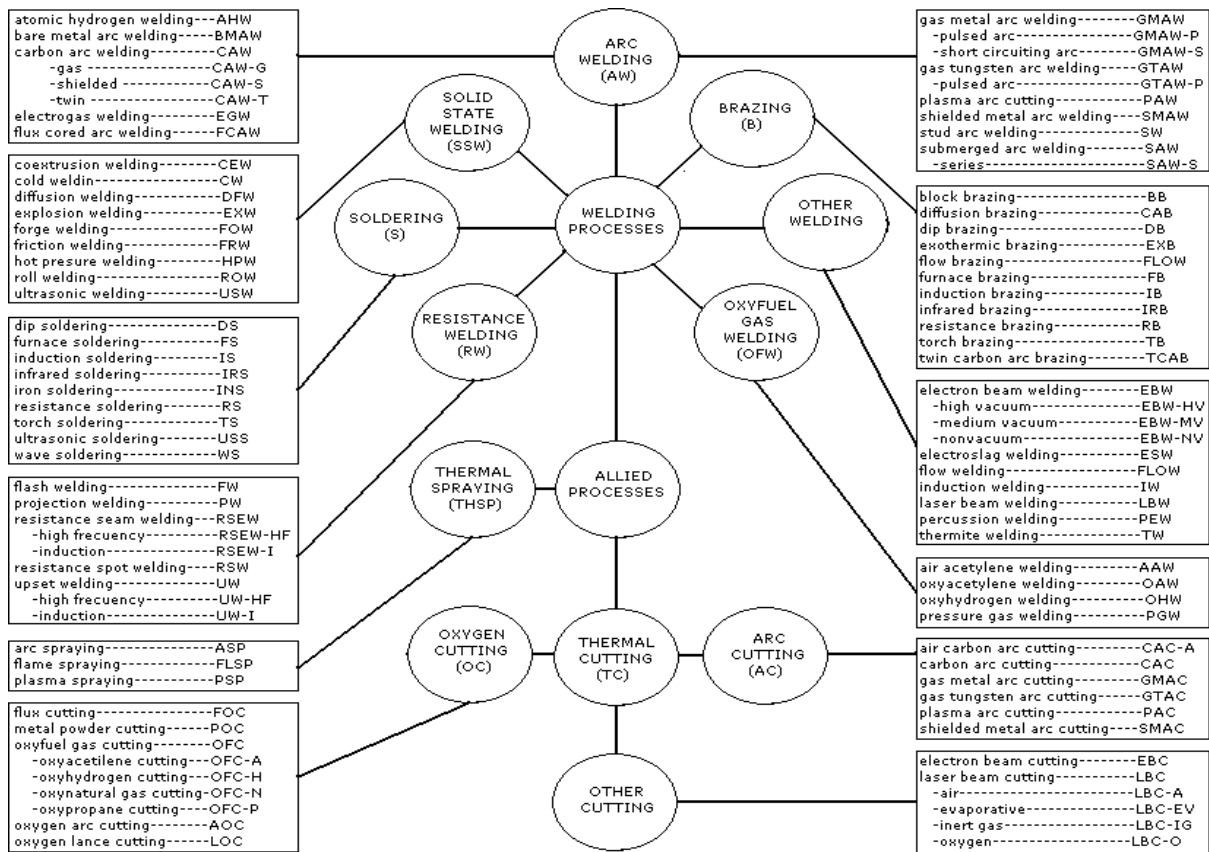


Ilustración 3.1- Carta maestra de procesos de soldadura y procesos asociados

En el presente capítulo se describen brevemente los procesos de soldadura de uso más frecuente dentro del área de la construcción de estructuras metálicas, los cuales tienen en común el empleo de la soldadura por fusión como medio de unión entre componentes de acero estructural.

En el proceso de arco eléctrico se proporciona el calor necesario para fundir las superficies del metal base y el de relleno, a fin de que ambos se mezclen y se consoliden.

La producción de un arco presupone la puesta en cortocircuito de dos partes conductoras bajo tensión eléctrica; el electrodo y la pieza de trabajo.

Con la puesta en cortocircuito y a causa de la elevada resistencia se produce una elevada temperatura localizada. Al separar el electrodo de la pieza de trabajo salta un arco del polo negativo al positivo dentro de una atmósfera de gas o al aire libre permitiendo el paso de corriente entre el electrodo y la pieza de trabajo (encendido del arco), en donde la dirección del flujo dependerá de la polaridad de cada elemento.

Dicho arco puede ser protegido o no de la oxidación u otras reacciones de los elementos del aire ambiente que afectan al metal cuando es fundido; la protección mencionada puede hacerse de diversas maneras, a saber:

- a. Recubriendo el electrodo con una capa fundida de material adecuado
- b. Envolviendo al electrodo con polvo fundente
- c. Impregnando la atmósfera circundante con gas inerte, activo o una mezcla de ambos.
- d. Trabajando en el vacío

La soldadura depositada con arco protegido es superior, indudablemente, a la soldadura depositada con arco sin protección.

Los electrodos, son de dos tipos: consumibles y no consumibles. Los primeros al mismo tiempo que establecen el arco se funden gradualmente, proporcionando metal para la unión que se pretende; en cuanto a los no consumibles, simplemente establecen el arco, pero no se funden y se usan tanto en la soldadura con metal de aporte como sin adición de éste.

En la soldadura sin adición de metal de aporte únicamente el metal base, a lo largo de dos superficies o bordes en contacto, se derrite y consolida.

En la soldadura con aporte también ocurre la fusión del metal; pero las dos partes que deben unirse no se funden entre sí directamente, ya que el metal de aporte adicionado se funde con cada lado del metal base, pasando a formar parte de la unión.

La soldadura de arco puede ser manual, automática o semiautomática. En el proceso automático el electrodo o metal de aporte, es alimentado automáticamente dentro del arco para compensar el que se va fundiendo, en la inteligencia de que deberá mantenerse la distancia apropiada del arco. Sosteniendo mecánicamente el electrodo por el mecanismo de avance, ésta se mueve mecánicamente a lo largo de la junta. En la

soldadura semiautomática, el electrodo o metal de aporte es alimentado automáticamente; pero el electrodo o la antorcha es conducida manualmente a lo largo de la junta. Para la soldadura manual el electrodo se fija en el porta-electrodo, manteniéndolo en posición y a una distancia determinada a lo largo de la junta para establecer el arco necesario.

Si el trabajo requiere el uso de polvo fundente o gas para protección del arco, tales elementos se aplican automáticamente en los sistemas automático y semiautomático.

Puesto que la formación de un arco eléctrico presupone la intervención de una corriente eléctrica sin introducirnos en el detalle solo definiremos que en el sentido que ésta viaje determinará la polaridad de trabajo (sentido de viaje de electrones); es decir, la polaridad se define como el sentido con el que llegará la corriente al arco eléctrico de manera que cuando la corriente llega del electrodo a la pieza se tiene polaridad directa y si la corriente viaja de la pieza al electrodo se tendrá polaridad invertida.

En función del cambio de polaridad, dentro de un mismo ciclo, la soldadura con corriente alterna produce soldaduras de menor calidad, además de un arco inestable.

La principal característica del tipo de corriente directa y continua es que los electrones viajan en un mismo sentido por lo cual sólo se tiene una polaridad en el viaje.

Al trabajar con polaridad directa los electrones chocan contra la pieza de trabajo a gran velocidad ejerciendo un alto calentamiento sobre la pieza. Este tipo de corriente provocará soldaduras angostas y profundas.

En cambio al trabajar con polaridad invertida el electrodo absorbe todo el calor generado, por lo cual es recomendable emplear un electrodo de mayor diámetro, produciendo una soldadura ancha y poco profunda.

Para soldadura manual la corriente alterna ofrece dos ventajas sobre la corriente directa una es la ausencia de sople magnético y la otra es el costo de la fuente de poder.

3.2 Procesos para aplicación de la soldadura.

3.2.1 Proceso de soldadura de arco con electrodo metálico revestido (shielded metal arc welding, SMAW).

3.2.1.1 General

Este procedimiento es el más sencillo, en cuanto a equipo se refiere, pues no necesita más que una fuente de alimentación de corriente, cables de conexión y la pinza porta-electrodos (Ilust. 3.2).

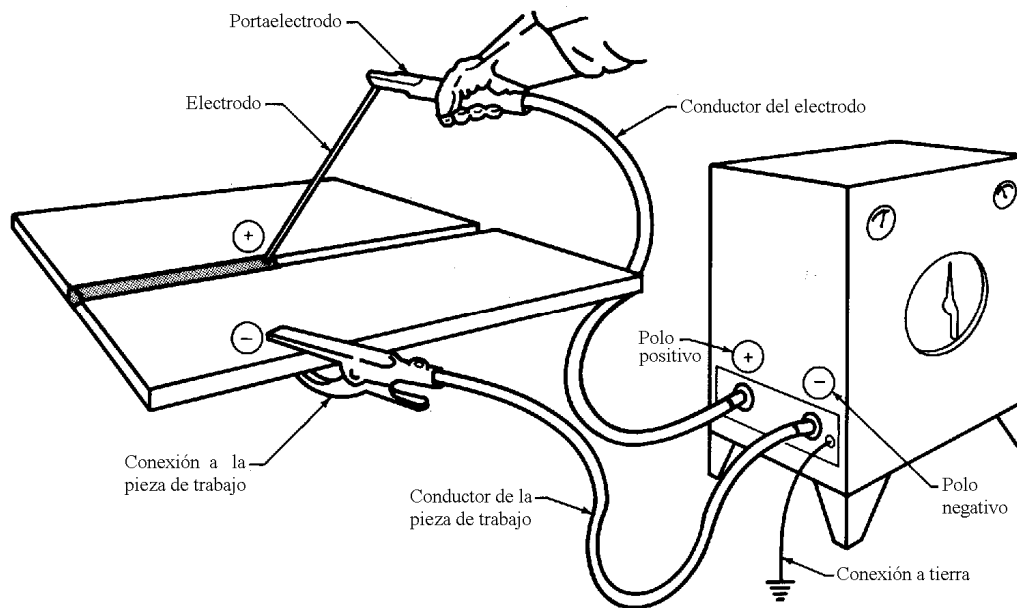


Ilustración 3.2- Equipo convencional para Soldadura por Arco Metálico Revestido (SMAW)

La pinza porta-electrodos tiene como misión sujetar el electrodo al mismo tiempo que lo conecta eléctricamente a la fuente de alimentación. Esta pinza se encuentra revestida de un aislante eléctrico y térmico que se utiliza como empuñadura.

Los cables han de ser de una sección adecuada al trabajo a realizar, para evitar un calentamiento excesivo debido al paso de una intensidad elevada de corriente y en cuanto a la longitud no deben ser excesivamente largos, ya que esto sólo traería consigo caídas de tensión y además en caso de estar enrollados producirían pérdidas por autoinducción en la bobina creada. Todo buen cable debe tener un aislamiento eléctrico de suficiente resistencia como para soportar los rigores del taller, golpes, paso de vehículos, etc.. Además de que se deben encontrar en buen estado, sin rasgaduras en el aislamiento, y la conexión al equipo sea de tal manera que garantice su fijación mediante el uso de zapatas.

El proceso de soldadura manual Shielded Metal Arc Welding(SMAW), es un proceso de soldadura por arco eléctrico en donde la fusión del metal es producida por el calor del arco eléctrico que es mantenido entre la punta del electrodo revestido y la superficie del metal base en la junta a ser soldada.

El núcleo del electrodo revestido consiste en una varilla de metal sólido, el cual conduce la corriente eléctrica al arco y suministra metal de aporte a la junta. La función principal del revestimiento es dar estabilidad al arco y proteger al metal fundido contra el medio ambiente. Al solidificarse el fundente éste protegerá al metal sólido de enfriamientos bruscos, así como contaminaciones por absorción de gases.

El proceso requiere suficiente corriente eléctrica para fundir al electrodo y al metal base. El diámetro y tipo de electrodo definen los requerimientos de voltaje y de amperaje. Para fundir al electrodo se requiere de una fuente de poder que proporcione una corriente constante ya sea corriente directa o corriente alterna. El tipo de corriente que se emplee para fundir el electrodo depende del tipo de revestimiento que se tenga.

Los electrodos revestidos para el proceso de soldadura SMAW deberán satisfacer los requerimientos de la especificación ANSI/AWS A5.1:

| Significado de la numeración empleada para electrodo revestido. | | | |
|---|---|---|----------------|
| a. | El prefijo "E" se designa para electrodos manuales | | |
| | E60XX | | |
| b. | Los primeros dos dígitos de un total de cuatro o los tres primeros de un total de cinco indican el esfuerzo mínimo a la tensión multiplicado por mil | | |
| | E60XX | 60,000 lb/pulg ² | Tensión mínima |
| | E70XX | 70,000 lb/pulg ² | Tensión mínima |
| | E70XX | 110,000 lb/pulg ² | Tensión mínima |
| c. | El penúltimo dígito indica la posición a soldar | | |
| | EXX1X | Todas las posiciones | |
| | EXX2X | Posición plana y filetes horizontales | |
| | EXX3X | Posición plana | |
| | EXX4X | Todas las posiciones más vertical descendente | |
| d. | El último dígito indica varios factores como tipo de escoria, tipo de corriente, tipo de arco, penetración, presencia de elementos químicos, hierro de revestimiento. | | |
| e. | Sufijo. Nos indica otros elementos de aleación. | | |

Ilustración 3.3- Sistema de identificación de electrodos utilizados bajo el proceso SMAW

3.2.1.2 Clasificación de electrodos por el tipo de revestimiento.

Los electrodos por el revestimiento conservan o aumentan las propiedades del depósito a realizar. Esto se debe al tipo de componentes de que esté compuesto el revestimiento y el porcentaje de estos, sin embargo todos poseen elementos en común.

Características que aporta el revestimiento a la soldadura

1. Penetración
2. Presentación
3. Tipo de corriente a utilizar
4. Polaridad
5. Aumento de amperaje sin socavar
6. Mayor velocidad de depósito
7. Mayor estabilidad del arco
8. Grano fino
9. Evita porosidades
10. Evita el chisporroteo
11. Escorias alcalinas
12. Aporte de aleantes
13. Evita la oxidación inmediata
14. Elimina ácidos existentes en el metal base.

Los electrodos se clasifican por su revestimiento en cinco tipos:

- Tipo celulósico
- Base rutilo
- Bajo hidrógeno
- Oxido de hierro
- Polvo de hierro

3.2.1.2.1 Tipo Celulósico.

Este electrodo contiene en su revestimiento 45% de celulosa. El arco eléctrico del electrodo calienta el recubrimiento descomponiendo la celulosa en CO, CO₂ y vapor de agua. Poseen otros elementos como bióxido de titanio que es formador de escoria, ferro manganeso como desoxidante o reductor. Asbesto como formador de arco y escoria. Silicato de potasio como liga de compuesto y purificador, silicato de sodio como liga de compuestos.

Este tipo de electrodo forma poca escoria siendo usado en soldadura vertical descendente y altas penetraciones, efecto causado por la capa gaseosa del recubrimiento, el electrodo presenta un cordón poco vistoso por su tipo irregular y alto chisporroteo.

Su uso se debe a cordones donde es necesario obtener doble acabado (piezas que no se pueden soldar por ambos lados) por ejemplo en el cordón de fondeo de uniones en tubería y en áreas de difícil acceso.

Son excelentes para soldar aceros con más del 0.25% de carbono y aceros efervescentes.

Generalmente se usan con corriente continua y polaridad invertida, aunque también se puede soldar con corriente alterna pero necesitando de una mayor tensión en vacío. Permiten la soldadura en todas las posiciones, incluso en vertical descendente, dando muy buena penetración.

Sólo deben emplearse con aceros suaves y limpios ya que son bastante sensibles a las impurezas.

3.2.1.2.2 Base de Rutilo.

Se destacan por su tipo de acabado y facilidad de manejo. Su escoria se remueve fácilmente y en algunos casos sola. Su contenido de hidrógeno es alto y no requiere un proceso de exactitud ya que permiten un alto grado de limpieza y compensación de material.

Tal denominación del electrodo es propiamente incorrecta ya que el contenido de rutilo es principalmente un bióxido de titanio. Por este tipo de revestimiento se presta el electrodo para corregir fallas en el tipo de preparación.

El bióxido de titanio tiene la propiedad de dar buena estabilidad al arco, por lo que se puede soldar muy bien tanto con corriente continua como con corriente alterna; sueldan muy bien en posición vertical y sobre cabeza, dan buenas características mecánicas y buen acabado, resiste bien al agrietamiento en caliente en aceros de hasta 0.30% de carbono.

3.2.1.2.3 Bajo Hidrógeno (básicos).

Este tipo de electrodo resulta ser el de mayor aplicación debido a su bajo contenido de carbono e hidrógeno, como elementos componentes del revestimiento tiene:

- Carbonato de Calcio. Da una reacción básica a la escoria, absorbe y neutraliza impurezas del azufre.
- Fluorita. Neutraliza las impurezas del fósforo de tipo ácido que son perjudiciales.
- Manganeso. Liga el azufre evitando los sulfuros y proporciona elasticidad a los depósitos.

Este tipo de electrodos suele utilizarse, con frecuencia, en aceros con alto contenido de carbono 0.25 % aceros efervescentes y en construcción rígida.

Las soldaduras realizadas con estos electrodos presentan los mejores valores de resiliencia por aportar poco hidrógeno.

Generalmente deben usarse con corriente continua polaridad positiva, pero algunos tipos permiten la soldadura con corriente alterna.

Estos electrodos son difíciles de manejar y es necesario tener precauciones especiales de almacenamiento por su tipo de revestimiento, el cual resulta ser muy higroscópico.

3.2.1.2.4 Oxido de hierro.

Este electrodo se caracteriza por su tipo de escoria líquida (propicia para soldar en vertical descendente) y su alta velocidad de depósito y limpieza.

Poseen un alto contenido de manganeso como agente reductor y liga impurezas con la asistencia de silicatos formadores de escoria.

El revestimiento de estos electrodos, además de óxidos de hierro y manganeso contiene una gran proporción de productos desoxidantes y desnitrurantes.

La resiliencia de la unión es solamente mediana.

La penetración es buena, tiene tendencia al agrietamiento en caliente y no es adecuado para soldar aceros de contenido de carbono del orden de 0.24%.

Tiene la ventaja de dejar pocas inclusiones gracias a la fluidez de la escoria.

3.2.1.2.5 Polvo de hierro.

Este electrodo contiene un 50% de hierro en el revestimiento, logrando hacer depósitos de 2.5 veces el alma del electrodo. Este electrodo fue hecho para competir con los procesos semiautomáticos en la industria, el tipo de electrodos más usados son el 7018 y 7024, el primero en bajo hidrógeno y el segundo un parecido al 7014, por la estrecha afinidad de los ingredientes que constituyen al revestimiento.

3.2.1.3 Características de aplicación de la soldadura, a través de las cuales se define el comportamiento del revestimiento:

- Cantidad de corriente
- Voltaje y caída de éste
- Estabilidad y longitud de arco
- Posición a soldar
- Espesor del material

3.2.1.3.1 Cantidad de corriente.

La cantidad de amperaje depende de la aleación del electrodo, el tipo de revestimiento, así como el diámetro de éste. Cuando se selecciona el diámetro del electrodo con el amperaje apropiado podemos obtener un depósito constante de material y de mantener constante la anchura del cordón nos dará la velocidad de avance adecuada.

La selección del diámetro del electrodo depende del espesor del material a soldar, así como del tipo de junta y preparación; es conveniente aclarar que bajo ciertas condiciones de trabajo, principalmente para posiciones fuera de la normal, es preferible bajar un diámetro del electrodo facilitando con esto su aplicación. Veamos como nos afecta también el tipo de corriente que estemos empleando dentro del proceso.

Cuando se emplea corriente directa tenemos un arco firme y controlable con una tersura de cordón muy lisa debido a que no existen cambios en la polaridad, de manera que puede manifestarse un goteo constante y uniforme.

En el caso de la corriente alterna no sucede lo mismo ya que el goteo no es constante debido al cambio de polaridad y la concentración de calor.

3.2.1.3.2 Voltaje.

El voltaje nos ayuda a compensar la estabilidad del arco y la longitud de éste, además de proporcionar, en función de la cantidad de voltaje, la apertura de transferencia.

3.2.1.3.3 Estabilidad y longitud de arco.

Cuando las máquinas de soldar proporcionan un voltaje continuo, al producirse la transferencia del metal de aporte, trae consigo la falta de control de corriente en el desarrollo de la soldadura, esto produce la discontinuidad en la forma del depósito por consiguiente una disminución en el avance. La longitud de arco proporciona la ionización

de la cámara gaseosa repercutiendo en la transferencia de calor y estabilidad de éste, sin embargo esto dentro del proceso es prácticamente incontrolable a excepción de lo realizado por los electrodos de arrastre.

Muchas veces la caída de voltaje y amperaje depende de la relación del diámetro del conductor contra la longitud de éste por lo cual es muy importante buscar soldar con los cables lo más cortos posible y del diámetro adecuado. Es muy importante observar que la pinza porta-electrodo y la de tierra puede afectar en la transferencia de corriente al igual que el cable conductor. Obsérvese cuál es la capacidad de trabajo de estos implementos:

| Intensidad de Corriente (Amperes) | Distancia en metros | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | |
| 200 | 2 | 1/0 | 1/0 | 2/0 | 3/0 | 4/0 | 4/0 | |
| 250 | 1/0 | 1/0 | 2/0 | 3/0 | 4/0 | | | |
| 300 | 1/0 | 2/0 | 3/0 | 4/0 | | | | |
| 350 | 2/0 | 3/0 | 4/0 | | | | | Calibre |
| 400 | 3/0 | 4/0 | | | | | | |
| 450 | 4/0 | | | | | | | |

Tabla 3.1- Proporción distancia de trabajo-calibre de conductor

Como se vio anteriormente la longitud de arco es muy importante dentro de la sanidad de la soldadura ya que de ésta depende en gran parte la corriente aplicada y el tipo de transferencia del metal. Cuando llevamos un arco corto parte de la transferencia del metal de aporte se produce por corto circuito debiendo ser esta globular, recíprocamente un incremento de amperaje propiciará que se queme el material base o el electrodo (dependiendo de la polaridad empleada) minimizando, principalmente, el charco de soldadura. Al aumentar el diámetro del electrodo aumenta el amperaje y la longitud de arco pero no debe exceder en distancia la misma que el diámetro del electrodo. Cuando la longitud es muy elevada la transferencia del metal no se realiza de forma constante esto depende del tipo de glóbulo que se forme lo cual genera un mayor chisporroteo y desalineamiento en el depósito modificando la apariencia del cordón.

