

JONNY LECIER CARABALI LOBOA
ID UB2600SME6433

WELDING PROCESS IN THE ENGINEERING

Por: Jonny Leicer Carabali Lobo

ATLANTIC INTERNATIONAL UNIVERSITY
HONOLULU, HAWAII

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	4
SOLDADURA.....	5
VENTAJAS DE LA SOLDADURA.....	6
SOLDADURA ORDINARIA O DE ALEACIÓN	7
SOLDADURA POR FUSIÓN.....	8
Soldadura por gas	8
Soldadura por arco.....	8
Soldadura por arco con electrodo recubierto	8
Soldadura por arco con protección gaseosa.....	8
Soldadura por arco con fundente en polvo o arco sumergido.....	9
Soldadura aluminotérmica.....	9
SOLDADURA POR PRESIÓN.....	9
Soldadura por resistencia	9
TIPOS DE JUNTAS	10
Tipos de uniones.....	11
Tipos de Soldaduras.....	11
Posición de las soldaduras.....	13
Símbolos de soldaduras.....	13
INSPECCIÓN DE LAS SOLDADURAS	15
Inspección visual	16
Líquidos penetrantes	16
Partículas magnéticas.....	16
Prueba ultrasónica	17
Procedimientos radiográficos.....	17
TIPOS DE SOLDADURA.....	17
CLASIFICACIÓN DE LAS SOLDADURAS	19
Soldaduras de Filete.....	19
Soldaduras de ranura o a tope.....	20
RESISTENCIA DE LAS SOLDADURAS.....	22
REQUISITOS DEL LRFD.....	22
SELECCIÓN DEL ELECTRODO ADECUADO	25
SEGURIDAD EN SOLDADURA AL ARCO.....	26
Protección Personal.....	26
Protección de la vista.....	26
Seguridad al usar una máquina soldadora.....	27
Maquina Soldadora (fuente de poder) circuitos con corriente:.....	27
Línea a Tierra:	28
Cambio de Polaridad:.....	29
Cambio del rango de amperaje:	29
Circuito de Soldadura:	29
Riesgos de Incendio:.....	30
Ventilación.....	30
Humedad.....	31
Seguridad en Soldadura de Estanques.....	31
COSTO DE LA SOLDADURA	32
Composición del Costo de Soldadura	34
Costo de Consumibles.....	34
Costo Mano de Obra.....	34
El factor de operación	34
PROBLEMAS Y DEFECTOS COMUNES EN LA SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO	35

PROCESOS DE SOLDADURA.....	39
<i>Soldadura con Gas (oxiacetileno).....</i>	39
SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO (SMAW).....	39
<i>FACTORES PARA MANEJAR PROPIAMENTE EL PROCESO.....</i>	40
<i>Soldadura con electrodo de carbón</i>	40
<i>Soldadura con electrodo de metal.....</i>	40
Soldadura de arco de Tungsteno con gas (TIG).....	41
Soldadura de arco de metal con gas (MIG).....	42
Soldadura con Hidrogeno atómico.....	43
Soldadura de arco sumergida.....	43
Soldadura de flujo magnético	43
Soldadura con perno	43
<i>Soldadura con Resistencia.....</i>	43
Soldadura de punto	44
Soldadura de costura.....	44
Soldadura de saliente	44
Soldadura por chispas	44
Soldadura por recalado.....	44
Soldadura por percusión.....	44
<i>Soldadura Automatizada.....</i>	45
La automatización fija.....	45
La automatización programable.....	45
La automatización flexible	45
<i>Soldadura por Haz de Electrones.....</i>	46
<i>Soldadura por Rayo LASER.....</i>	47
Ventajas de la soldadura con rayo LASER.....	47
<i>Soldadura por Plasma.....</i>	48
Características	48
<i>Soldadura por fricción</i>	49
Soldadura por Electro Escorea ESW (Electro Slag Welding).....	49
Soldadura en ambiente húmedo.....	50
EVALUACIÓN.....	52
<i>Aplicación práctica</i>	52
<i>Aplicación Laboral.....</i>	52
<i>Ventajas:.....</i>	52
<i>Desventajas:.....</i>	53
<i>Ruta Crítica de implementación.....</i>	53
<i>Correlaciones:.....</i>	53
CHECK LIST.....	54