La selección del calibre del cable de tierra y el porta-electrodo se eligen en base a la distancia del área de trabajo y el amperaje de salida del transformador.

La longitud del arco es la distancia que existe entre la punta del núcleo de alambre del electrodo a la superficie del "charco" de soldadura.

Si la distancia es muy corta el arco puede ser errático y puede generarse un "corto circuito".

Si el arco es muy largo le faltará dirección e intensidad, lo cual tiende a esparcir el material fundido.

Considerando que la velocidad de avance es la rapidez a la que se mueve el electrodo a lo largo de la junta. La velocidad de avance apropiada es aquella que produce un cordón de buena apariencia. El arco debe estar ligeramente por delante del charco. Alta velocidad puede disminuir la penetración. Bajas velocidades de avance producen un cordón de soldadura ancho y convexo con baja penetración.

3.2.1.3.4 Posición a soldar

La posición a soldar depende principalmente de los compuestos del electrodo.

3.2.2 Proceso de soldadura de arco con electrodo metálico y gas (Gas Metal Arc Welding, GMAW).

Es un proceso de soldadura de arco que se usa en arco abierto con un continuo llenado de metal por medio de un electrodo de alambre sólido. El proceso utiliza una protección de gas externa para evitar la contaminación.

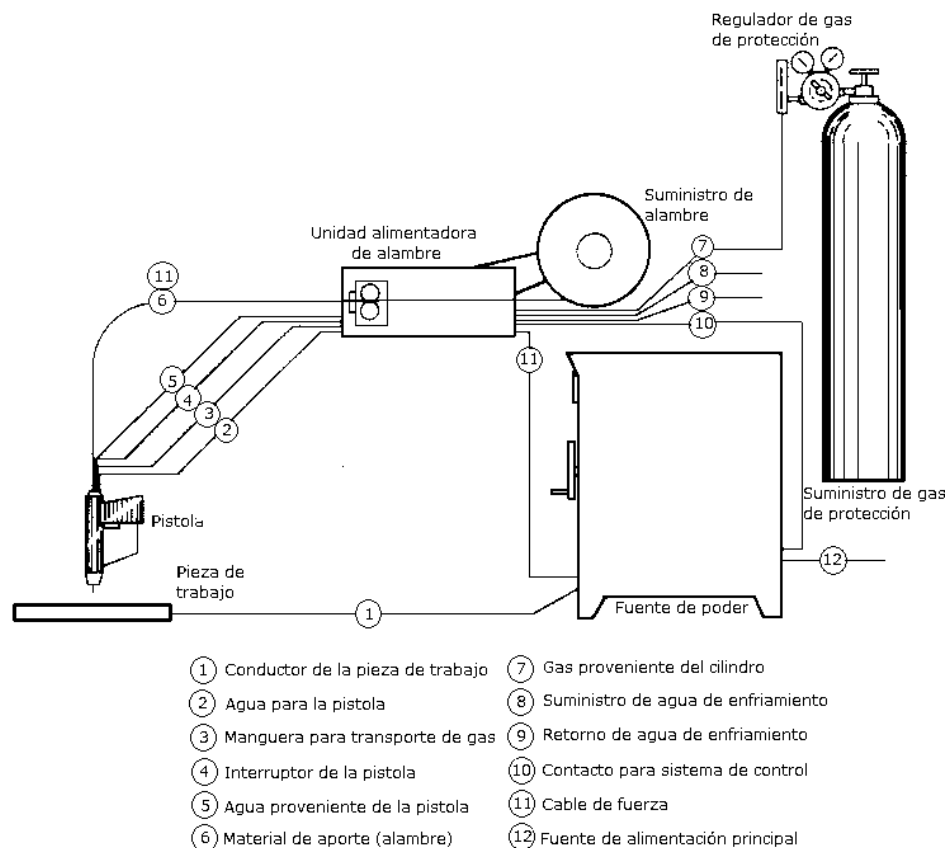


Ilustración. 3.4- Componentes del proceso GMAW (el sistema refrigerante de la pistola es opcional)

3.2.2.1 Proceso GMAW con protección gaseosa inerte (Metal Inert Gas, MIG).

Para este proceso se utiliza un electrodo consumible en forma de hilo, el cual se encuentra enrollado en una bobina al igual que para la soldadura de arco sumergido, este alambre se hace pasar por dentro de una manguera guía hasta la pistola por medio de unos rodillos de arrastre.

Se dispone de otra manguera que conduce el gas de protección desde la botella hasta la boquilla de la pistola, en algunos modelos de equipos de soldadura, ambas mangueras son concéntricas, pero en cualquier caso se pretende que el flujo gaseoso rodee la varilla a su salida de la boquilla protegiendo el arco.

Normalmente, la pistola va provista de un interruptor que al actuarlo realiza varias funciones:

- a. Abre el paso del gas
- b. Cierra el circuito de alimentación de corriente para el establecimiento del arco.
- c. Activa la operación de los rodillos de arrastre del alambre.

El gas de protección empleado suele ser argón, aunque generalmente mezclado con un 5% de oxígeno, ya que este elemento mejora notablemente la transferencia de gotas y la estabilidad del arco, aumenta la velocidad de fusión, consiguiéndose mayor rendimiento y además ayuda a dar un mejor aspecto al cordón.

3.2.2.2 Proceso GMAW con protección gaseosa activa (Metal Active Gas, MAG).

En otros casos el gas empleado es el dióxido de carbono (este procedimiento es también conocido como MAG y como soldadura con CO₂). En comparación a los resultados obtenidos con argón, la soldadura con CO₂ como gas protector se caracteriza por mayor chisporroteo, mayores pérdidas de metal de aporte por salpicaduras y gran tendencia a producir porosidad, para disminuir esta tendencia es necesario soldar con arco muy corto, disminuyendo también las pérdidas por proyecciones de soldadura. La varilla a utilizar en este caso debe de tener elementos desoxidantes, de lo contrario la calidad y el aspecto del cordón no son muy deseables. La ventaja de utilizar CO₂ es un buen rendimiento en cuanto a velocidad de fusión y el bajo precio del gas.

Este proceso puede utilizarse con corriente alterna y estabilización por alta frecuencia o bien con corriente continua y cualquier polaridad.

Nota: El llamado proceso MAG (Metal Active Gas) se diferencia del MIG (Metal Inert Gas) sólo en el gas de protección, en realidad el método CO₂ es MAG, para nuestro propósito no estableceremos diferencias, únicamente recordaremos que el gas influye fundamentalmente en la forma de la transferencia de gotas.

Las ventajas del proceso GMAW sobre el proceso SMAW se reproducen a continuación.

- En el modo de baja energía este puede ser usado en todas las posiciones
- Virtualmente no hay remoción de escoria
- Menos inversión de tiempo en entrenamiento de personal soldador
- Se puede soldar con equipo automático, semiautomático y mecánico
- Proceso de soldadura de bajo hidrógeno
- Velocidades de soldadura rápidas

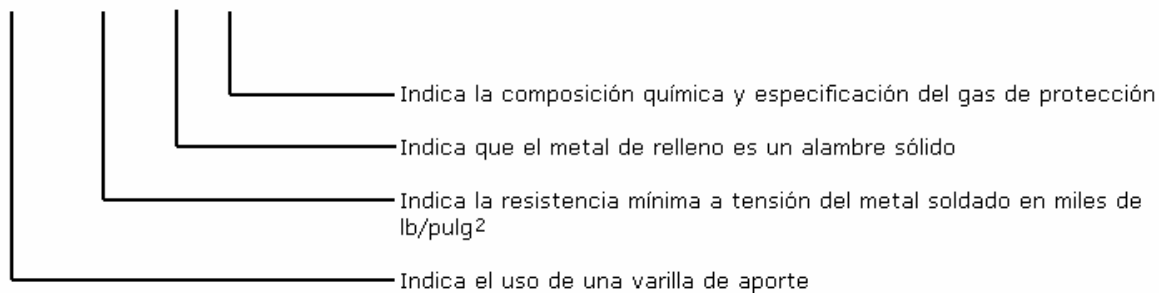
Por supuesto que, como cualquier proceso de soldadura, el proceso GMAW tiene algunas limitaciones, como las determinadas a partir de la comparación con el proceso SMAW.

- El equipo de soldadura es más complejo, de mayor costo y menos portable.
- El gas de protección debe protegerse de fuertes vientos y corrientes de aire.
- La velocidad de enfriamiento de la soldadura es mayor que con procesos que producen escoria.
- Dificultad para aplicar soldadura en lugares inaccesibles o incómodos por las características de la pistola de soldar.
- El arco para soldar por el modo de transferencia de corto circuito es menor que el arco bajo el proceso SMAW, por lo que existe la posibilidad de fusión incompleta en ensambles soldados gruesos además de existir menor ingreso de calor por interrupción del arco.
- El material debe estar limpio antes de soldar en tanto que con el proceso SMAW suele tolerarse cierta contaminación.

3.2.2.3 Clasificación de electrodos

La siguiente clasificación del metal de aporte está hecha de acuerdo a la especificación ANSI/AWS A 5.18 de metales de relleno, para aceros al carbón:

ER 70 S-3



3.2.2.4 Tipos de transferencia.

Se llama transferencia a la forma como pasa el material de aporte del electrodo a la pieza de trabajo. Existen tres tipos de transferencia las cuales se describen a continuación:

- a. Rocío o spray
- b. Globular o goteo
- c. Corto circuito

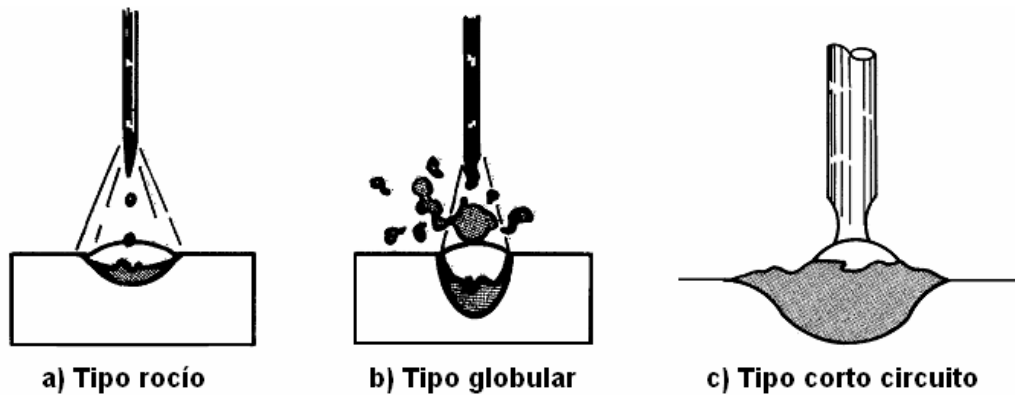


Ilustración 3.5- Tipos de transferencia del metal de aporte

El tipo de transferencia depende de los siguientes factores:

- a. Gas de protección (fundente)
- b. Diámetro del metal de aporte
- c. Voltaje del arco
- d. Magnitud y tipo de corriente de operación
- e. Polaridad
- f. Composición del electrodo
- g. Extensión del electrodo

3.2.2.4.1 Spray o rocío.

La transferencia del metal soldado a través del arco se da en la forma de gotas iguales o menores que el tamaño del electrodo. Las gotas son dirigidas axialmente en línea recta desde el material de aporte al charco de soldadura. Este tipo de transferencia produce un arco muy uniforme y estable con poca o ninguna escoria.

La transferencia tipo rocío requiere de un gas de protección rico en argón y el uso de corriente directa con el electrodo conectado al polo positivo (DCEP).

La transferencia tipo rocío también necesita un nivel de corriente arriba del valor crítico llamado corriente de transición. Debajo de la corriente de transición ocurre el tipo de transferencia globular con unas cuantas gotas por segundo. Arriba de la corriente de transición se forman gran cantidad de pequeñas gotas que son desprendidas a razón de cientos por segundo. Esta es la transferencia tipo rocío.

Con este tipo de transferencia es posible conseguir una penetración profunda, permitiendo del mismo modo el uso de soldaduras de filete de menor tamaño que el que se consigue con el proceso SMAW, pero con una resistencia equivalente. Otro beneficio de la transferencia de arco tipo rocío es que puede ser usado para soldar casi cualquier tipo de metal o aleación debido a las características inertes del argón como gas protector. Sin embargo, éste es difícil de usar para soldar materiales delgados ya que las altas corrientes que necesita para producir el arco tipo rocío pueden cortar a las láminas delgadas en lugar de soldarlas.

Muchas soldaduras con la transferencia tipo rocío son aplicadas en la posición plana u horizontal ya que la alta velocidad de depósito que éste produce puede crear un charco de soldadura muy grande para que por tensión superficial pueda ser soportado en la posición vertical o sobre-cabeza. Sin embargo las fuentes de poder que pueden pulsar la corriente de soldar pueden ayudar a vencer las limitaciones de espesor y posición de soldadura de la pieza de trabajo para la transferencia de arco tipo rocío. Reduciendo la energía del arco común y la velocidad de derretido del aporte la pulsación da las características deseables de transferencia tipo rocío para soldar láminas metálicas y metales gruesos en todas las posiciones.

3.2.2.4.2 Globular o goteo.

Se emplea baja velocidad y bajo voltaje, el tipo de gas a emplear es CO₂. Este tipo de transferencia se caracteriza por el tamaño de las gotas que se forman en la punta del alambre, alcanzando tres a cuatro veces el diámetro del electrodo. Al formarse el glóbulo su mismo peso hace que se desprenda del alambre y por la fuerza del arco será depositado en el metal base con una alta penetración.

Este tipo de transferencia es empleada en procesos automáticos con un alto grado de productividad.

Con el electrodo conectado al polo positivo (DCEP) y sin hacer caso del tipo de gas de protección la transferencia tipo globular toma lugar cuando la corriente es relativamente baja, pero con dióxido de carbono y helio este tipo de transferencia se da con todas las corrientes de soldadura aprovechables.

3.2.2.4.3 Corto circuito.

La transferencia tipo corto circuito es un tipo de transferencia del metal en el proceso GMAW en donde el metal derretido de un electrodo consumible es depositado durante la repetición de cortos circuitos.

La soldadura de arco tipo corto circuito usa los más bajos valores de corriente de soldar y diámetros de electrodo asociados con GMAW. Los valores de corriente típicos para electrodos de acero se muestran en la siguiente tabla.

| Diámetro del Electrodo | | Corriente de soldar, amperes* | | | |
|------------------------|-----|-------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|
| | | Posiciones plana y horizontal | | Posiciones vertical y sobrecabeza | |
| pulg | Mm | Mín | Máx | Mín | Máx |
| 0.030 | 0.8 | 50 | 150 | 50 | 125 |
| 0.035 | 0.9 | 75 | 175 | 75 | 150 |
| 0.045 | 1.2 | 100 | 225 | 100 | 175 |

* Electrodo al positivo

Nota: Rigen los rangos de corriente especificados por el proveedor

Tabla 3.2- Valores de corriente recomendables para los diámetros de aporte indicados

Este tipo de transferencia produce un charco de soldadura pequeño y de rápida adherencia que es generalmente apropiado para la unión de secciones delgadas, para soldaduras fuera de posición y para relleno de aberturas de raíz grandes. Cuando el ingreso de calor en la soldadura es extremadamente bajo, la distorsión de las piezas es muy pequeña. El metal es transportado del electrodo a la pieza de trabajo sólo durante el periodo que el electrodo hace contacto con el charco de soldadura.

Este tipo de transferencia es muy empleada en la industria por su buen acabado, facilidad de aplicación y por económico.

3.2.2.5 Selección de parámetros.

La selección de voltaje y amperaje se efectúa conjuntamente. No existe una relación directa que indique la selección en proporción del espesor o diámetro del alambre. La única forma es observar el cordón depositado y aumentar o disminuir los factores de corriente.

3.2.3 Proceso de soldadura de arco con electrodo metálico de núcleo fundente (Flux Cored Arc Welding, FCAW)

La soldadura arco con electrodo metálico de núcleo fundente es un proceso en el cual se usa un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura. Se sirve de un gas de protección proveniente de un fundente contenido dentro del electrodo tubular, con o sin protección adicional de un gas suministrado externamente y sin la aplicación de presión.

Existen dos variantes una es en la que se emplea un gas de protección suministrado externamente (FCAW-G), la segunda que se basa enteramente en el gas de protección generado por la desintegración del fundente dentro del electrodo (FCAW-S). La soldadura por arco con núcleo de fundente se considera una derivación del proceso GMAW.

Los ingredientes dentro del electrodo producen un gas para protección del arco y también proporcionan depositantes ionizadores, agentes purificadores, ingredientes formadores de escoria y en algunos casos elementos de aleación.

El gas de protección externo es básicamente CO₂ o una mezcla de CO₂ y argón.

El proceso de soldadura proporciona un metal de soldadura de alta calidad a un costo más bajo y con un menor esfuerzo por parte del operario que la soldadura aplicada por el proceso de arco con electrodo metálico revestido, SMAW. Es más versátil que este proceso y más adaptable que el proceso de soldadura de arco con electrodo metálico sumergido.

La pistola para soldar con electrodo auto protegido, FCAW-S, está diseñada sin una boquilla, la cual si es necesaria al soldar con gas de protección suministrado externamente.

Si el proceso con gas de protección externo, FCAW-G, es usado bajo condiciones con corrientes de aire o viento se proveerá de alguna barrera para evitar que se disipe el gas de protección externa; mientras que el proceso con electrodo auto protegido no necesita de tal barrera. El proceso FCAW es comúnmente usado para soldar acero dulce, pero los electrodos pueden ser fabricados con ciertos elementos aleantes en el núcleo para soldar aceros de baja aleación e inoxidables.

El proceso es excelente por sus altas velocidades de depósito. Además de ser muy versátil y adaptable para soldar aceros delgados y gruesos.

Es muy frecuente que los electrodos de diámetro arriba de 2 mm sean usados para soldar en posiciones plana y horizontal, mientras que los electrodos de 1.6 mm y menores se empleen, generalmente, para soldar en todas las posiciones.

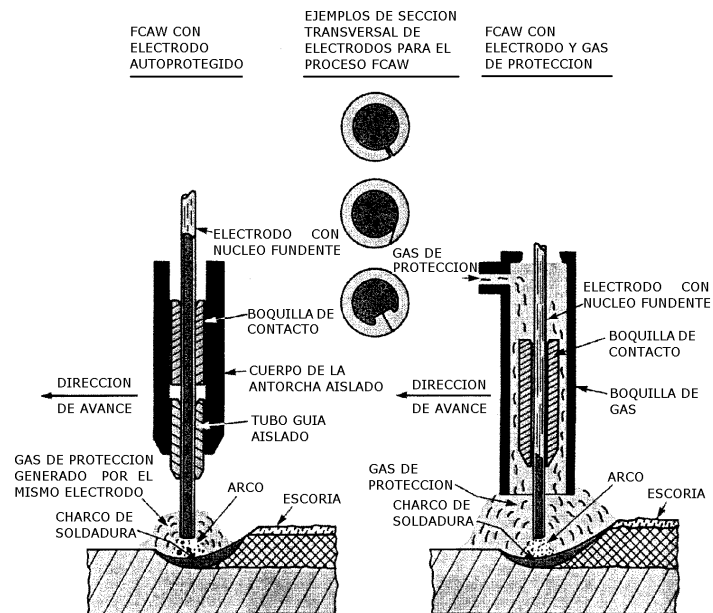


Ilustración 3.6- Variantes del proceso FCAW

3.2.3.1 Ventajas y limitaciones.

Ventajas:

- Alta calidad en el metal depositado
- Excelente apariencia del cordón
- Excelente contorno de los cordones de filete horizontales
- Amplia variedad en metales soldados y en espesor
- Alta operatividad
- Fácil mecanizado
- Alta tasa de depósito
- Aprovechamiento del electrodo alto

- Velocidad de desplazamiento alta
- Arco visible y fácil de usar
- Poca limpieza y en ocasiones nula
- Distorsión reducida
- Mayor capacidad de soldeo en uniones de ranura, filete y tope
- Se emplean los mismos diseños de preparación que bajo el proceso GMAW

Limitaciones:

- Se emplea principalmente en aceros
- Produce capa de escoria
- Su costo es más alto que los alambres sólidos por peso

3.2.3.2 Metales soldables.

Aceros al carbón
Aceros aleados
Aceros inoxidable (algunos tipos)
Hierros colados (alambres especiales)

3.2.3.3 Gases de protección.

Generalmente el gas de protección a emplear es el dióxido de carbono(CO₂) sin embargo en algunos casos podemos emplear Argón, Helio y mezclas de estos.

3.2.3.4 Clasificación de electrodos.

El sistema de clasificación es similar a los procesos anteriores, sin embargo debido a la naturaleza de los productos pueden designarse por las posiciones plana y horizontal sin considerar su diámetro

EXYT-Z

En donde:

- E. Significa electrodo
- X. Indica la resistencia mínima a la tensión bajo las condiciones de soldadura especificada
- Y. Indica la posición de soldadura para la cual está diseñado el electrodo
 - 0= Posición plana y horizontal
 - 1= Todas las posiciones
- T. Indica un electrodo con núcleo de fundente
- Z. Capacidad de uso y desempeño

Analizando Z.

EXYT-1 Se refiere a electrodos que se emplean para pasos múltiples por una transferencia en rocío dando como resultado cordones planos y anchos con moderada escoria tipo rutilica. Utilizan CO₂ como protección y algunas veces Ar-CO₂ para fuera de posición. Cuando se reduce la cantidad de CO₂ suele incrementarse el magnesio y el silicio dando por resultado mayor resistencia al impacto.

EXYT-2 Están diseñados para soldaduras de un solo paso en posición plana y filetes horizontales, son similares a EXYT-1 sólo que con mayor resistencia al impacto debido a su alto contenido de magnesio y silicio empleados como depositantes.

EXYT-3. Son electrodos autoprotegidos y se emplean con corriente directa polaridad positiva, su transferencia es por rocío para altas velocidades de aplicación en posición plana, horizontal y vertical descendente. No son recomendables para espesores mayores de ¼" o para pasos múltiples.

EXYT-4. Electrodo autoprotegido de corriente continua polaridad positiva con transferencia tipo globular de alta velocidad con baja penetración para cordones simples o múltiples, son resistentes a la fractura y desulfurantes.

EXYT-5. Electrodo protegido con CO₂ o mezclas para pasos múltiples o simples en posición plana y filetes horizontales de tipo globular, escoria escasa tipo cal-fluorita y cordón ligeramente convexo. Son más resistentes al impacto y al agrietamiento que los rutilicos.

EXYT-6. Electrodo autoprotegido de corriente continua polaridad positiva de transferencia tipo rocío, de penetración profunda, alta resistencia al impacto a bajas temperaturas, de escoria suave (escasa para pasos sencillos y múltiples en posiciones plana y filetes horizontales).

EXYT-7. Electrodo autoprotegido de corriente continua y polaridad negativa para pasos múltiples en diámetros grandes en toda posición para alta velocidad y depósito. Estos también desulfuran muy bajo dando alta resistencia a la fractura.

EXYT-8. Electrodo autoprotegido de corriente continua y polaridad negativa para cualquier posición de soldadura, similares a EXYT-7.

| Clasificación AWS | Corriente | Gas | Pasos |
|-------------------|-----------|-----------------|--------|
| EXYT-1 | dc-ep | CO ₂ | Varios |
| EXYT-2 | dc-ep | CO ₂ | Uno |
| EXYT-3 | dc-ep | Ninguno | Uno |
| EXYT-4 | dc-ep | Ninguno | Varios |
| EXYT-5 | dc-ep | CO ₂ | Varios |
| EXYT-6 | dc-ep | Ninguno | Varios |
| EXYT-7 | dc-en | Ninguno | Varios |
| EXYT-8 | dc-en | Ninguno | Varios |
| EXYT-10 | dc-en | Ninguno | Uno |
| EXYT-11 | dc-en | Ninguno | Varios |
| EXYT-G | A | A | Varios |
| EXYT-GS | A | A | Uno |

Nota. El término DCEP se refiere a corriente directa electrodo conectado al polo positivo
El término DCEN se refiere a corriente directa electrodo conectado al polo negativo
El término A se refiere a corriente alterna

Tabla 3.3- Polaridad y requerimientos de aplicación de la soldadura

3.2.4 Proceso de soldadura de arco con electrodo metálico sumergido (submerged arc welding, SAW).

En el proceso de soldadura de arco con electrodo metálico sumergido, SAW, el arco eléctrico generado se encuentra dentro de una capa de fundente granular, el cual tiene las funciones de proteger al charco de soldadura del medio ambiente, generar la escoria para darle forma al cordón y en ocasiones, agregar elementos aleantes al depósito de soldadura.

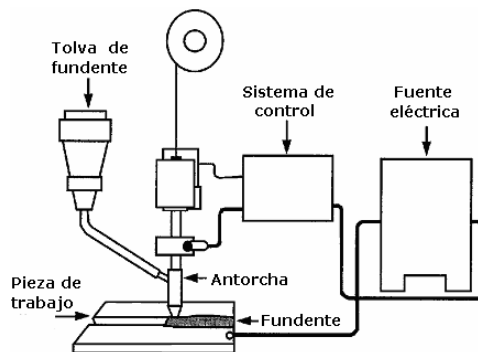


Ilustración 3.7- Componentes del proceso SAW

En este procedimiento de soldadura se utiliza varilla desnuda como electrodo, haciendo arder el arco eléctrico bajo un flux granular y fusible que se encargará de proteger el baño fundido del contacto con el aire, además tiene como misión aportar los elementos de aleación necesarios, formar escorias, etc., en otras palabras, se comporta como el revestimiento de un electrodo manual.

Este procedimiento permite soldar chapas a tope sin preparación de bordes, hasta de 12 mm de espesor y soldaduras de filete hasta de 10 mm en una sola pasada, ya que este tipo de soldadura se realiza utilizando elevados amperajes, del orden de 250 a 800 amperes. Es muy importante la elección de los parámetros adecuados a la hora de soldar,

ya que una vez fijados se mantienen así durante toda la soldadura, así pues, una intensidad más baja de la necesaria traerá consigo una menor penetración y en el supuesto del ejemplo anterior obtendríamos una soldadura con falta de penetración constante, en el caso contrario posiblemente tendríamos una descolgadura de raíz.

Entre otras ventajas de este proceso se cuentan:

- Los cordones hechos con el proceso SAW, quedan libres de ondulaciones y salpicaduras, razón por la cual no necesitan maquinarse, cepillado o esmerilado para obtener buena apariencia.
- El proceso proporciona la facilidad de alcanzar altas velocidades de avance y mayor productividad en soldaduras de un solo paso, en placa. Se alcanzan velocidades de avance de 200 pulg/min (5.08 m/min) cuando se trabaja con electrodos gemelos.
- Los depósitos hechos por arco sumergido son de bajo hidrógeno con excelente resistencia a la ruptura.

3.2.4.1 Varilla de aporte.

La varilla se utiliza como metal de aporte en forma de electrodo consumible, normalmente aleada, con el fin de reponer los elementos aleantes que puedan haber pasado a la escoria o hayan sido excesivamente diluidos y para mejorar las propiedades mecánicas de la soldadura por ejemplo, molibdeno, vanadio, etc..

La Sociedad Norteamericana para la Soldadura, AWS, ha clasificado al par fundente-electrodo de la siguiente manera

F 7 A 2 – EM12K

En donde:

F. Significa fundente para arco sumergido

7. Indica la resistencia mínima a la tensión bajo las condiciones de soldadura especificada multiplicada por 10,000 y se lee en lb/pulg²

A. Indica que los valores anteriores se obtienen tal y como se soldó la junta. Si se presentara una letra P nos indicaría que los valores de resistencia se obtienen después de un tratamiento térmico

2. Indica la temperatura en °F, igual o mayor a la cual la resistencia al impacto del metal de aporte reúne o excede 20 pies-libra fuerza (ft.lbf)

E. Indica que es un aporte para arco eléctrico

M. Indica que el aporte es de medio contenido manganeso. Si en lugar de la M se designara una H indicaría que se trata de un aporte de alto contenido de manganeso y una L indica que se trata de un aporte de bajo contenido de manganeso

12. Indica que el aporte es de 0.12% de carbono, es decir hace referencia al porcentaje del contenido de carbono

K. Indica que es de un acero suave al silicio

3.2.4.2 Flux (fundente).

La elección del polvo depende de la naturaleza del metal base y de la varilla a utilizar para obtener la composición química deseable, por otra parte, depende del flux la protección del baño fundido y la estabilidad del arco, por lo tanto según el tipo de flux será la corriente de alimentación.

Según este procedimiento se suele soldar con corriente continua conectando el electrodo al polo positivo, aunque también es posible la soldadura con corriente alterna, si bien no es recomendable para intensidades bajas (400-450 Amps.) debido a la baja estabilidad del arco.

Otro efecto interesante del flux es su comportamiento en función del tamaño de las partículas, así pues, el grano fino tiende a dar menor penetración y superficies más anchas y lisas que las gravas gruesas, en cambio dificulta el escape de los gases desprendidos del baño si la intensidad no es elevada, ya que la escoria se enfría más rápidamente y presenta mayor viscosidad y menor permeabilidad, como consecuencia de la mayor o menor viscosidad de la escoria se puede o no soldar en posición (nunca en techo) utilizando por supuesto los accesorios precisos.

En cuanto a las limitaciones del proceso, la principal es que sólo se puede soldar en posición plana u horizontal, esto se debe a que el fundente tendería a escurrir en cualquier otra posición y, por lo tanto, no habría buena protección del charco de soldadura.

CAPÍTULO 4

Control de calidad

4.1 Introducción:

Los métodos de inspección son una de las "herramientas" básicas que se emplean en todo programa de control de calidad

Una definición de Control de Calidad, se expresa como "El conjunto de técnicas y actividades de carácter operacional, orientados para asegurar el buen comportamiento de un producto, en relación con la finalidad para la que fue proyectado".

Los términos generales utilizados para identificar los métodos de inspección más comunes, para evaluación de soldaduras y materiales asociados, se agrupan de acuerdo a lo siguiente:

- Pruebas no Destructivas (PND)
- Pruebas Destructivas (PD)

Las PND, citadas en 1.9.2 y descritas en 4.2, permiten la inspección al 100% de la producción, en el caso de que así se requiera. Los datos obtenidos por estos medios dan una visión de la homogeneidad tanto volumétrica como superficial de las soldaduras. De esta forma se contribuye a mantener un nivel de calidad uniforme con la consiguiente conservación del producto y aumento del prestigio del componente y del fabricante. Sobre todo ayudan a asegurar la calidad funcional de los sistemas y elementos, en base a su diseño.

En cambio las PD, citadas en descripción de RCP y descritas en 4.3, aplicadas en un control de calidad, permiten comprobar con un cierto grado de seguridad, el nivel de calidad de una determinada producción. Además, requieren utilizar un gran número de muestras y los datos obtenidos se referirán a una zona muy limitada de un producto pero no de todo su volumen, no pudiendo asegurar la calidad de la totalidad de un lote.

4.2 Clasificación de las Pruebas no Destructivas

Las pruebas no destructivas consisten en aplicar principios físicos para detectar discontinuidades en materiales sin afectar su utilidad. Estos ensayos se pueden utilizar no sólo como un requisito de calidad a cumplir, sino también para implementar políticas de reducción de costos y optimización de la calidad en el mercado. Para obtener el máximo

de resultados satisfactorios es necesario emplear personal capacitado en una técnica definida a aplicar.

Las PND pueden ser usadas dentro de cualquier paso de producción siendo las principales:

- Recepción de materias primas para asegurar la calidad y sanidad de éstas
- Durante el proceso de fabricación para comprobar la ausencia de defectos
- En la inspección final para la liberación de productos
- Comprobación de sanidad en partes de componentes en servicio

En base a su aplicación las PND se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- Técnicas de Inspección Superficial
- Técnicas de Inspección Volumétrica
- Técnicas de Integridad

4.2.1 Técnicas de inspección superficial

Por medio de esta prueba sólo se puede examinar al material por su superficie y las discontinuidades existentes sólo son detectadas en algunos casos hasta 3 mm. de profundidad. Este tipo de ensayos se efectúan por medio de los siguientes métodos:

- Inspección visual (visual testing) VT
- Líquidos penetrantes (penetrant testing) PT
- Partículas Magnéticas (magnetic testing) MT

4.2.1.1 Inspección Visual

Para desarrollar esta técnica se requiere de personal con experiencia dentro del proceso de fabricación, ya que se necesita gran cantidad de información sobre las características de la pieza para que su interpretación sea acertada.

Aparte de la experiencia y conocimientos sobre el sistema de fabricación el operario que efectúa la inspección visual requiere en algunos casos de equipo especialmente diseñado para esta función como el siguiente:

- Lentes de aumento (5x-10x)
- Sistemas de interferencia cromática
- Boroscopio

Aun cuando la inspección visual es algo subjetiva tiene múltiples ventajas, ya que se emplea en todo el proceso de fabricación, puede dar pauta a detectar discontinuidades mayores con otros métodos de inspección, ayudar a detectar a tiempo discontinuidades que pueden convertirse en defectos y su costo es muy bajo.

4.2.1.2 Líquidos Penetrantes

Este método se emplea para detectar discontinuidades que afloran a la superficie. En general este método consiste en aplicar un líquido de baja densidad que penetra en la fisura por efecto de capilaridad y después de un tiempo es removido para que se aplique

el revelador y pueda denotarse la presencia de éste que es el que quedó atrapado en la fisura.

Para el empleo de este método es necesario definir la sensibilidad de la prueba, así como los materiales a inspeccionar en su composición y condiciones de la superficie, sin olvidar con base a qué norma se está trabajando.

4.2.1.3 Partículas Magnéticas

Permite detectar discontinuidades en la superficie y muy cercanas a ésta. Se emplea cuando se requiere una inspección más rápida que la de líquidos penetrantes.

Esta opera cuando hay distorsiones del campo magnético perpendiculares a las líneas de éste en un material ferromagnético. Las distorsiones atraen a las partículas magnéticas que fueron aplicadas en forma de polvo o suspensión en la superficie a examinar y esta acumulación puede observarse a simple vista por efecto de luz ultravioleta.

4.2.1.3.1 Principio de operación de la técnica de inspección con partículas magnéticas.

- a. Si tenemos una barra de acero, como se muestra en la figura 4.1, se observará que en la zona de la grieta se acusaría la fuga de flujo magnético, de tal manera que las líneas de fuerza que deben pasar a través del área de la grieta tienden a ser expulsadas o forzadas hacia la superficie (cara A). Evidentemente también tendremos la formación de dos polos, norte y sur.

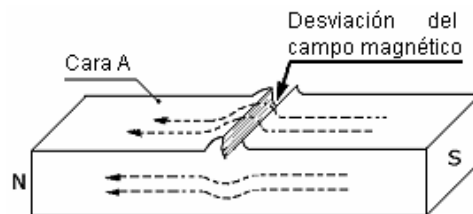


Ilustración 4.1- Grieta superficial en un componente de prueba

- b. Supongamos que tenemos una barra ferromagnética con una discontinuidad interior (figura 4.2). Con esta discontinuidad subsuperficial se puede ver que algunas de las líneas de fuerza pasan por encima y por debajo de ella; algunas pasan a través de la grieta y otras son forzadas a salir a la superficie, provocando fugas de flujo.

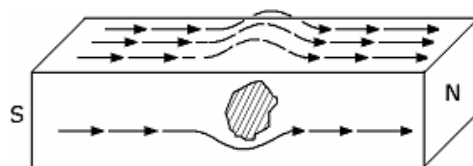


Ilustración 4.2- Componente de prueba con superficie ondulada

Si espolvoreamos partículas de hierro (magnéticas) se producirá una acumulación de estas donde se encuentran las fugas del flujo (figura 4.3)

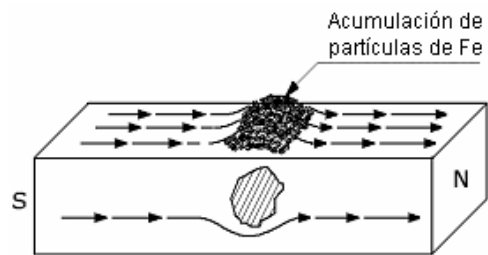


Ilustración 4.3- Aplicación de limaduras de hierro sobre componente de prueba

4.2.1.3.2 Tipos de partículas.

- Partículas húmedas
- Partículas secas

4.2.1.3.2.1 Partículas húmedas

- Las partículas húmedas son mezcladas en suspensión en un baño de agua o aceite
- Las partículas fluorescentes dan la máxima sensibilidad y contraste
- El número de partículas magnéticas, en suspensión, se conoce como concentración del baño según esto es fácil observar que la concentración es fundamental para el éxito del ensayo

4.2.1.3.2.2 Partículas secas

- Son exclusivamente mezclas convenientes de materiales magnéticos en polvo, con pigmentos para favorecer su contraste
- Se utilizan pistolas o peras rociadoras, con el fin de dar una movilidad adecuada, en forma de nube, a las partículas

4.2.1.3.3 Aplicación del método

Para aplicar el método por partículas magnéticas, se precisa el siguiente equipo:

- Equipo como fuente de generación de corriente (alterna o directa)
- Amperímetro
- Cables
- Electrodos
- Yugo

Evidentemente la selección de los incisos c, d y e estarán en función del método más apropiado

4.2.1.3.3.1 Uso de puntas o electrodos

Este método consiste en efectuar la prueba haciendo uso de dos electrodos de cobre conectados a una fuente de generación de energía eléctrica. El campo se crea por contacto de los electrodos con la pieza de ensayo.

Según la figura 4.4, la corriente entra por (b) y sale por (a) formándose las líneas de fuerza con la dirección que marcan las líneas de puntos.

La separación de los electrodos puede ser entre 6 y 8 pulgadas.

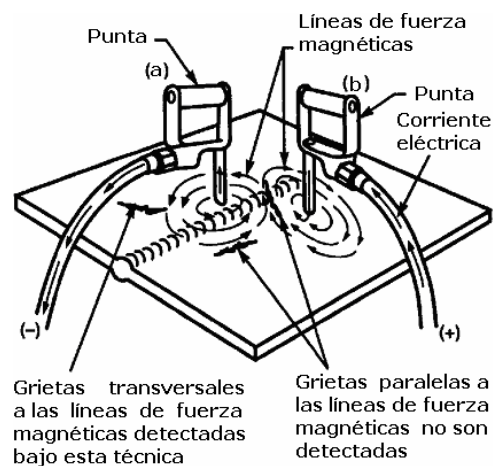


Ilustración 4.4- Uso de electrodos o puntas

4.2.1.3.3.2 Uso del yugo

Los yugos magnéticos son equipos manuales de diseño especial, tal como el indicado en el croquis de la figura 2.5, empleados con mucha frecuencia en la detección de discontinuidades, en la superficie de materiales magnéticos.

Debido a su posibilidad de generar campos magnéticos alternos o continuos (media onda corregida), pueden estudiarse las indicaciones procedentes de discontinuidades superficiales (grietas) o las subsuperficiales (grietas e inclusiones).

Se pueden emplear en ensayos por vía seca o húmeda y tienen la posibilidad de desmagnetizar las piezas examinadas.

Los hay de los tipos con brazos fijos y otros con brazos articulados, que pueden adaptarse a la geometría de las piezas.

La observación e interpretación de los resultados dependerá de la magnetización y continuará el tiempo necesario después de que el examen se haya estabilizado, ya que las discontinuidades quedarán indicadas por la retención de las partículas.

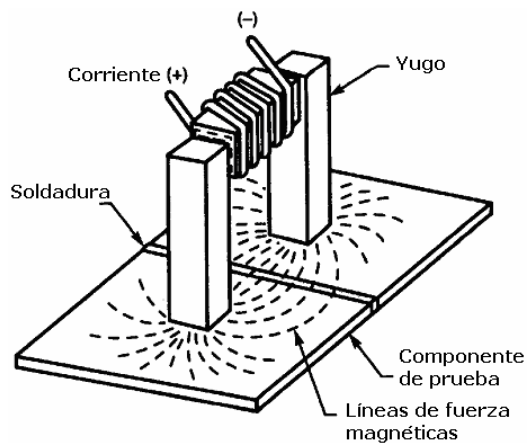


Ilustración 4.5- Uso de yugo

4.2.2 Técnicas de inspección volumétrica

Por medio de estos ensayos podemos examinar la sanidad de un material en todo su volumen y por lo tanto es posible detectar discontinuidades que no son observables desde la superficie. Para efectuar esta inspección, los métodos convencionales que expondremos a continuación son:

- Radiografía industrial (Radiographic testing) RT
- Ultrasonido industrial (ultrasonic testing) UT

4.2.2.1 Radiografía Industrial.

Básicamente el proceso de radiografía consiste en hacer pasar un haz de radiación de naturaleza electromagnética (rayos X o rayos γ) a través de un cuerpo. Después esa radiación deberá incidir sobre elementos sensibles a este tipo de energía manifestándose una imagen.

Esta imagen puede ser visible (fluoroscopia) o latente (placa radiográfica).

Esta prueba nos permite asegurar la integridad y confiabilidad de un producto ya que está diseñado para detectar discontinuidades macroscópicas y variaciones en la estructura interna.

Este método en el cual se emplea alta energía que es capaz de penetrar materiales sólidos obteniendo en películas registros permanentes para el estudio y evaluación de las discontinuidades, por lo anterior esta prueba es utilizada ampliamente.

Durante la prueba radiográfica la energía de los rayos X o gamma, haz de radiación electromagnética, es absorbida o atenuada al atravesar un material de tal manera que la energía que logra traspasarlo es la que queda registrada en la película, elemento sensible a este tipo de energía, y dependiendo de la cantidad de ésta es la coloración al revelar la película, que si se encontrara un defecto en el interior de la pieza este permite mayor

paso de energía por lo cual el registro en la película será mayor. Es un excelente método de inspección ya que puede extenderse a diversos materiales permitiendo una vista al interior de la pieza, sin embargo debido a su operación no es recomendable emplearlo en piezas de configuración complicada además de que es necesario tener acceso a la pieza por ambos lados por lo cual se hace necesario la preparación del personal operador de esta técnica.

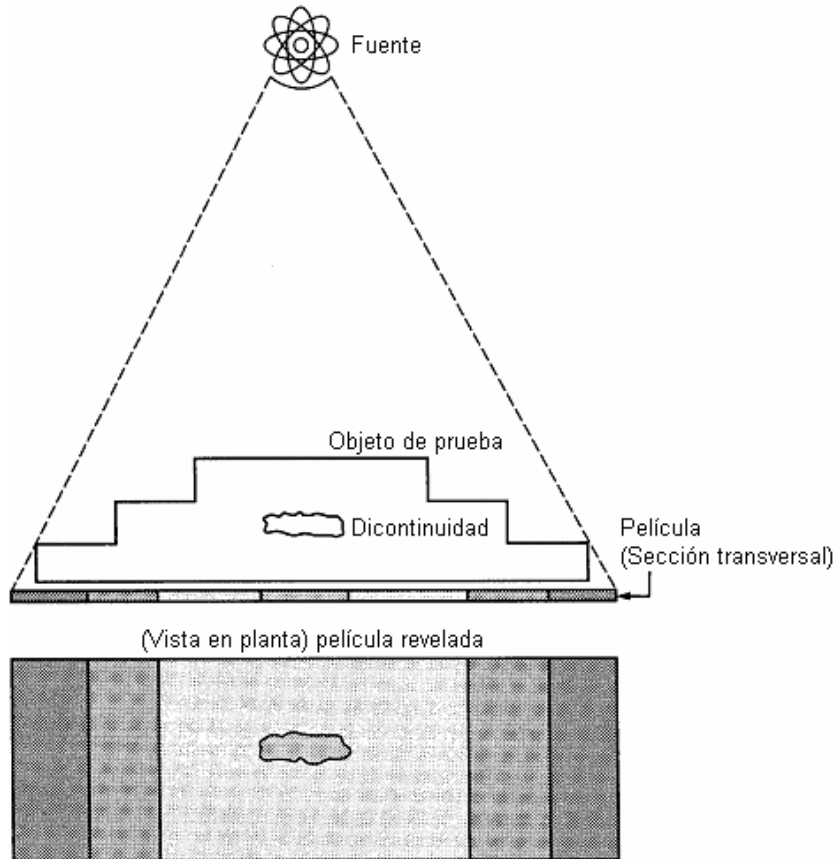


Ilustración 4.6- Obtención de una película radiográfica

4.2.2.2 Ultrasonido.

La inspección bajo la técnica de ultrasonido se basa en la impedancia acústica de los materiales manifestándose como la propagación del sonido en el material.

Los equipos que se usan actualmente permiten detectar discontinuidades superficiales, subsuperficiales e internas dependiendo del tipo de palpador.

Este proceso se emplea ampliamente en la detección de zonas que presentan corrosión, detección de defectos en piezas fundidas, laminadas, soldadas.

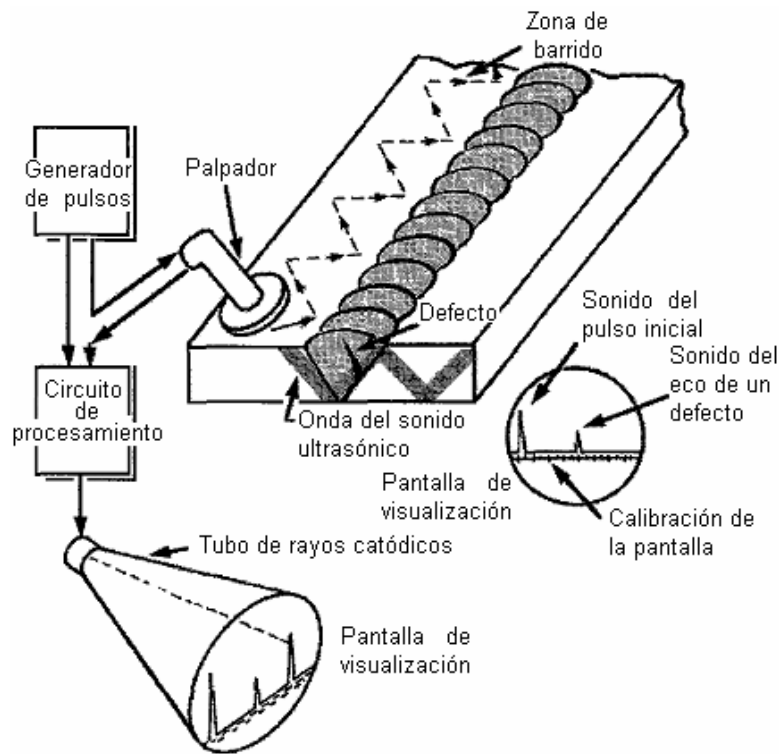


Ilustración 4.7- Inspección de uniones soldadas mediante la técnica de ultra sonido

Los elementos que intervienen en el ensayo son, básicamente, los siguientes:

- Equipo electrónico de ultrasonido
- Palpadores
- Pieza a examinar

Los impulsos generados por el equipo, aplicados a través del palpador, se efectúan en base a un cristal piezoeléctrico que es el elemento esencial, el cual se encuentra en el palpador.

Los impulsos generados por el cristal, son transmitidos a la pieza, donde se propagan y se reflejan a la vez, siendo recogidos de nuevo por el palpador.

El tiempo de recorrido y la amplitud de la señal reflejada en la pantalla del osciloscopio son las referencias que servirán para analizar la calidad buscada en la pieza

4.2.2.2.1 Limitaciones y ventajas de los ultrasonidos

Entre sus limitaciones se cuentan:

- Dificultad de interpretación de los resultados, ya que el operador debe confiar en su propia experiencia, para lo cual debe tener buenos conocimientos sobre procesos de fabricación de los materiales a examinar y de la técnica aplicable por ultrasonidos

- No se dispone de un registro objetivo. Este se obtiene a través del operador según su criterio y experiencia
- Por las razones expuestas, se requiere que el personal operador tenga un alto grado de responsabilidad y los resultados que se obtengan estarán condicionados a la capacidad del operador
- Las dimensiones de las discontinuidades son, en muchas ocasiones, aproximadas
- La determinación del tipo de defecto (como por ejemplo la falta de fusión) no siempre puede establecerse como tal

Las ventajas más aceptables son:

- Tienen una gran sensibilidad para detectar discontinuidades que por su orientación, dimensión y morfología no serían detectadas por otros métodos (Radiografía)
- Pueden determinar con bastante exactitud la situación de las discontinuidades. En este aspecto supera a los rayos X
- No existen limitaciones, prácticamente, de espesores en los materiales a ensayar
- Los equipos son muy manejables y autónomos
- Requiere tener acceso a la pieza por un solo lado

4.2.3 Técnicas de inspección de integridad.

En estas pruebas se comprueba la hermeticidad de los productos a una presión superior o inferior a la atmosférica verificando que el material soporte la presión de trabajo y que no exista pérdida de fluidos. Los principales métodos de inspección son los siguientes:

Pruebas por cambio de presión.

Hidrostática.

Neumática.

Pruebas por pérdida de fluido.

Cámara de burbujas.

Detector de halógenos.

Espectrómetro de masas.

Detector ultrasónico.

No abundaremos más sobre los tipos de pruebas citados arriba por caer fuera del fin del presente estudio.

El tener conocimiento sobre las características del producto, la defectología probable y su configuración son factores fundamentales para seleccionar el método de inspección más adecuado.

4.3 Identificación de discontinuidades en la soldadura

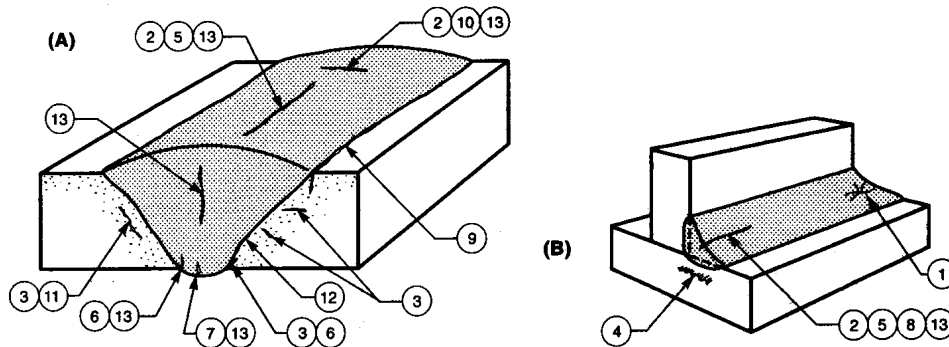
La inspección visual es un método de inspección muy útil motivo por el cual se le debe considerar en primer lugar dentro de cualquier programa de control de calidad. Se ha demostrado en repetidas ocasiones que "la inspección visual conducida por inspectores capacitados correctamente da como resultado la detección de la mayoría de defectos que sólo podrían ser descubiertos al finalizar la fabricación, mediante métodos de inspección

de mayor costo". La inspección visual está un poco limitada puesto que únicamente suele emplearse en la detección de defectos superficiales, aunque con frecuencia se detectan los defectos más perjudiciales.

Es muy importante tener en cuenta la diferencia que existe entre la palabra "discontinuidad" y "defecto". Discontinuidad se refiere a "una alteración en la estructura típica de un material como puede ser: falta de homogeneidad en sus características mecánicas, metalúrgicas o físicas. Una discontinuidad no necesariamente es un defecto". Un defecto se refiere a "una condición o condiciones que hacen a una pieza incapaz de cumplir con los estándares o especificaciones de aceptación mínimos aplicables". Todos los defectos son discontinuidades, pero no todas las discontinuidades son defectos. Un defecto puede ser considerado como una "discontinuidad rechazable", de acuerdo con la guía de inspección visual de la AWS, B1.11-2000.

4.3.1 Grietas.

Una grieta es definida como una discontinuidad del tipo de fractura caracterizada por una terminación aguda y un gran radio de influencia y ancho de abertura de falla. Las grietas son normalmente consideradas como el tipo de discontinuidades más severas porque a través de estas tiende a disminuir la resistencia de las uniones soldadas. Por otra parte las grietas son usualmente identificadas por su localización geométrica, tiempo de aparición o mediante términos de uso común; obsérvese la siguiente figura para identificación de diferentes tipos de grietas clasificadas por la AWS:



Leyenda:

1. Cráter
2. Grieta en la cara
3. Grieta en la zona afectada por el calor
4. Desgarre laminar
5. Grieta longitudinal
6. Grieta en la raíz
7. Grieta en la superficie de la raíz
8. Grieta en la garganta
9. Grieta en el pie
10. Grieta transversal
11. Grieta bajo el cordón
12. Grieta en la interfase de la soldadura
13. Grieta en el metal soldado

Ilustración 4.8- Grietas

A menudo los tipos de grietas son acompañadas por los siguientes prefijos: metal base, en frío, cráter, retardada, de cara, en zona afectada por el calor, en caliente, por contenido de hidrógeno, intergranular, desgarre laminar, longitudinal, templado, de raíz, por servicio forzado, esfuerzo por exceso de corrosión, de garganta, de pie, transgranular, transversal, bajo el cordón, en el metal soldado y otros.

La detección de grietas puede llevarse a cabo visualmente si la grieta está presente en la superficie y ésta es de suficiente tamaño para percibirse a la vista. Las superficies lisas, limpias, una iluminación con cierto ángulo de inclinación, y unos lentes de aumento de 10x son de gran utilidad durante la inspección visual de las superficies agrietadas. Si la superficie agrietada no puede ser detectada visualmente, el siguiente paso consiste en hacer uso del método de prueba con líquidos penetrantes (PT). También se puede hacer uso del método de prueba con partículas magnéticas (MT), aunque su uso está limitado a metales ferromagnéticos. El método de prueba ultrasónico, (UT), el método de prueba de corrientes de Heddy (ET) y el método de prueba por radiografía (RT) son útiles para la detección de grietas subsuperficiales.

Las grietas pueden ser causadas por una multitud de condiciones, pero la causa más común se refiere a: la fragilidad del metal base o del metal soldado causado por el rápido enfriamiento y la consiguiente formación de martensita frágil, esfuerzos de contracción de la soldadura, tamaño del cordón de raíz insuficiente, diseño de la unión pobre, incompatibilidad de los metales de relleno y la corrosión provocada por el medio ambiente. Vea la siguiente tabla de causas y soluciones para evitar la aparición de grietas.

La reparación de las grietas debe satisfacer los siguientes requerimientos generales:

1. Determinar extensión y localización de la grieta.
2. Esmerilar para su remoción total; validando con alguna prueba no destructiva. Evite soldar sobre las grietas.
3. Soldar haciendo uso de un procedimiento apropiado, incluyendo precalentamiento si se requiere, use electrodos de diámetro pequeño y cordones rectos en la progresión de la soldadura.
4. Realice pruebas no destructivas a las soldaduras terminadas y al metal base.

Nota: Los procedimientos de arriba pueden resultar inadecuados para reparar grietas en zonas de corrosión sujetas a esfuerzo, las cuales pueden requerir del reemplazo de la zona afectada o de toda la pieza.

| Causas comunes y soluciones para evitar la aparición de grietas | |
|---|---|
| Causa: Agrietamiento en el metal soldado | Solución: Agrietamiento en el metal soldado |
| Unión demasiado rígida | Precalentar. Releve esfuerzos residuales mecánicamente (martillando). Minimizar el esfuerzo de contracción usando un paso de retroceso o toda una secuencia de soldadura. |
| Dilución excesiva | Cambie la corriente de soldar y la velocidad de avance. Suelde con electrodo revestido conectados al negativo; empate las caras de la unión antes de soldar. |
| Electrodos defectuosos | Cambiar a electrodos nuevos; cocer al horno los electrodos para remover la humedad. |
| Ensamble pobre | Reduzca la abertura de raíz; aumentando los bordes con soldadura. Aumente la abertura de raíz. |
| Cordón de la soldadura pequeño | Aumente el tamaño del electrodo; aumentar la corriente de soldar; reducir la velocidad de avance. |
| Metal base con alto contenido de azufre | Usar metales de relleno de bajo contenido de azufre. |
| Distorsión angular | Balancee la soldadura a ambos lados de la unión. |
| Agrietamiento en cráter | Rellene el cráter antes de extinguirse el arco; use un dispositivo que amortigüe la corriente de soldar al término de cada cordón de soldadura. |
| Causa: Zona afectada por el calor | Solución: Zona afectada por el calor |
| Presencia de hidrógeno en la atmósfera al soldar | Use procesos de soldadura de bajo hidrógeno; aplique un tratamiento térmico antes de soldar y manténgalo por 2 horas al terminar de soldar o aplique un tratamiento térmico inmediatamente después de soldar. |
| Grietas en caliente | Reduzca la entrada de calor; deposite capas delgadas; cambie el metal base y/o el metal de relleno. |
| Baja ductilidad | Use tratamiento térmico para antes de soldar; recocer el metal base antes de soldar. |
| Elevados esfuerzos residuales | Vuelva a diseñar el ensamble; cambie la secuencia de aplicación de la soldadura; aplique tratamiento térmico intermedio para relevado de esfuerzos. |
| Alta templabilidad | Precaliente; aumente la entrada de calor; trate con calor sin dejar que enfríe a la temperatura del lugar |
| Microestructura en fase frágil | Trate con calor la solución antes de soldar. |

4.3.2 Inclusiones

Las inclusiones son definidas como "materiales sólidos extraños atrapados, tales como escoria, fundente, tungsteno o óxido". Las inclusiones pueden encontrarse como partículas simples, partículas alineadas o partículas agrupadas. Las inclusiones se encuentran frecuentemente sobre la superficie de la soldadura o a lo largo de los pies de la soldadura debido a una técnica de limpieza inadecuada. Las inclusiones de tungsteno son usualmente subsuperficiales. Abajo se muestran algunos ejemplos de inclusiones. Las inclusiones superficiales pueden ser detectadas por medio de la técnica de inspección visual; mientras que las inclusiones subsuperficiales requieren de una inspección mediante las técnicas de inspección con ultrasonido o radiografía.

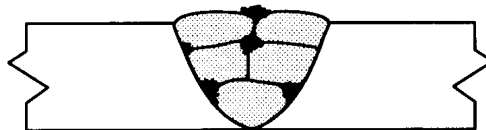


Ilustración 4.9- Inclusiones

Para reparar las zonas con inclusiones superficiales es necesario que estas se remuevan con esmeril o rectificador, aplique soldadura en las zonas afectadas si se requiere, y vuelva a inspeccionar las soldaduras al término de la reparación, por medio de la técnica de inspección no destructiva más adecuada. Remueva las inclusiones subsuperficiales esmerilando o rectificando, seguido de una reparación y reinspección de la soldadura.

| Causas comunes y solución para evitar la aparición de inclusiones de escoria | |
|--|--|
| Causas | Soluciones |
| falta de remoción de escorias | Limpieza de la superficie previa a la aplicación de cada cordón de soldadura. |
| Óxidos refractarios atrapados | Limpie con cepillo de alambre mecánico antes de la aplicación de cada cordón de soldadura. |
| Presencia de tungsteno en el metal soldado | Evite el contacto del electrodo de tungsteno con la pieza de trabajo; use electrodos largos. |
| Diseño de la unión inadecuada | Aumente el ángulo de la ranura de la unión. |
| Inclusiones de oxido | Emplee una protección de gas apropiada. |
| Escorias ahogadas delante del arco | Repetir el trabajo evitando la pérdida de control de la escoria. |
| Mala manipulación del electrodo | Cambie el electrodo o el fundente para mejorar el control de la escoria. |
| Fragmentsos de revestimiento atrapados | Use electrodos en buen estado |

4.3.3 Fusión Incompleta

La fusión incompleta se define como "una discontinuidad en la soldadura en la cual no se logró la fusión entre el metal soldado y las caras de los cordones de soldadura adyacentes". La fusión incompleta (IF) puede ocurrir tanto en soldaduras de ranura como en soldaduras de filete. El término aplica en las soldaduras de filete cuando la soldadura no llega a extenderse hasta la raíz de la unión. Observe la siguiente figura

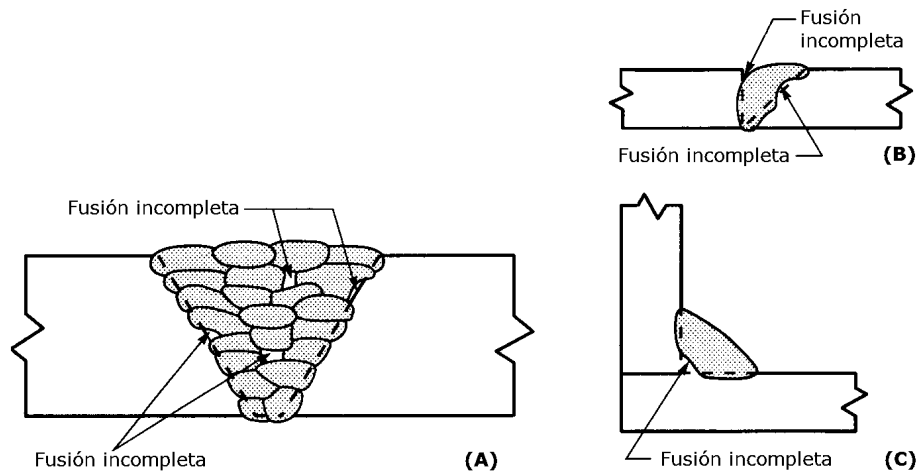


Ilustración 4.10- Fusión incompleta

Es posible detectar las zonas con fusión incompleta bajo la técnica de inspección visual si la discontinuidad se encuentra sobre la superficie; una iluminación con la inclinación apropiada y unos lentes de aumento 10x son de gran ayuda para detectar este tipo de

discontinuidades. Generalmente, la falta de fusión es subsuperficial y ésta sólo se puede descubrir con los métodos de inspección de ultrasonido y radiografía.

Para reparar este tipo de discontinuidad es necesario remover las áreas afectadas mediante esmerilado o rectificando, seguidos por la reparación de la soldadura y una nueva inspección, al término de la reparación.

| Causas comunes y soluciones para evitar la aparición de discontinuidades por fusión incompleta | |
|--|---|
| Causas | Soluciones |
| Entrada de calor insuficiente, tipo o tamaño de electrodo incorrecto, diseño de la unión impropio o gas de protección inadecuado | Siga correctamente la especificación del procedimiento para aplicación de soldadura. |
| Posición incorrecta del electrodo | Mantenga el electrodo en la posición apropiada. |
| Metal soldado delante de arco | Repetir el trabajo, reducir la corriente o aumentar la velocidad de avance al soldar. |
| Óxidos o escoria atrapada en la ranura o en la cara de la soldadura | Limpie la superficie de la soldadura antes de aplicar el siguiente paso. |

4.3.4 Penetración incompleta de la unión

La penetración incompleta de la unión se define como "una condición de la unión de la raíz en una soldadura de ranura en la cual el metal soldado no se extiende en todo el espesor de la unión". Note que este tipo de discontinuidades ocurren únicamente en soldaduras de ranura. Ejemplos de penetración incompleta de la unión (IJP) se muestran en las siguientes figuras

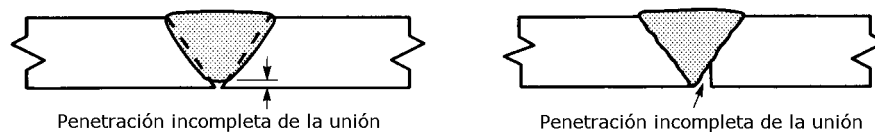


Ilustración 4.11- Penetración incompleta de la unión

La penetración incompleta de la unión puede detectarse fácilmente por medio de la técnica de inspección visual si se tiene acceso a la raíz de la soldadura de ranura; con asistencia de una iluminación a una inclinación apropiada. Para soldaduras de ranura cuya raíz no sea accesible, será necesario auxiliarse de los métodos de inspección de ultrasonido y de radiografía.

Reparación de la penetración incompleta de la unión, cuando se tiene acceso a la raíz de la ranura soldada

1. Esmerile o rectifique la raíz hasta que adquiera una forma de ovalo
2. Rellene nuevamente con soldadura y al término de ésta inspecciónese nuevamente por medio de algún método de prueba no destructiva apropiada

Reparaciones de falta de penetración, cuando no se tiene acceso a la raíz

1. Esmerilar o rectificar por el lado de la cara de la soldadura removiéndola completamente hasta dar con la raíz de la unión
2. Suelde nuevamente la unión, y al término de ésta inspecciónese nuevamente por medio de algún método de prueba no destructiva apropiada

| Causas comunes y soluciones para evitar la falta de penetración | |
|--|---|
| Causas | Soluciones |
| Cara de la raíz demasiado aperaltada o abertura de raíz insuficiente | Efectúe la preparación de la unión apropiadamente. |
| Entrada de calor insuficiente | Siga la especificación del procedimiento para aplicación de soldadura. |
| Escoria ahogada delante del arco de la soldadura | Ajuste el electrodo a la posición de trabajo. |
| Diámetro de electrodo demasiado grande | Emplee electrodos de diámetro pequeño en el paso de raíz o aumente la abertura de raíz. |
| Desalineamiento de la soldadura por el otro lado | Mejore la vista de la soldadura por el otro lado. |
| Falta de preparación del otro lado cuando se especifique | Vacíe la soldadura por el otro lado de la unión para aplicar metal sólido, si se requiere por la especificación del procedimiento para aplicación de soldadura. |
| Puente o raíz abierta(sin rellenar con soldadura) | Amplíe la abertura de raíz o use electrodos del diámetro apropiado al aplicar el primer paso. |

4.3.5 Traslape

El traslape es definido como "el desplazamiento del metal soldado más allá del pie o de la raíz de la soldadura". En la ilustración 4.12 se muestran ejemplos de la discontinuidad tipo traslape representada en soldaduras de filete y de ranura:

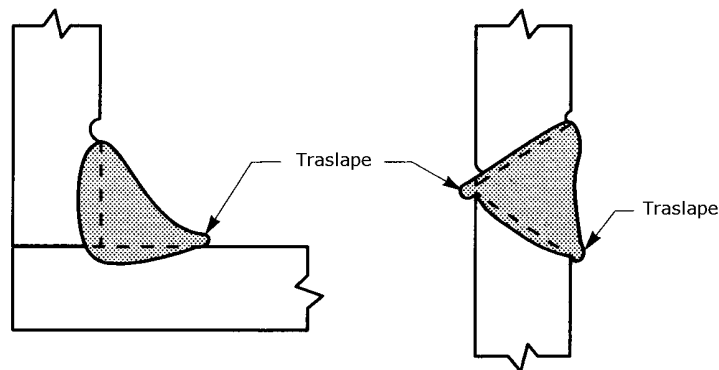


Ilustración 4.12- Traslape

La detección de los traslapes normalmente son descubiertos mediante la técnica de inspección visual cuando estas se encuentran expuestas en la superficie; con la ayuda de iluminación a la inclinación apropiada y lentes de aumento de 10x. Las técnicas de inspección con ultrasonido y de radiografía suelen emplearse al inspeccionar zonas de difícil acceso.

Las reparaciones consisten en remover la discontinuidad por medio de esmerilado o rectificado como mínimo, llegando a ser necesaria en algunos casos la reparación total del

área esmerilada, seguido de una nueva inspección por algún método de prueba no destructivo.

| Causas comunes y soluciones para evitar la aparición el traslapo | |
|--|--|
| Causas | Soluciones |
| Velocidad de avance lenta | Aumente la velocidad de avance. |
| Deficiente manipulación del electrodo | De entrenamiento adicional al personal soldador. |
| Caída del metal soldado por efecto de la gravedad | De entrenamiento adicional al personal soldador. |

4.3.6 Porosidad

La porosidad es definida como "discontinuidades tipo cavidades formadas por gas atrapado durante la solidificación o durante el proceso de depósito por rocío térmico". La porosidad puede ser superficial o subsuperficial, en forma de una simple cavidad, alineada o agrupada, y son representadas como se indica en las siguientes figuras:

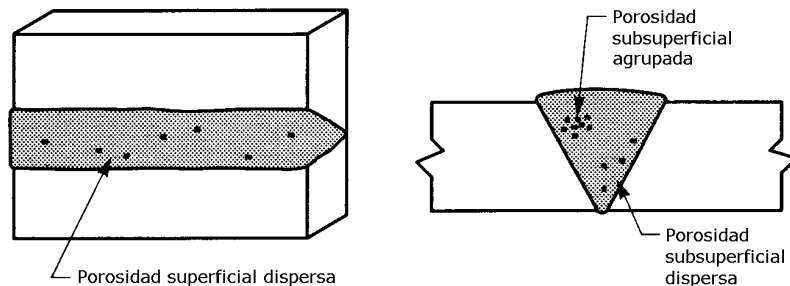


Ilustración 4.13- Porosidad

La reparación de los poros consiste en remover la zona afectada por medio de esmerilado o rectificad, y aplicación de soldadura en estas zonas después de haber sido descubiertas las discontinuidades en toda su extensión, seguidas por una nueva inspección utilizando la técnica de inspección no destructiva más apropiada.

| Causas comunes y soluciones para evitar la aparición de porosidades | |
|--|--|
| Causas | Soluciones |
| Presencia abundante de hidrógeno, nitrógeno o oxígeno en la atmósfera al soldar | Use procesos de soldadura de bajo hidrógeno; utilice metales de relleno con alto contenido de desoxidantes; incrementar el flujo de gas de protección. |
| Alto grado de solidificación | Use tratamiento térmico para antes de soldar o aumente la entrada de calor al soldar. |
| Metal base sucio | Limpie las caras y las superficies adyacentes a la unión. |
| Metal de aporte sucio | Limpie cuidadosamente el metal de aporte al extraerlo de su empaque y almacenarlo en una área limpia. |
| Longitud de arco, corriente de soldar o manipulación del electrodo incorrectos | Cambie las condiciones y la técnica de soldar. |
| Volatilización del zinc del latón | Emplee como metal de relleno una mezcla de cobre y silicón; reduzca la entrada de calor. |
| Acero galvanizado | Remueva el zinc antes de soldar. Use electrodos 6010 y manipule el calor del arco para volatilizar el zinc delante del charco de metal fundido. |
| Exceso de humedad en el revestimiento del electrodo o en la superficie de la unión | Emplee los procedimientos recomendados para la cocción y almacenaje de los electrodos. Precaliente el metal base. |
| Alto contenido de azufre en el metal base | Usar electrodos con reacciones de escorificado básicos. |

4.3.7 Socavados

Los socavados se definen como "una ranura producida por derretido del metal base adyacente al pie o a la cara de la soldadura y dejada sin rellenar con metal de aporte". Ejemplos de este tipo de discontinuidad se muestran en las siguientes figuras

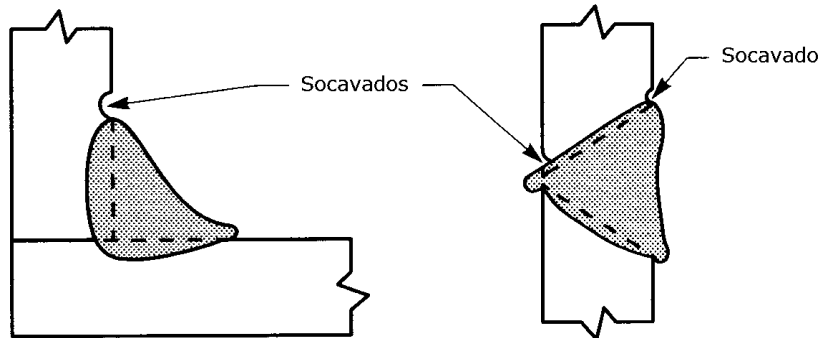


Ilustración 4.14- Socavados

La detección de socavados en la superficie son fáciles de localizar mediante la técnica de inspección visual empleando una iluminación con un ángulo de inclinación apropiado. La introducción de un accesorio con punta, en la ranura calificada como socavado suele ser una manera de determinar su existencia. Las dimensiones del socavado pueden ser determinadas con precisión usando un calibrador como el que se muestra en la siguiente figura. Para la detección de socavados localizados por el otro lado de uniones soldadas de ranura en donde el acceso a la raíz no es posible se hace necesario el empleo de las técnicas de inspección no destructivas ultrasonido y radiografía.

Medidas para fijar el calibrador sobre el metal base. Fije la punta del calibrador en el fondo del socavado. Lea la profundidad en la escala a la cual apunta el calibrador durante la medición. Apriete el tornillo de fijación para obtener la lectura de referencia posteriormente.

Para reparar los socavados normalmente se requiere de un ligero rectificado y la aplicación de metal de aporte en la ranura dejada sin rellenar.

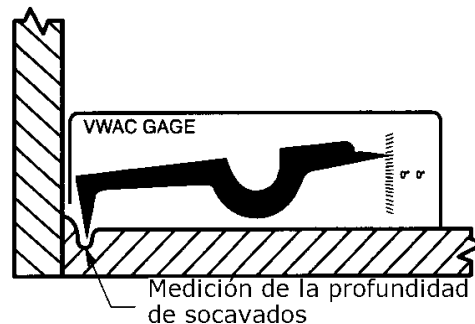
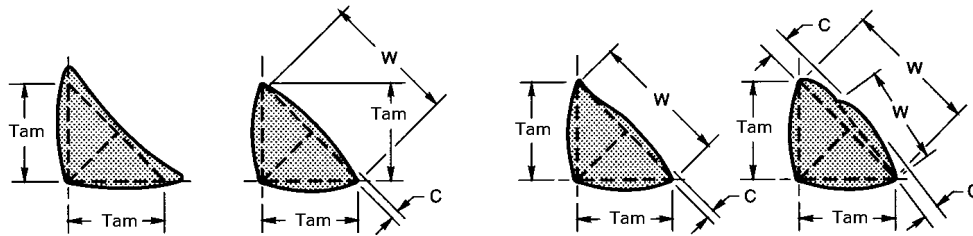


Ilustración 4.15- Uso de calibrador de soldaduras

| Causas comunes y soluciones para evitar la aparición de socavados | |
|---|--|
| Causas | Soluciones |
| Corriente elevada al soldar | Reduzca la corriente de soldar. |
| Excesiva velocidad de avance | Reduzca la velocidad de avance. |
| Mala manipulación del electrodo | De entrenamiento adicional al personal soldador. |

4.3.8 Perfiles de soldadura

La inspección visual es muy útil en la determinación de los perfiles de soldadura más apropiados; actualmente las soldaduras son comparadas con requerimientos de código o especificaciones en cuanto a convexidad o concavidad a las soldaduras de filete y a refuerzo de cara y raíz a las soldaduras de ranura. Los perfiles de soldadura de la ilustración 4.16 son una reproducción del "Código de Soldadura Estructural" AWS D1.1.



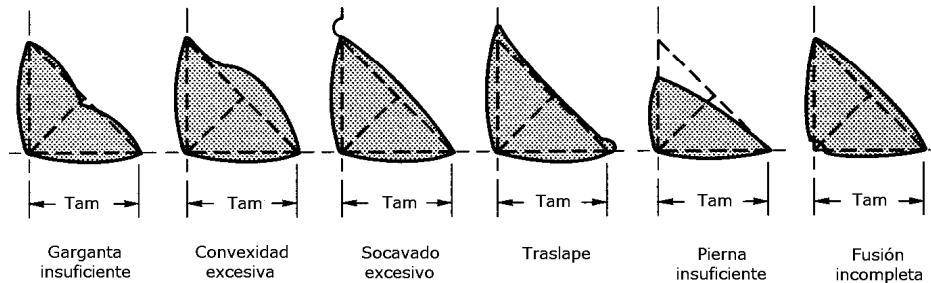
(A) Perfiles de soldadura de filete deseables

(B) Perfiles de soldadura de filete aceptables

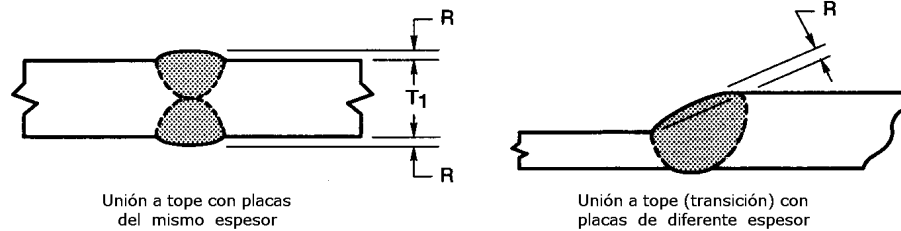
Nota: La convexidad, C, de una soldadura o la superficie un cordón individual con dimensión W no deberá exceder el valor de la siguiente tabla

Convexidad máxima en soldaduras de filete

| Ancho de la cara de la soldadura o superficie de un cordón individual, W | Convexidad máxima, C |
|--|----------------------|
| $W \leq 5/16$ pulg. (8 mm) | 1/16 pulg. (1.6 mm) |
| $W > 5/16$ pulg. a $W < 1$ pulg. (25 mm) | 1/8 pulg. (3 mm) |
| $W \geq 1$ pulg. | 3/16 pulg. (5 mm) |

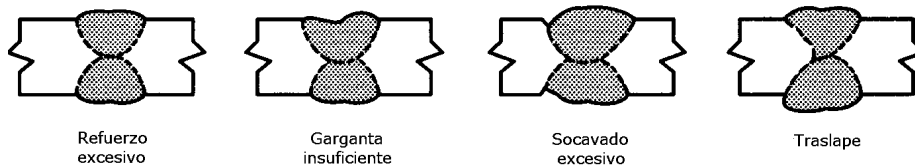


(C) Perfiles de soldadura de filete inaceptables



Nota: El refuerzo, R, no deberá exceder 1/8 pulg.(3 mm)

(D) Perfiles de soldadura de ranura aceptables, en uniones a tope



(E) Perfiles de soldadura de ranura inaceptables, en uniones a tope

Ilustración 4.16- Perfiles de soldaduras aceptables e inaceptables

Como usar el calibrador para soldaduras de filete

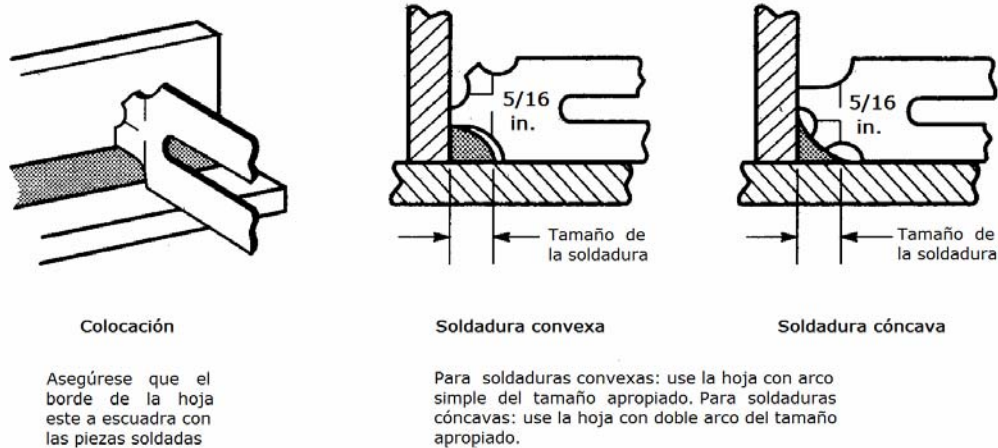


Ilustración 4.17- Medición de soldaduras de filete

4.3.9 Consideraciones dimensionales.

Uno de los aspectos más importantes de la técnica de inspección visual es la medición del tamaño y geometría de ensamblajes en estructuras metálicas soldadas. Los dibujos de fabricación deberán mostrar las longitudes necesarias en cuanto a ancho, espesores, diámetros, etc., de los diferentes componentes, así como del tamaño de las soldaduras aplicables.

El ingeniero de soldadura deberá determinar las tolerancias dimensionales a aplicar, las cuales deberán considerarse durante la medición de los componentes soldados. Si las tolerancias no son de carácter obligatorio consúltese al ingeniero de soldadura por si se requiere alguna aclaración. Frecuentemente, estas tolerancias se establecen haciendo referencia a ciertos valores "máximos", "mínimos" o a un valor comprendido entre dos límites como "1.500-1.750 pulgadas". El ingeniero de soldadura también debe tener conocimiento sobre las unidades de medida utilizadas, ya sea que estas correspondan al sistema de Estados Unidos de Norte América o al Sistema Internacional de Unidades o Sistema Métrico Decimal.

4.3.9.1 Defectos dimensionales de las soldaduras

4.3.9.1.1 Preparación incorrecta de la unión

1. La preparación incorrecta de la unión debe sujetarse a inspección visual, generalmente antes de iniciar con la aplicación de soldadura, incluye la revisión del bisel o ranura fuera de tolerancia, el desalineamiento del metal base y las condiciones de ajuste de soldaduras indeseables.
2. Los requerimientos para preparación de la unión a soldar deben ser inspeccionados para remover las costras de óxido, pintura, aceite, etc. de la unión a soldar.
3. Todas las preparaciones para uniones con penetración parcial deberán ser inspeccionadas visualmente antes de ser soldadas, para asegurar que las dimensiones de la garganta son las apropiadas.

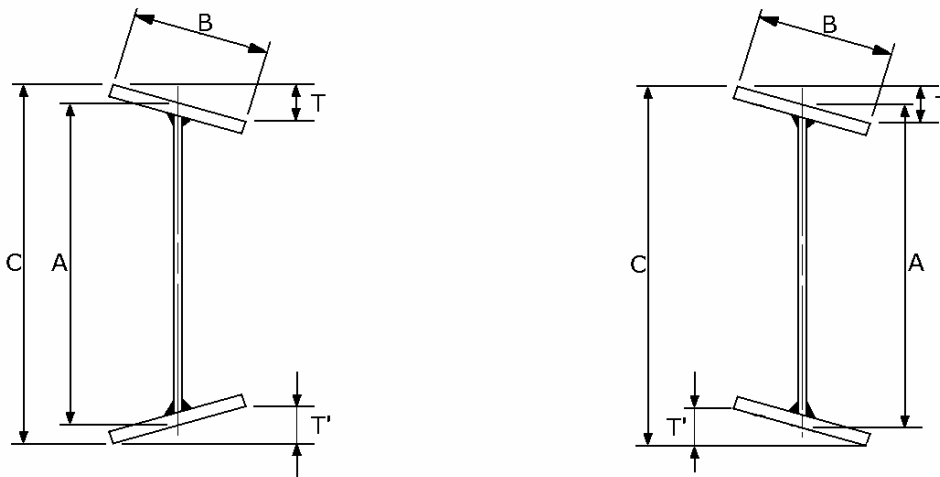
4.3.9.1.2 Tamaño de la soldadura incorrecto

1. El tamaño de la soldadura incorrecto sujeta a inspección visual incluye las dimensiones de piernas en soldaduras de filete incompletas y las dimensiones de la garganta en soldaduras de ranura inferiores al tamaño especificado.
2. El tamaño de las soldaduras de filete deberá ser determinado por medio de un calibrador para soldaduras de filete.

4.3.9.1.3 Dimensionamiento incorrecto al finalizar los trabajos

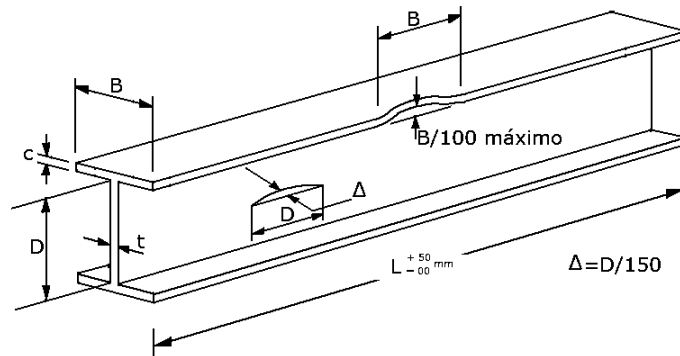
Al término de la fabricación todas las partes integrantes de algún componente soldado deben sujetarse a inspección visual, atendiendo aquellas condiciones de imprecisión en el dimensionamiento como para la detección de elementos distorsionados y la falta de cumplimiento con los requerimientos de diseño.

A continuación se incluyen las tolerancias aplicables a las diferencias de dimensionamiento, más comunes, de elementos compuestos a base de tres placas soldadas, como las tolerancias de montaje para el acero estructural destinado a edificios.

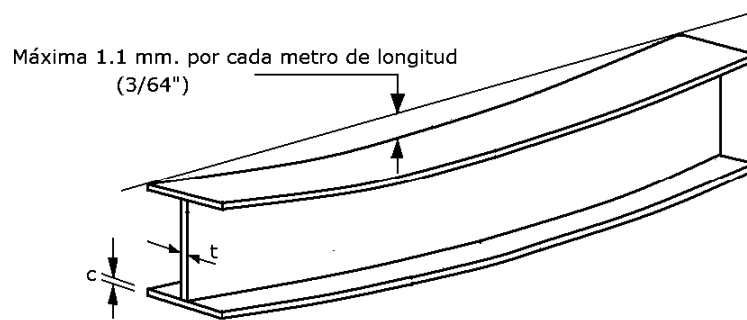


| PERALTE NOMINAL "A" en mm y pulgadas | TOLERANCIAS mm. y pulg. | | | | | |
|--|-------------------------|-------|--------------|-------|-----------------------------------|------------------------------------|
| | PERALTE "A" | | PATÍN "B" | | Fuera de paralelismo T + T' | C menos el peralte nominal A |
| | Más | Menos | Más | Menos | | |
| Hasta 305 mm. (12") inclusive | 3.2 | 3.2 | 6.3 | 4.8 | 8 | 8 |
| | 1/8 | 1/8 | 1/4 | 3/16 | 5/16 | 5/16 |
| Más de 305 mm. (12") | 3.2 | 3.2 | 6.3 | 4.8 | 10 | 8 |
| | 1/8 | 1/8 | 1/4 | 3/16 | 3/8 | 5/16 |

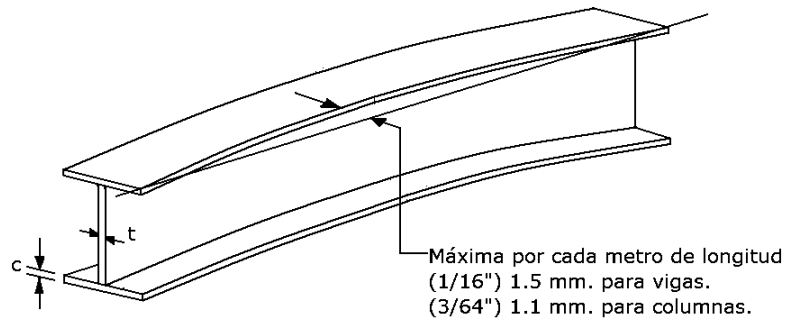
Ilustración 4.18- Vigas formadas con tres placas soldadas



COMBADURA DE PATINES Y ALMA



FLECHA VERTICAL



FLECHA LATERAL

Ilustración 4.18- Vigas formadas con tres placas soldadas (continuación)

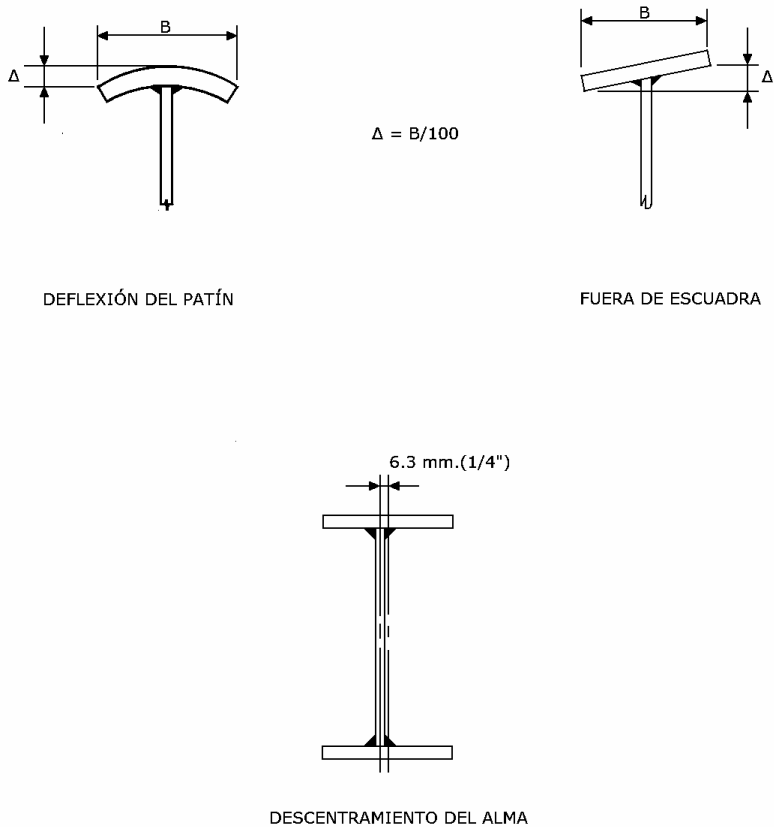


Ilustración 4.18- Vigas formadas con tres placas soldadas (continuación)

4.4 Clasificación de pruebas físicas destructivas.

Las pruebas más usuales, aplicadas para verificar la calidad de ensambles soldados, durante la calificación de procedimiento o habilidad del personal soldador se exponen a continuación:

- Prueba de tensión
- Prueba de dureza
- Prueba de dobléz
- Ensaye de fractura por impacto
- Pruebas efectuadas a las soldaduras de filete

4.4.1 Prueba de tensión.

El ensaye de tensión es la prueba física comúnmente empleada para evaluar las propiedades mecánicas más importantes en los materiales. Mediante este ensaye podemos obtener información acerca de la plasticidad, resistencia mecánica y fractura de todo tipo de materiales que presentan cierto grado de ductilidad.

Una probeta de dimensiones preestablecidas se somete a una carga axial uniforme que se incrementa gradualmente, la carga aplicada y el desplazamiento o alargamiento producido en la probeta son medidos y en muchos casos graficados.

A partir de la curva esfuerzo-desplazamiento se construye una gráfica de esfuerzo nominal contra deformación nominal.

El esfuerzo nominal se define como la relación que existe entre la carga aplicada y el área transversal inicial.

Parámetros que proporciona la curva esfuerzo-deformación.

1. Límite elástico.
2. Resistencia máxima a la tensión
3. Esfuerzo de ruptura
4. Módulo de Young
5. Deformación elástica
6. Deformación uniforme
7. Alargamiento final
8. Reducción en el área
9. Módulo de resiliencia
10. Módulo de tenacidad
11. Aspecto y morfología de la fractura

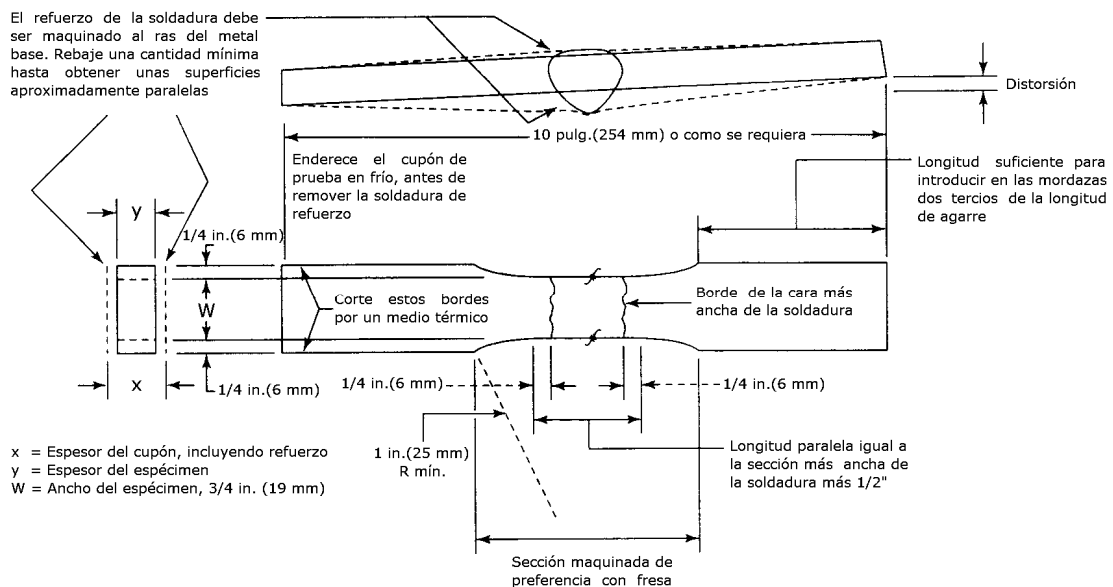


Ilustración 4.19- Placa de sección reducida para prueba de tensión

Antes de llevar a cabo la prueba de tensión deben ser medidos tanto el ancho como el espesor de la sección reducida. El espécimen deberá hacerse ceder bajo una carga a tensión y la máxima carga aplicada debe ser registrada. El área de la sección transversal

se obtendrá multiplicando el ancho por el espesor de la sección reducida del espécimen. La resistencia a tensión deberá obtenerse dividiendo la carga máxima por el área de la sección transversal.

La resistencia obtenida de la prueba de tensión no deberá ser menor que la resistencia mínima especificada para el metal base usado.

4.4.2 Prueba de dureza

La dureza de un material generalmente se define como la capacidad para resistir raspaduras o penetración. Es una de las propiedades con la que más debe familiarizarse el soldador para aplicar el sistema de soldadura más adecuado en previsión de contratiempos.

El calor de la soldadura puede cambiar la dureza del metal base, resultando mayor dureza entre el metal depositado por la soldadura y el metal base.

Una diferencia en la dureza indica, generalmente, desemejanza en resistencia y otras propiedades.

La metalografía enseña con la soldadura las causas de semejantes cambios y cómo controlar la dureza.

La razón de probar la dureza es para conocer otras propiedades. Por ejemplo, la resistencia a tensión tiene estrecha relación con la dureza. La dureza de dos metales similares en composición, tiene alta resistencia a la tensión, baja ductilidad y más resistencia al desgaste. Alta dureza indica también baja resistencia al impacto, aunque algunos metales cuando son tratados apropiadamente, tienen ambas cualidades: alta dureza y buena resistencia al impacto.

La prueba Brinell es el método comercial más antiguo. Una esfera de acero de 10 mm de diámetro, se presiona sobre la superficie del metal sujeto a prueba, con un peso, encima, de 3000 kg. El diámetro de la huella impresa es medido mediante microscopio y el resultado se convierte en números de la tabla Brinell.

Acero suave es el número 100 Brinell y el resistente a la mordida de una lima es el 600, aproximadamente, los que se conocen con las iniciales BHN (Brinell Hardness Number).

La prueba de dureza Rockwell se usa en inspecciones, siendo de las que dejan identificación, pero con menos penetración, pues la carga es menor que en la prueba Brinell.

El método Rockwell consiste en colocar la pieza de prueba sobre la mesa de la máquina, y aplicarle un cono con punta de diamante presionado por un peso de 150 kg. La profundidad de la penetración de la punta de diamante en la pieza se registrará en un manómetro, escala C; denominándose dicha lectura como dureza RC.

4.4.4 Ensaye a la fractura por impacto

Es la capacidad de un metal para soportar un repentino y fuerte golpe.

Un metal puede mostrar una buena resistencia a la tensión e igualmente buena ductilidad en una prueba normal y, sin embargo, romperse con un repentino y fuerte golpe. Más aún, la rotura puede ser de las calificadas como por cristalización y no obstante la rotura se debe a baja resistencia al impacto.

Los ensayos más populares son los ensayos Charpy e Izod, que son pruebas de flexión por impacto. Ambos son similares y la diferencia entre ellos radica en la geometría y en la manera en que se sujeta la probeta.

El método consiste en medir la energía absorbida por una probeta ranurada, de dimensiones preestablecidas que es golpeada con un martillo oscilante de masa conocida.

Información que proporciona el ensaye:

1. Energía de impacto absorbida. Denominada resiliencia. Es la energía empleada en el proceso de fractura. Se puede expresar en N-m, Joules, kgf-m ó lbf-pie. Este parámetro se lee directamente en la carátula de la máquina de impacto. Es importante señalar que la energía medida mediante este ensayo es una energía relativa y por lo tanto no puede emplearse en cálculos de diseño.
2. Apariencia de la fractura. La apariencia de la fractura es una estimación del comportamiento dúctil/frágil de los metales. Se determina evaluando las proporciones de cada tipo de fractura que presenta la probeta ensayada. En ASTM E23 se emplea un patrón de comparación para estimar las cantidades de fractura dúctil, la cual se localizará al centro de la fractura.
3. Ductilidad. Se evalúa midiendo la contracción que sufre la probeta en la base de la ranura.

4.4.5 Pruebas efectuadas a las soldaduras de filete

Estas pruebas normalmente son usadas para determinar el tamaño, contorno y grado de solidez de las soldaduras de filete.

Este tipo de pruebas únicamente se llevan a cabo cuando es requerido por los documentos de contrato, puesto que las propiedades mecánicas de estas soldaduras se consideran calificadas al realizar las pruebas necesarias a las soldaduras de ranura, de acuerdo a AWS D1.5-96.

4.4.5.1 Macro-examinación

Es una prueba en la cual un espécimen es preparado con un acabado fino, al ácido, hasta obtener una clara definición del metal soldado y la zona afectada por el calor.

4.4.5.2 Prueba a la fractura

Esta prueba consiste en aplicar una carga lateralmente al extremo de la placa inferior, de una unión en T, de manera que la raíz de la soldadura se someta a tensión. La carga deberá ser incrementada constantemente hasta que el espécimen se fracture o se flexione totalmente, sobre si mismo.

CAPÍTULO 5

Comparativa entre perfiles laminados y perfiles armados

5.1 Introducción:

En el presente capítulo se sientan las bases que determinan el uso más frecuente de los perfiles estructurales armados desplazando el uso de perfiles estructurales laminados, de fabricación comercial.

Los perfiles estructurales se definen como aquellos que al menos una de sus secciones realizadas laminadas, patines, tiene una dimensión de 3 pulgadas (75 mm.) o mayor, en concordancia con la especificación ASTM A6/A6M.

La mayor parte de los aceros estructurales usados en la construcción de edificios consisten en perfiles laminados. En los puentes, se utilizan mucho las placas, ya que las vigas que salvan claros de más de 30 metros son generalmente compuestas.

De acuerdo con el instituto norteamericano de acero para la construcción (American Institute of Steel Construction, AISC) los puentes de acero más simples consisten en vigas IR laminadas o de patín ancho (perfil W de acuerdo a notación definida en especificación ASTM A6/A6M).

Pueden obtenerse reducciones en el peso del acero, pero con mayores costos por concepto de mano de obra, añadiendo cubreplacas en el área de momentos máximos, para dar continuidad, en algunos claros se utiliza una losa de concreto que hace la función de una placa de cubierta (construcción compuesta) o a partir de una combinación de los dos métodos. Los principios de diseño y los detalles son esencialmente idénticos a los considerados en el diseño de trabes armadas.

Los diseños estándares de la administración federal de caminos de norteamérica utilizan perfiles W 36 X 245 (IR 914 X 365.2) para los siguientes claros máximos:

| | |
|--|-----------------|
| Claros simples sin cubreplacas | 20 metros |
| Claros simples, compuestos y con cubreplacas soldadas | 30 metros |
| Claros continuos con cubreplacas soldadas y empalmes con tornillos de alta resistencia | 25-30-25 metros |

Al diseñar por el método elástico se usan por lo general los perfiles IR como vigas. A veces, se utilizan perfiles I estándar, IE, y hasta canales, CE, dependiendo del lugar, modo de conexión al resto de la armadura, y las cargas a soportar. Los perfiles IR, que tienen patines relativamente anchos, son por lo general más estables en relación con el pandeo lateral y casi siempre son más económicos en términos de peso que cualesquiera otros perfiles producidos.

El manual del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, IMCA, contiene las características de los perfiles laminados de mayor aplicación en la fabricación de estructuras metálicas, los cuales se identifican bajo la siguiente notación:

| Perfil | Designación de perfiles laminados | |
|----------------------------|-----------------------------------|-------------|
| | IMCA | ASTM A6/A6M |
| I rectangular | IR | W |
| I estándar | IE | S |
| C estándar | CE | C |
| Ángulo de lados iguales | LI | L |
| Ángulo de lados desiguales | LD | - |

Tabla 5.1- Notación de perfiles estructurales laminados

En el manual IMCA se enlistan los perfiles I rectangulares, conocidos como perfiles W bajo la notación norteamericana, de fabricación comercial como aquellos que pueden obtenerse únicamente sobre pedido, IR 102 X 19.4 (102 milímetros de peralte con un peso de 19.4 kilogramos por metro de longitud) hasta IR 914 X 447.2 (914 milímetros de peralte con un peso de 447.2 kilogramos por metro de longitud). Los perfiles más pesados disponibles son los perfiles para columnas gigantes de hasta IR 914 X 1086 (914 milímetros de peralte con un peso de 1086 kilogramos por metro de longitud).

5.2 Beneficios de los perfiles armados

El uso de la soldadura permite a los arquitectos e ingenieros estructuralistas diseñar con amplia libertad, para desarrollar y utilizar modernos principios de diseño económicos, como de emplear los conceptos más elementales o de forma y proporción más atrevidos para satisfacer las necesidades de mayor valor estético.

La construcción con soldadura no impone ninguna restricción para hacer realidad las ideas de los diseñadores. En este contexto la fabricación de secciones curvas (Ilust. 5.1) se realiza con relativa facilidad, pues todo el problema se reduce en la obtención de los patines con la geometría requerida. Durante el ensamble las placas de los patines serán mantenidas firmemente contra el alma. Al aplicarse en forma alternada las cuatro soldaduras de filete, para unir los patines con el alma respecto al eje neutro de la trabe, se evita cualquier problema de distorsión probable.

Por el contrario, el rolado de perfiles laminados (ángulos, vigas IR, canales CE, secciones T, tubería, perfiles tubulares, rieles, etc.) requiere de cuidados especiales, como el control del calor aplicado y la reducción de las zonas afectadas por el mismo, al estar expuesto a la presencia de cierta desviación debido a algún error durante la ejecución del trabajo y al manejo mismo de tales elementos, es inevitable. Además de la afectación irreversible de las propiedades mecánicas y físicas, producto de la modificación del arreglo de grano durante cierta temperatura crítica.

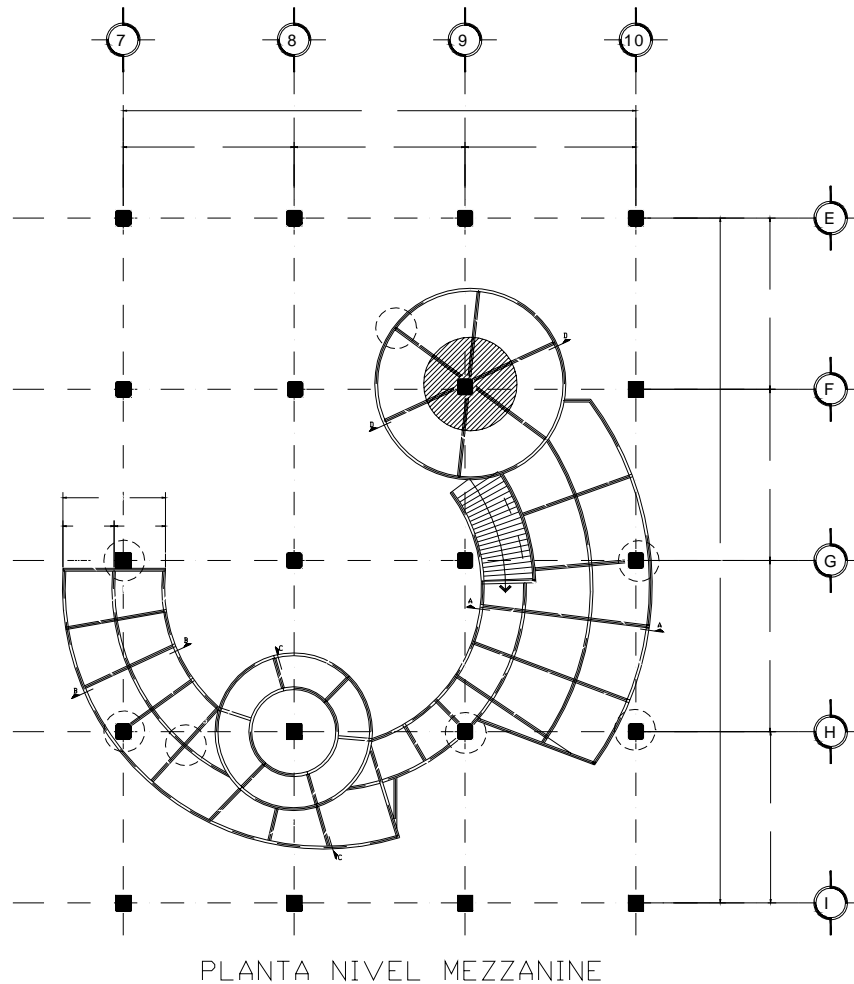


Ilustración 5.1- Estructuración de plataforma de exhibición

5.3 Tipos de perfiles armados.

5.3.1 Traveses armados a base de placas soldadas

El término trabe armada se aplica a elementos estructurales con una sección transversal en forma de I, conformados a base de placas y ángulos o de placas exclusivamente que van remachados, atornillados o soldados. Las traveses armadas, del tipo de alma abierta y alma llena, se usan como elementos primarios de soporte en muchos sistemas estructurales: como vigas continuas o articuladas para claros múltiples; como traveses rigidizantes en puentes de arco y puentes colgantes (claros mayores de 550 metros) y en puentes del tipo de marco rígido.

Es muy frecuente que en construcciones que requieren salvar claros amplios y que serán sometidas a cargas pesadas durante su operación, los perfiles laminados no satisfagan los requerimientos de diseño. En tales casos, los miembros estructurales armados, conformados a base de placas o perfiles, son los más adecuados.

La aplicación más valiosa, de las traveses armadas en puentes carreteros y en vías férreas, es como traveses armadas de paso superior en combinación con cubiertas de concreto, como traveses con cubiertas de acero (cubiertas ortotrópicas), como traveses de cubierta abierta utilizados en ramales ferroviarios y en desvíos industriales y como traveses armadas de paso inferior, las cuales están ahora prácticamente restringidas a puentes ferroviarios donde esté limitado el peralte permisible de la estructura.

El uso de traveses de sección reducida o variable se ha extendido especialmente en la estructuración de techos que cubren grandes áreas en donde se desea reducir el número de columnas interiores o eliminarlas por completo. Por otro lado, la sección de mayor peralte de las traveses se coloca en donde realmente se requiere (región de máximos momentos mecánicos).

El tipo más simple de traveses armada consiste en una traveses laminada reforzada mediante la adición de cubreplacas en sus patines, como se muestra en la Ilust. 5.2a.

La Ilust. 5.2b muestra una viga reforzada de manera similar, pero con un canal reforzando el patín superior para proporcionarle mayor resistencia al pandeo lateral. Este tipo de construcción es utilizado con frecuencia en naves de tipo industrial para recibir rieles de grúas viajeras, considerando que la operación de estas grúas transfieren fuerzas horizontales sustanciales hacia la traveses.

La Ilust. 5.2c muestra el tipo de viga utilizada en construcción compuesta en donde las losas de piso a base de concreto, recibidas por conectores de cortante, actúan como parte del patín superior. El patín inferior puede ser reforzado o no por una cubreplaca.

Las traveses de gran peralte, armadas a base de placas, se muestran en las Ilust. 5.2d y 5.2e. La figura 5.2d muestra una traveses a base de tres placas, una en alma y una para cada uno de los dos patines. Generalmente el espesor de cada patín se mantiene constante, pero cuando se componen de placas de diferente espesor estas son ensambladas una tras otra con soldaduras de ranura, para proporcionar mayor resistencia a las áreas de mayor deflexión. Las traveses cuadradas, Ilust. 5.2e, compuestas a base de dos patines y dos almas son utilizadas particularmente donde se requiere estabilidad lateral y resistencia a la torsión.

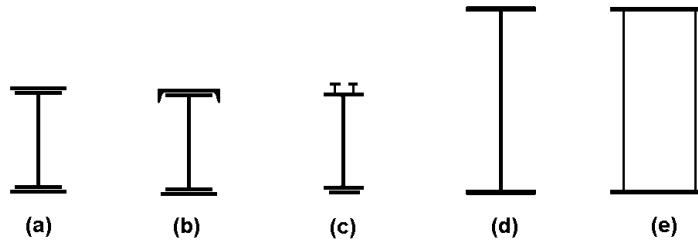


Ilustración 5.2- Perfiles de traveses típicos

En claros de gran extensión suelen utilizarse con mayor frecuencia armaduras en lugar de traveses. Por su mayor peralte es normal que las armaduras brinden mayor rigidez contra la deflexión, que las vigas laminadas o las traveses armadas a base de placas.

Por lo general las traveses armadas se fabrican soldando dos placas de patín a una placa de alma, ilustración 5.5a. Los materiales de aporte de uso más común presentan una resistencia mínima a la tensión, en la condición de depósito de soldadura, del orden de 60,000 a 70,000 lbs/pulg². En los tiempos en que la mano de obra era más barata, y cuando el estado del arte de soldar no había progresado mucho, se fabricaban las traveses usando ángulos remachados a una placa de alma, y usando una o más cubreplacas remachadas también a los ángulos del patín, ilustración 5.3b. Las traveses en cajón, que consisten de dos placas paralelas de alma, separadas una cierta distancia, tienen cierta aplicación en los puentes.

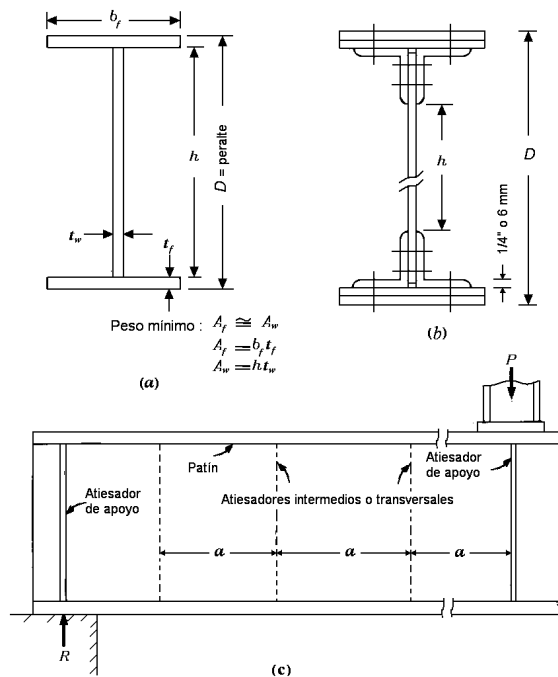


Ilustración 5.3- Croquis y detalles de traveses armados

Los atiesadores verticales se requieren generalmente cuando la placa del alma es muy delgada, la relación h/t_w es grande, y u o el esfuerzo cortante en el alma es relativamente alto. Los atiesadores reducen de manera efectiva la relación a/b y aumentan la capacidad a cortante con respecto al pandeo por cortante del alma. Las especificaciones requieren casi siempre que se coloquen atiesadores debajo de las cargas concentradas, y en los puntos de apoyo de las traveses armadas, sin importar la intensidad del cortante. Los requerimientos de atiesadores a lo largo del claro (atiesadores transversales intermedios) dependen del esfuerzo cortante y de las proporciones del alma. El espaciamiento " a " de los atiesadores depende de la relación h/t_w , donde h es la distancia libre del alma entre los patines. La distancia se medirá entre placa de patín a placa de patín, para una trabe soldada que consista de tres placas. En cambio la distancia libre del alma para las traveses que usan ángulos de patín se tomará de acuerdo a la ilustración 5.4b.

Son comunes peraltes de 4 a 8 pies. En términos de la relación peralte/claro (D/L), el rango es de 1/10 a 1/25, con la mayor parte de los valores del orden de 1/12 a 1/15. Claros más grandes en los edificios puede que requieran el uso de una armadura. En los puentes de carretera, cuando el claro excede de 50 a 60 pies (15 a 18 m) se usan las traveses armadas y son generalmente más económicas que las armaduras para claros hasta 300 pies (100 m) o más. En general, las vigas laminadas son más económicas para claros en puentes de menos de 50 a 60 pies, y se usan con una configuración de cubierta con largueros de piso. Aunque por lo general las traveses son más económicas que las armaduras, estas últimas tienen uso todavía en muchas situaciones, debido a consideraciones estéticas, en particular cuando se requieren vías adicionales de tránsito y los miembros en servicio están formados por armaduras.

La relación D/L para puentes van desde cerca de 1/10 a un mínimo de 1/25 (como en la especificación corriente de la AASHTO). El peralte de un puente de carretera se debe de balancear con los parámetros del sitio. Por ejemplo, 12 pulgadas extra en el peralte de la trabe (300 mm) para una estructura de paso superior, que utilice relleno en los enfoques, puede requerir una cantidad sustancial de relleno extra y derechas de paso, comparada con el mayor peso de la trabe con menor peralte que requiere un mayor espesor en los patines y posiblemente en el alma.

Las traveses armadas se recomiendan para los puentes de ferrocarril con longitudes de claros de 50 a 150 pies (16 a 45 m), usando las vigas laminadas para claros más cortos. Las armaduras se usan con claros más largos. El rango común de D/L en los puentes de ferrocarril es de 1/12 a 1/20. Sin embargo, las especificaciones actualmente en uso no usan la relación D/L como criterio; se limita más bien, la deflexión calculada de la trabe bajo la carga muerta total más la carga viva, incluyendo el impacto, a $\Delta/\text{claro} \leq 1/640$.

Las traveses se fabrican en segmentos limitados por la capacidad de izaje del equipo de montaje/transporte y la capacidad de laminado del molino, para producir los tamaños de placa. Las traveses armadas soldadas se usan debido a la reducción de los costos de fabricación y al hecho de que es posible soldar las placas de patín a la del alma de un modo casi totalmente automático.

El acero A-36 es el que se usa con más frecuencia para las traveses armadas, y casi universalmente para almas y atiesadores. Las traveses continuas requieren reducción en las secciones de momento positivo y secciones con mayor peralte en las regiones de mayor momento negativo, sobre los apoyos. En este sentido al contar con un alma de peralte variable, por lo general, se requerirán atiesadores adicionales, debido a la mayor relación h/t_w que se produce. Como alternativa para el aumento del peralte de la trabe, se pueden

usar aceros de mayor resistencia en las zonas de mayores momentos. El uso de acero de mayor resistencia para el patín, ya sea en todo el claro o en las zonas locales de mayores esfuerzos da origen a una trabe armada híbrida.

En la actualidad, es una práctica aceptable el diseño y fabricación de traveses curvas horizontales a base de placas, cuando se considere necesario. Muchos puentes o pasos a desnivel han sido construidos, con el paso de los años, bajo este criterio.

Aunque existen esfuerzos de torsión dentro de las traveses curvas, estos son minimizados mediante la adición de los diafragmas que unen a las traveses. El número de diafragmas, ocasionalmente, ha ido en aumento por esta razón, y algunas veces los esfuerzos permisibles han sido reducidos ligeramente.

5.3.1.1 Traveses armados a base de perfiles laminados soldados

Las traveses armados, que incluyen vigas laminadas con cubreplacas, se usan cuando la combinación carga y claro son tales que resulta insuficiente una sección laminada corriente.

Se pueden usar secciones laminadas armados cuando el peralte total esté limitado en los edificios, y a veces se usan para puentes de carretera y ferrocarril. En las aplicaciones en edificios, cuando se encuentra limitado el peralte se pueden usar como alternativa dos perfiles laminados en paralelo. Aún cuando el peso total sea apreciablemente diferente, los costos adicionales de fabricación (como el corte de las placas que se añaden y la soldadura de los patines) pueden producir un costo total más alto en el caso de la sección armada.

El uso creciente de vigas y traveses, fabricadas a base de perfiles laminados, están generando importantes ahorros en el diseño de puentes y edificios. Una trabe de alma abierta que reúne el momento de inercia requerido por diseño aportará un ahorro en peso de hasta un 50%. En edificios de pisos múltiples, en donde las líneas de servicios pueden pasar a través de estas vigas y traveses en lugar de ser suspendidas abajo, la altura será sustancialmente más corta. Esto trae como resultado un ahorro significativo por el costo de los materiales, columnas, recubrimientos, escaleras, etc.

5.3.2 Columnas armados a base de placas soldados

Aunque los perfiles laminados tipo IR, del grupo 4 y 5, de acuerdo con la AISC, identificados como perfiles gigantes, generalmente se han considerado para fabricación de columnas o miembros a compresión, su uso en otras aplicaciones se está diversificando. Estos perfiles pesados son reconocidos por exhibir segregación y una estructura de grano grueso a la mitad del espesor de la región del patín y el alma. Por la baja tenacidad que puede existir en estas áreas es posible que ocurra el agrietamiento como resultado del empleo de procesos de corte térmico o por la aplicación de soldadura. Este mismo tipo de problemas pueden ocurrir en miembros armados soldados. Para minimizar el potencial de falla frágil, las especificaciones más recientes de la AISC ASD incluyen disposiciones sobre requerimientos de tenacidad de los materiales, métodos de ensamblado y fabricación con materiales laminados en caliente de los grupos 4 y 5 o de secciones transversales armados soldados con un elemento de más de 2 pulgadas de espesor, destinadas a conducir esfuerzos de tensión.

En muchas situaciones, una sección armada resulta ser un diseño más práctico que el uso de un perfil laminado. Esto es especialmente cierto cuando se trata de una longitud muy

grande de columna sin apoyo lateral, lo que necesitaría el uso de uno de los perfiles laminados de mayor peso para poder cumplir los requerimientos de la relación de esbeltez, L/r (L es la longitud vertical del elemento y r el radio de giro de su sección transversal). Otro factor de primera importancia es que el radio de giro de los miembros armados se puede controlar de manera tal que se haga que el valor del radio de giro respecto a X , r_x , sea lo más parecido posible al radio de giro respecto a Y , r_y , para producir la máxima eficiencia de la sección. Esta eficiencia no se puede obtener con el uso de perfiles laminados IR normales, donde la relación r_x/r_y es a menudo de 1.5 a 5 o mayor, a menos que no se provea contraventeo con respecto al eje Y .

5.3.2.1 Columnas armadas a base de perfiles laminados soldados

Las secciones armadas, fabricadas con perfiles laminados, se usan con mucha frecuencia en armaduras de puentes y en columnas para torres de agua. Las antenas son esencialmente columnas armadas, aunque no se les considere directamente como tales. En cualquier caso, cuando se usen miembros a compresión (y tensión) en claros largos sin apoyo lateral, puede que sea necesario considerar un miembro armado.

Es algo más difícil producir una sección armada, fabricada con perfiles laminados, óptima o de peso mínimo puesto que deben satisfacer diversos parámetros de diseño, entre los que se hallan:

1. Tipos de miembros a usar, que incluyen ángulos laminados, canales, perfiles IR o IE así como segmentos de placas.
2. Distribución de los miembros básicos, incluyendo algunas limitaciones de tamaño en las dimensiones totales de la sección.
3. Los valores resultantes calculados de I_x , I_y , r_x , r_y y $KL/r_{máx}$, que producen el esfuerzo permisible de compresión.
4. La obtención de un área aceptable de sección basada en el esfuerzo permisible del paso 3, el que no se conoce hasta que se haya establecido el área.

Se requieren generalmente una o más repeticiones para finalmente desarrollar una sección satisfactoria. El número de repeticiones dependerá obviamente de:

1. Diseño de ingeniería contra el costo del material.
2. Número de secciones a fabricar; si se han de fabricar 100 secciones, puede ser considerable el ahorro de material, mientras que en la fabricación de solamente cuatro o cinco secciones, el costo de producir un diseño refinado puede ser mayor que el ahorro de material.
3. Confiabilidad de los datos de carga y uso al que se destinan los miembros armados.

En general, será satisfactorio para un miembro armado un "sobre diseño" de un 5 a un 15 por ciento.

Las secciones armadas se pueden construir usando perfiles laminados, como se ve en la ilustración 5.4, pero se construyen con más frecuencia, usando celosías, cubreplacas o listones. Se obtiene un mayor radio de giro y un uso más eficiente del acero al separar, todo lo que sea práctico, las partes que soportan las cargas (como se hace con los patines de los perfiles IR). Cuando se proceda de esta manera, es necesario interconectar las diversas partes para que actúen como una unidad de soporte de carga.

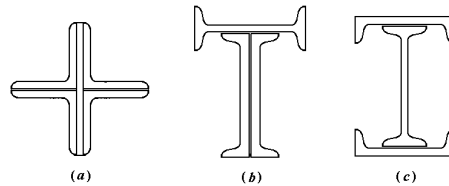


Ilustración 5.4- Perfiles armados, usando combinaciones de perfiles laminados

5.3.3 Ménsulas de sección reducida

Entre las secciones armadas se suman las ménsulas utilizadas para hacer concurrir los requerimientos de momento mecánico en marcos, ilustración 5.5. Estas producen una sección de mayor profundidad o peralte en la región de máximo momento, descendiendo hacia los extremos hasta que el momento es reducido a un valor que una sección laminada es capaz manejar. De esta manera una sección laminada de menor peralte puede ser utilizada en el resto del marco. Esta ha sido una práctica estándar en la fabricación de marcos convencionales rígido-elásticos.

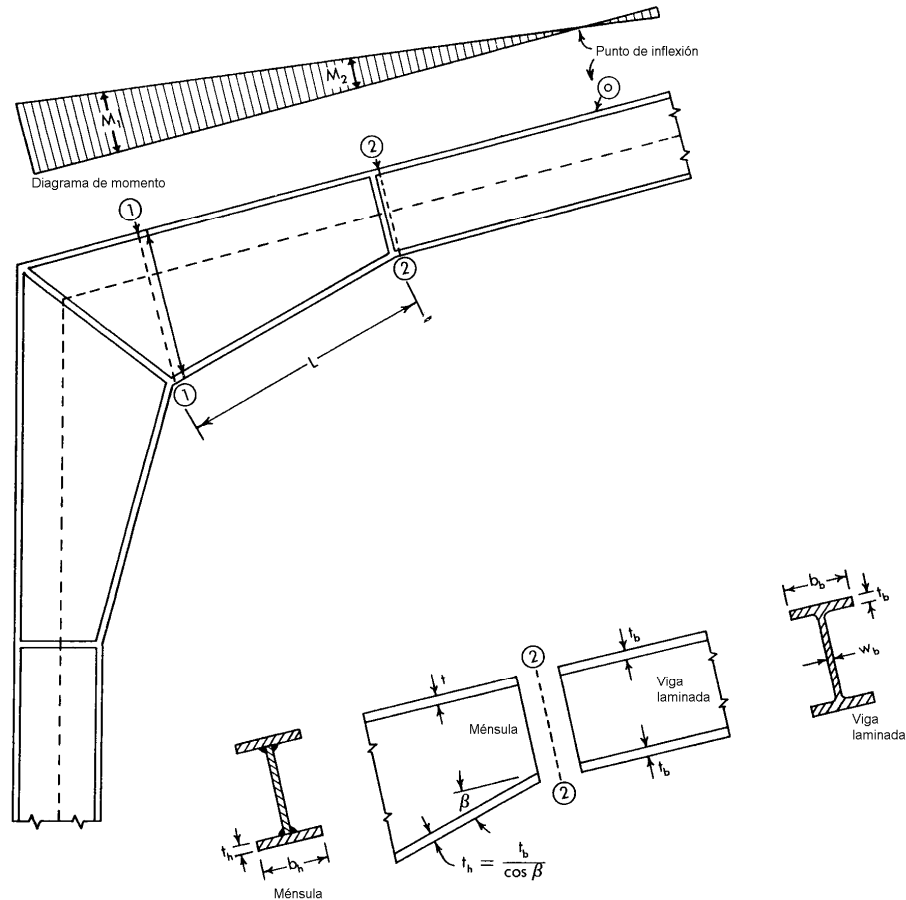


Ilustración 5.5- Ménsula de sección variable

Las ménsulas de esquina pueden exhibir escasa capacidad de rotación si la esquina se pandea lateralmente antes que las condiciones de diseño hayan sido alcanzadas.

Las ménsulas para conexiones de esquina deberán ser proporcionadas con suficiente capacidad y resistencia al pandeo de modo que se establezca una articulación plástica en la extremidad donde se une con el perfil laminado. En este tipo de estructura es recomendable el uso de la soldadura, puesto que el utilizar remaches o tornillos resulta difícil y costoso.

5.3.4 Optimización de miembros de sección variable

Actualmente se han desarrollado procedimientos de optimización estocástica para determinar secciones con características geométricas más ventajosas tomando como base la carga de servicio óptima. Comparado con los métodos de diseño tradicional fueron logrados ahorros en peso de hasta 15%.

La optimización siempre implica el cálculo del consumo de tiempo especialmente en el caso de marcos con columnas y vigas de sección variable, ilustración 5.6.

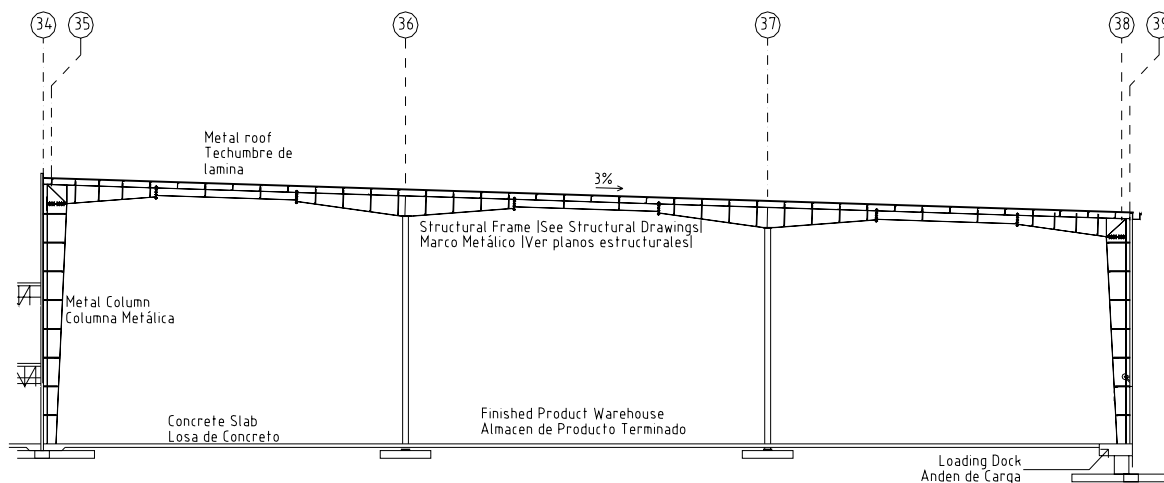


Ilustración 5.6- Marcos a base de travesaños tipo I de sección variable

5.4 Ventajas del diseño de construcciones con perfiles armados soldados

La soldadura, un método para unir el acero por fusión, se usa tanto en edificios como en puentes. Comúnmente requiere menos material de conexión que otros métodos, y en algunos casos la tranquilidad del proceso es ventajosa.

El complicado trámite para adquirir perfiles de dimensiones mayores a los de fabricación común, por considerarse de fabricación especial, como la ausencia de perfiles de sección variable en el mercado dan lugar a la gran aceptación de la soldadura dentro de la industria de la construcción.

La economía inherente al uso eficiente de la soldadura ha ayudado a compensar el crecimiento evolutivo en los precios de materiales y costos de mano de obra.

Se considera a la soldadura como el mejor método para fabricación de conexiones rígidas, cuyo resultado se refleja en vigas de sección y peso reducidos.

La disminución de la sección en las vigas puede disminuir notablemente la altura total de una edificación, disminuyendo además el peso de la estructura y por lo tanto la carga estática es considerablemente menor. Estos ahorros se ven incrementados, aún más, con la notable disminución en el tamaño de la cimentación.

El empleo de las conexiones soldadas es conveniente para el nuevo campo del diseño plástico, resultando un apreciable ahorro en peso sobre el diseño de estructuras rígidas convencionales.

Los ahorros en transporte, para el traslado de la estructura metálica, en maniobras y montaje son proporcionales con el ahorro en peso.

Conclusiones.

Como conclusión se exponen una serie de recomendaciones prácticas destinadas a contribuir en la producción de soldaduras aceptables:

1. Procure utilizar métodos seguros para obtener los resultados deseados en cualquier situación de soldadura. Siempre estudie métodos probados para calificar sus procedimientos. Recuerde, en soldaduras de campo siempre siga los parámetros de su especificación de procedimiento de soldadura (EPS) y su registro de calificación de procedimiento (RCP). Esto le ayudará a tener un mínimo de reparaciones. Si su proporción de reparaciones es alta alguien no está monitoreando la soldadura y los parámetros no han sido seguidos.

2. La experiencia es el mejor recurso durante la selección entre los diferentes métodos de soldadura aplicables. Para un trabajo excepcional es recomendable contactar a los fabricantes, distribuidores locales o a quienes tengan un amplio conocimiento sobre el área.

3. El conocimiento claro de los procesos, sus fundamentos y como aplicarlos, contribuye a hacer de estos métodos rentables y confiables para la fabricación de uniones entre metales.

4. La pérdida de resistencia química y mecánica es función de la familia a la que pertenece el metal base seleccionado.

5. El conocimiento de los diferentes mecanismos de degradación y qué aceros son susceptibles de sufrirla es útil para evitar problemas, durante su uso o puesta en servicio.

6. La adecuada selección del material base y los procedimientos de soldadura aseguran una mínima pérdida de las propiedades físicas y mecánicas en la zona afectada por el calor.

7. El diseño cuidadoso del equipo para un proceso de soldadura específico, previsto para eliminar interrupciones de trabajo significa grandes ahorros para la operación de aplicación de la soldadura.

Un simple, pero cuidadoso, análisis de los factores que controlan el tiempo de los soldadores y las interrupciones durante el trabajo revelan muchas áreas de oportunidad para mejorar significativamente la eficiencia y el rendimiento durante la aplicación de soldadura. La reducción del costo total de la producción, derivada de tal revisión, puede hasta compensar una moderada diferencia del precio de equipo de soldadura, al momento de comprarlo.

8. En la actualidad se dispone de equipos desarrollados que pueden ser programados fácilmente para aplicar soldadura automática (mediante robots) logrando obtener soldaduras de alta calidad.

9. Con el mejoramiento de los materiales de relleno, un producto puede ser especificado con un mayor nivel de confianza y ser utilizado por los fabricantes y montadores con un mínimo esfuerzo o costo adicional.

10. La calidad de las soldaduras es resultado del empleo de una técnica adaptable a las condiciones de su aplicación, de la correcta selección de parámetros vinculados con la técnica en uso y de la habilidad del personal soldador para identificar y solucionar problemas durante el proceso de su aplicación. Disponiendo de la información básica es posible dar solución inmediata a los problemas más comunes, asociados con alguna técnica de soldadura específica, sin sacrificar calidad y tiempo.

11. El conocimiento del alcance de las especificaciones de contrato aplicable (requerimientos de diseño, inspección, control de calidad, aseguramiento de calidad, detalles de unión y otros artículos relacionados con la fabricación y el montaje) garantizará el control efectivo de un tipo específico de soldadura.

12. El empleo oportuno de personal capacitado en inspección de soldaduras, antes durante y después de su aplicación, aseguran la disminución de la proporción de rechazos y reparaciones.

13. En estos días de intensa competencia, a nivel mundial, cada administrador de operaciones de soldadura debe examinar estas variables para asegurar su continua participación en la industria de la construcción.

Bibliografía General

1. American Welding Society, *Structural Welding Code-Steel*, ANSI/AWS D1.1-1998. Miami, FL: American Welding Society, 1998.
2. American Welding Society, *Standard Symbols for Welding, Brazing and Nondestructive Examination*, ANSI/AWS A2.4-1986. Miami, FL: American Welding Society, 1986.
3. American Welding Society, *Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*, ANSI/AWS A5.1-91. Miami, FL: American Welding Society, 1991.
4. American Welding Society, *Specification for Carbon Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding*, ANSI/AWS A5.17/A5.17M-97. Miami, FL: American Welding Society, 1997.
5. American Welding Society, *Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding*, ANSI/AWS A5.18-93. Miami, FL: American Welding Society, 1993.
6. American Welding Society, *Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding*, ANSI/AWS A5.20-95. Miami, FL: American Welding Society, 1995.
7. American Welding Society, *Specification for Welding Shielding Gases*, ANSI/AWS A5.32/5.32M-97. Miami, FL: American Welding Society, 1997.
8. American Welding Society, *The Everyday Pocket Handbook for Visual Inspection and Weld Discontinuities-Causes and Remedies*, Miami, FL: American Welding Society, 1996.
9. American Welding Society, *Standard Welding Terms and Definitions*, ANSI/AWS A3.0-94. Miami, FL: American Welding Society, 1994.
10. The American Society of Mechanical Engineers, *Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators*, ASME Boiler and Pressure Bessel Code An International Code, New York, NY: The American Society of Mechanical Engineers, July 1998.
11. American Welding Society, *Welding Journal*, Miami, FL: American Welding Society, November 1999.
12. American Welding Society, *The American Welder*, Miami, FL: American Welding Society, November/December 1999.
13. American Welding Society, *The American Welder*, Miami, FL: American Welding Society, March/April 2000.
14. American Welding Society, *Welding Journal*, Miami, FL: American Welding Society, October 2000.
15. American Welding Society, *Welding Journal*, Miami, FL: American Welding Society, November 2000.
16. Dirección General de Normas, *Procedimientos para Soldar Acero Estructural*, NOM-H172-1992, México, 1992.
17. Fernández, Guillermo, *Soldadura y Metalurgia*, 11ª edición, México, Ed. C.E.C.S.A, Agosto de 1984, 264 pp.
18. Merrit, Frederick, *Manual del Ingeniero Civil*, trad. Castro N. Felipe, Tomo 2, 1ª ed., México, Ed. McGraw-Hill, Septiembre de 1990.

19. Ancira E. Alonso, Manual A.H.M.S.A. para construcción con acero, México, Dirección Corporativa de Mercadotecnia y Calidad/ Grupo Acerero del Norte, Julio de 1996.
20. C.O.N.A.L.E.P., Curso de Formación de Inspectores en Soldadura, Cuautitlán Izcalli, México, Septiembre de 1997.
21. LINCOLN Capacitación, Centro de Ingeniería en Aplicación de Soldadura, México, Octubre de 1997.
22. Introducción al Control de Calidad- Prácticas no Destructivas, México, Febrero de 1984.
23. American Welding Society, Test Methods for Evaluating Welded Joints, United States of America, Ed. AWS, 2001.
24. American Welding Society, Guide for the Nondestructive Examination of Welds, United States of America, Ed. AWS, 1999.
25. American Institute Steel of Construction, Manual of Steel Construction Allowable Stress Design, 9ª edición, United States of America, Ed. AISC, 1995.
26. Bowles e., Joseph, Diseño de Acero Estructural, 1ª edición, México, Ed. Limusa, 1984.
27. American Institute Steel of Construction, Detailing for Steel Construction, United States of America, Ed. AISC, 1983.
28. American Institute Steel of Construction, Manual of Steel Construction, 8ª edición, United States of America, Ed. AISC, 1984.
29. W. Blodgett, Omer, Design of Welded Structures, 12ª edición, United States of America, Ed. The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1982.
30. S.L. Chan, Advances in Steel Structures, 1ª edición, United States of America, Ed. ELSEVIER, 1999.
31. de Buen López, Oscar, Estructuras de Acero Comportamiento y Diseño, 1ª edición, México, Ed. Limusa, 1980.

Definición de términos

1. **Acero austenítico.** Acero que contiene 0.83% de carbón a una temperatura superior a 725°C.
2. **Aleación.** Sustancia con propiedades metálicas, compuesta de dos o más elementos químicos de los cuales al menos uno es metálico.
3. **Ángulo de bisel.** Ángulo formado entre el bisel de uno de los miembros de una unión y el plano perpendicular a la superficie del mismo.
4. **Arillo de respaldo.** Respaldo en la forma con la forma de un arillo, utilizado generalmente en la soldadura de tuberías.
5. **Bisel.** Terminación del borde de una placa, determinado por el ángulo de preparación requerido.
6. **Boquilla de gas.** Dispositivo colocado a la salida de la antorcha o pistola, la cual dirige el gas de protección.
7. **Boroscopio.** Instrumento óptico para inspección de soldaduras en accesos restringidos, de difícil acceso. Instrumento de constitución rígida indispensable para observar en oquedades o zonas esquinadas. Puede combinarse con lentes y cámaras, permitiendo proteger y guardar las imágenes grabadas.
8. **Calificación de habilidad de soldador.** Demostración de que un soldador produce soldaduras de acuerdo a requerimientos de un código o estándar definido.
9. **Calificación de procedimiento.** Demostración de que las soldaduras realizadas mediante un procedimiento específico puede satisfacer los estándares prescritos.
10. **Charco de soldadura.** Volumen localizado de metal derretido en una soldadura antes de solidificar.
11. **Coalescencia.** Fusión de los materiales a soldar en un solo cuerpo.
12. **Código.** Conjunto de normas legales sistemáticas que regulan unitariamente una materia determinada. En soldadura, estándar apropiado para adoptarse por una autoridad gubernamental.
13. **Conexión tipo aplastamiento.** En las conexiones tipo aplastamiento, el esfuerzo cortante será resistido por el cuerpo, de los tornillos o remaches de alta resistencia, apoyado contra los lados de los barrenos del material del ensamble.
14. **Conexión tipo fricción.** En este tipo de conexiones el esfuerzo cortante es resistido por la fricción originada entre las superficies en contacto de las piezas del ensamble, antes de que se produzca el corte y aplastamiento de los tornillos.

15. Corte térmico. Grupo de procesos de corte que remueven el metal calentado localmente, de la pieza de trabajo.

16. Cristal piezoeléctrico. Cristales que poseen la propiedad de crear cargas eléctricas cuando se ejerce una presión sobre sus caras (efecto piezoeléctrico directo) y en el sentido inverso al aplicarle cargas eléctricas entre sus caras cambia su forma proporcionalmente al valor de la carga (efecto piezoeléctrico recíproco). En donde el primer tipo de efecto se aplica para medir presiones, deformaciones y oscilaciones, es decir, concretándonos a nuestro caso, como receptor de ultrasonido. En tanto que el segundo tipo de efecto se aplica para producir o generar presiones, deformaciones y oscilaciones, es decir como emisor de ultrasonidos.

17. Defecto. Discontinuidad o discontinuidades que por naturaleza o efectos acumulados (ejemplo la longitud total de grietas) que hacen a una parte o todo el producto incapaz de cumplir los estándares o especificaciones de aceptación aplicables.

18. Defectología. Relativo a los diferentes tipos de heterogeneidades inaceptables localizadas en uniones soldadas solidificadas.

19. Depósito de soldadura. Metal de relleno que ha sido agregado durante la soldadura.

20. Desnitruante. Elementos químicos que tienen la propiedad de atenuar o estabilizar el contenido de compuestos orgánicos que promueven el endurecimiento o envejecimiento de los metales.

21. Diseño de la unión. Definición de la forma, dimensiones y configuración de la unión.

22. Disolución. Mezclas homogéneas de dos o más sustancias. La sustancia presente en mayor cantidad suele recibir el nombre de disolvente, y a la de menor cantidad se le llama soluto y es la sustancia disuelta. Ambas sustancias pueden ser un gas, un líquido o un sólido.

23. Ductilidad. Es la capacidad del material para ser sometido a deformaciones inelásticas sin fractura. En general se mide mediante el porcentaje de elongación en una probeta de longitud especificada.

24. Duración del arco. Tiempo durante el cual es mantenido en actividad una soldadura de arco.

25. Electrodo consumible. Un electrodo que aporta metal de relleno.

26. Electrodo para soldadura de arco. Componente del circuito al soldar, a través del cual es conducida la corriente y que termina en el establecimiento del arco.

27. Electrodo revestido. Electrodo metálico de relleno compuesto que consiste en un núcleo metálico con un revestimiento suficiente para formar la capa de escoria del metal soldado al ser aplicado. El revestimiento puede contener materiales que producen la

protección de la atmósfera, desoxidación y estabilización del arco y puede servir como una fuente de adiciones metálicas para la soldadura.

28. Electrodo de núcleo fundente. Electrodo metálico tubular compuesto de relleno consistente en un forro metálico y un núcleo de diferentes materiales en polvo generador de una capa de escoria que cubre la cara de la soldadura.

29. Escoria. Es un material sólido no metálico proveniente de la disolución de fundentes e impurezas que quedan atrapadas en la soldadura o entre ésta y el metal base al momento de soldar.

30. Esfuerzo residual. Es la tensión interior que existe en un metal a la temperatura ambiente, como resultado de:

1º. El calentamiento y expansión desiguales, previos

2º. Una estructura compuesta de un constituyente dúctil y de otro quebradizo

31. Especificación de procedimiento de soldadura precalificado. Especificación de procedimiento de soldadura que cumple con las condiciones estipuladas por un código o especificación particular y que por lo tanto se le considera aceptable para utilizarse sin necesidad de realizar las pruebas de calificación.

32. Estándar. Término genérico que comprende códigos, especificaciones, prácticas recomendables, clasificaciones, métodos y guías que han sido preparadas por un comité patrocinador y aprobados y adoptados de acuerdo con procedimientos establecidos.

33. Fundente (Flux). Material utilizado para impedir o prevenir la formación de óxidos y otras sustancias indeseables en el metal derretido y en las superficies metálicas sólidas.

34. Fusión. Fundición del metal hasta su estado líquido, permitiendo el contacto de dos superficies próximas, hasta que parcialmente intercambien sus contenidos, resultando una completa amalgama al ocurrir el enfriamiento.

35. Fusión completa. Fusión entre la fusión total de las caras y todos los cordones de soldadura de la unión.

36. Gas inerte. Gas que normalmente no se combina químicamente con algún otro material.

37. Grieta en frío. Grieta formada después de la solidificación de la soldadura.

38. Higroscópico. Propiedad de algunas sustancias de absorber y exhalar la humedad según el medio en el que se encuentren.

39. Impedancia acústica. También denominada impedancia de la onda acústica o impedancia acústica específica, es una resistencia que se opone a la vibración de la onda. Si un medio posee una impedancia baja sus elementos de masa vibrarán a gran velocidad, con sólo un pequeño cambio de presión acústica; es decir, el medio ofrecerá poca resistencia a las deformaciones elásticas causadas por la onda. Si por el contrario, la

impedancia es elevada, sus elementos de masa vibrarán lentamente aunque la presión acústica sea elevada, ya que el medio ofrece gran resistencia a las deformaciones elásticas.

40. Inserto consumible. Metal de relleno colocado en la raíz de la unión antes de soldar, destinado para fundirse completamente y formar parte de la soldadura.

41. Inspección destructiva. El hecho de determinar la idoneidad de algún material o componente para el propósito al que está destinado sometiendo a algún tratamiento mecánico los especímenes extraídos directamente de una probeta de prueba.

42. Inspección no destructiva (nondestructive testing, NDT). El hecho de determinar la idoneidad de algún material o componente para el propósito al que está destinado utilizando técnicas que no afecten su utilidad.

43. Kl/r . Esfuerzo unitario de compresión permisible para una columna, en donde K es igual a la relación de la longitud efectiva de la columna con respecto a la longitud real de la misma sin esfuerzos, l es igual al largo de la columna entre apoyos y r es igual al radio de giro de la sección de la columna.

44. Laminación. Tipo de discontinuidad caracterizada por la separación o falta de solidez, generalmente paralela a la superficie de trabajo de un metal.

45. Límite de fluencia. Es el esfuerzo unitario en miles de libras por pulgada cuadrada, al cual la curva esfuerzo-deformación unitaria exhibe un aumento bien definido en deformación sin aumento en el esfuerzo.

46. Longitud del arco. Distancia que existe de la punta del electrodo a la superficie adyacente del charco formado al soldar.

47. Material base. Material a soldar.

48. Metalografía. Estudio de la constitución y de la estructura de los metales y de sus aleaciones.

49. Metal de relleno. Metal o aleación aportado al soldar una unión soldada.

50. Momento flexionante. Elemento mecánico producto de pares de fuerzas iguales y opuestas que actúan en el mismo plano longitudinal.

51. Momento de inercia o momento de segundo orden. Se obtiene multiplicando cada elemento de área dA por el cuadrado de su distancia a un eje dado (eje neutro) de una sección (x o y) e integrando sobre toda la sección de la viga. El momento de inercia de una sección respecto a un eje x se le denota I_x .

52. Oscilación. Efecto que se produce al conducir el electrodo transversalmente al sentido de avance, de un lado a otro de la unión a soldar.

53. Osciloscopio. Sistema de representación y monitoreo de los impulsos generados a través de cristales piezoeléctricos, mediante la producción de una sucesión rápida de imágenes idénticas que se superponen.

54. Patín. Fibras extremas de miembros I o H.

55. Penetración completa de la unión. Condición de la raíz de la unión, en una soldadura de ranura, en la cual el metal se extiende a través de todo su espesor.

56. Profundidad de bisel. Distancia perpendicular desde la superficie del metal base al borde de la raíz o el comienzo de la cara de la raíz.

57. Profundidad de fusión. Distancia a la que se extiende la fusión en el metal base o cordones previos desde la superficie derretida durante la soldadura.

58. Prueba de doblez. Prueba en la cual un espécimen es doblado hasta un radio de curvatura especificado.

59. Prueba de doblez de cara. Prueba en la cual la cara de la soldadura queda localizada del lado de la superficie convexa, a un radio de curvatura especificado.

60. Punzonado. Perforación obtenida mediante el accionamiento de un punzón, adaptado a un pistón dispuesto en una prensa.

61. Radio de giro. Distancia que existe a un área que tiene un momento de inercia I respecto a un eje dado.

62. Relación de esbeltez. Relación aplicable en el análisis del comportamiento de las columnas, la cual se define como la longitud de la columna entre apoyos con respecto al radio de giro de la sección de la misma, l/r .

63. Resiliencia. Sinónimo de elasticidad.

64. Resistencia. Es la capacidad de un metal para soportar determinado esfuerzo sin romperse, es decir, que resista tensión, golpes, presiones, torcimientos, abatimiento. Propiedades conocidas como resistencia a la tensión, al impacto, a la compresión, a la fatiga, a la tensión y al abatimiento.

65. Resistencia a la fatiga. Resistencia que se manifiesta cuando una carga alterna unas veces comprimiendo y otras jalando.

66. Resistencia a la fluencia. Medida definida arbitrariamente, la cual indica la resistencia más allá de la cual ocurre la deformación permanente.

67. Resistencia última. Se define como la carga máxima dividida por el área de la sección transversal original del espécimen sujeto a prueba.

68. Salpicaduras. Partículas metálicas proyectadas durante la fusión de la soldadura, fuera del área de interés.

69. Soldadura. Es la coalescencia localizada de metales producida por el calentamiento de los materiales metálicos a una temperatura apropiada con o sin aplicación de presión y con o sin el empleo de material de aporte.

70. Soldadura aceptable. Soldadura que reúne los requerimientos aplicables.

71. Soldadura automática. Soldadura con equipo que requiere sólo observación ocasional de la soldadura y ningún ajuste manual de los controles del equipo.

72. Soldadura manual. Soldadura aplicada manipulando en forma manual la antorcha, pistola o porta electrodo.

73. Soldadura mecánica. Soldadura con equipo que requiere ajuste manual en respuesta a la observación visual de la soldadura, en tanto que la antorcha, pistola o porta electrodos son adaptados a un dispositivo mecánico.

74. Soldadura con corriente pulsada. Cualquier método de soldadura de arco en el cual la corriente está programada para pulsar periódicamente de manera que solo valores de corta duración de un parámetro puedan ser usados. Tales valores de corta duración difieren significativamente del valor promedio del parámetro.

75. Soldadura de filete. Soldadura de sección transversal aproximadamente triangular en la unión de dos superficies colocadas aproximadamente a escuadra, como en el tipo de unión de traslape, en unión en T o unión de esquina.

76. Soldadura de filete cóncava. Soldadura de filete que tiene la cara cóncava.

77. Soldadura de penetración completa de la unión. Una soldadura de ranura en la cual el metal soldado se extiende a través de todo el espesor.

78. Soldadura de refuerzo (back weld). Se refiere a la soldadura de refuerzo que es aplicada después de aplicar la soldadura de ranura.

79. Soldadura de respaldo (backing weld). Soldadura aplicada por el lado posterior de la unión antes de aplicar la de relleno y de acabado por el lado de la cara.

80. Soldadura de arco. Grupo de procesos de soldadura que producen coalescencia de las piezas de trabajo calentándolas con un arco. Los procesos son utilizados con o sin la aplicación de presión y con o sin metal de relleno.

81. Soldadura de filete. Soldadura de sección transversal aproximadamente triangular, aplicada en la unión de dos superficies que forman un ángulo recto, una respecto de la otra.

82. Soldadura de filete convexa. Una soldadura de filete que tiene la cara convexa.

83. Soldadura intermitente. Soldadura caracterizada por presentar interrupciones en su recorrido, mediante la repetición de espacios sin soldar.

84. Soldadura semiautomática. Soldadura aplicada manualmente con equipo que controla una o más de las condiciones de operación.

85. Soldeo. Contracción de aplicación de la soldadura.

86. Solidez. Condiciones internas y externas en la soldadura terminada que se manifiestan por el estado de pureza y continuidad del material soldado.

87. Soplo magnético. Desviación del arco, al soldar, fuera del punto hacia el cual se dirige el electrodo, debido a fuerzas magnéticas, especialmente cuando la operación se ejecuta en lugares estrechos o muy reducidos.

88. Subsuperficial. Condición de heterogeneidades ocultas pero muy próximas a la superficie de las soldaduras que las contienen.

89. Temperatura entre pasos al soldar. En una soldadura de pasos múltiples, temperatura del área a soldar entre pasos.

90. Temperatura de precalentamiento al soldar. Temperatura del metal base en la vecindad del área a soldar justo antes de iniciar.

91. Tenacidad. Capacidad de un metal para soportar el choque que produce la repentina aplicación de una carga o peso. En este caso, tenacidad es fundamentalmente el resultado de la combinación de un esfuerzo de defensa y ductilidad.

92. Tensión directa. Esfuerzo de tensión promedio calculado con relación al área nominal del tornillo o remache e independientemente de la fuerza inicial de apretado.

93. Trabe. Es una barra cuyo eje centroidal es una línea recta, que desarrolla su trabajo mecánico primordialmente a flexión y cortante, pudiéndose presentar, en forma secundaria, fuerzas normales y momentos torsionantes.

94. Tratamiento térmico para relevado de esfuerzos. Calentamiento uniforme de una estructura o una parte de ésta a una temperatura suficiente para relevar la mayor parte de los esfuerzos residuales, seguido de un enfriamiento uniforme.

95. Tubo de contacto. Dispositivo que transfiere corriente a un electrodo continuo.

96. Vuelta de tuerca. Método de apriete de tornillos, de alta resistencia, el cual consiste en hacer que las tuercas se aprieten a tope, lo cual se define como la condición en la que se alcanza el perfecto contacto entre las superficies, de la conexión, impidiendo toda libertad de rotación de la tuerca. Después de esto a los tornillos que tienen longitud menor a ocho diámetros o de 8 pulgadas se les da una media vuelta adicional de la tuerca. Cuando tienen más de ocho diámetros o de ocho pulgadas, dos tercios de vuelta y

si las dos caras tienen una pendiente de 1:20, sin utilizar rondanas, entonces se le da a las tuercas tres cuartos de vuelta, sin importar la longitud.

97. Zona afectada por el calor. Parte del metal base cuyas propiedades mecánicas o su micro-estructura ha sido alterada por el calor generado al soldar o al realizar algún corte térmico.