INTRODUCCIÓN

En las siguientes páginas estudiaremos en detalle el proceso de soldadura a nivel de ingeniería. A pesar de ser uno de los procesos de fabricación más antiguo, en la actualidad ocupa gran nivel de importancia en los diferentes tipos de empresa; debido a sus bajos costos de aplicación, facilidad de aplicación y confiabilidad en la junta de elementos. Todo esto la convierte en área independiente de estudio por parte del ingeniero mecánico; la eficacia y eficiencia de un buen diseño depende de la selección adecuada del proceso de soldadura, de los materiales de aporte, el equipo correcto, la graduación en amperios de la máquina y de los costos en el procesos de aplicación de las soldaduras.

En el desarrollo de este pequeño ensayo tocaremos elementos esenciales para el ingeniero al momento de seleccionar la unión de elemento a través del proceso de soldadura. Existen otros tipos de unión permanente de elementos que no serán objeto de estudio en este ensayo pero que puede ser más económico y más eficaz en un diseño.

Los elementos que tendremos en cuenta en este ensayo sobre uniones permanente por medio de soldaduras serán:

Cálculo de Soldadura: Es primordial calcular la cantidad de soldadura y el tipo de material de aporte, pues al no realizar estos cálculos nuestra estructura puede fallar por fatiga del material o por rompimiento en la unión; así mismo si calculamos mal el material de aporte, puede presentarse grietas que harán fallar la estructura o ser demasiado duros que hagan que se agriete el material en lugar de la soldadura. Así mismo debemos calcular cual será el elemento fusible (*Fusible: Elemento que falla primero para conservar otro que puede ser más costoso o de difícil consecución o de difícil acceso para reemplazarlo*) en la unión en caso de requerirse.

Selección del Adecuado procesos de Soldadura: Es muy importante que el ingeniero mecánico conozca los diferentes procesos de soldadura, junto con sus ventajas y desventajas para seleccionar el que más se ajuste a la necesidad del momento.

Cálculo de Costos de la soldadura: Este es un factor determinante en algunos diseños, pues siempre es necesario tener en cuenta los costos al momento de seleccionar un proceso de fabricación.

Considero que estos tres aspectos resumen en gran manera lo que el ingeniero mecánico debe conocer en cuanto a soldadura, estos tres bloques son muy generales pero ya los desglosaremos de manera que al finalizar este ensayo, estemos en condiciones de seleccionar y de calcular un adecuado proceso de soldadura.

Espero este de ensayo sea de gran apoyo a estudiantes y profesionales en el área mecánica, principalmente me inclinaré al área metalmeccánica, no queriendo con ello desconocer que en otras áreas se manejan el proceso de soldadura y tiene sus cálculos correspondiente, al igual que un exhaustivo análisis del proceso como tal.

SOLDADURA

Definición:

Procedimiento por el cual dos o más piezas de metal se unen por aplicación de calor, presión, o una combinación de ambos, con o sin aporte de otro metal, llamado metal de aportación, cuya temperatura de fusión es inferior a la de las piezas que se han de soldar.

Resulta imposible determinar exactamente cuándo se originó la soldadura, pero sucedió hace varios miles de años. El arte de trabajar metales, incluyendo la soldadura, fue un arte en la antigua Grecia desde hace por lo menos tres mil años, pero la soldadura se había practicado, sin duda alguna, durante muchos siglos antes de aquellos días. La soldadura antigua era probablemente un proceso de forja en el que los metales eran calentados a cierta temperatura (no a la de fusión) y unidos a golpe de martillo. Aunque la soldadura moderna existe desde hace bastantes años, es hasta en las últimas décadas que ha adquirido gran importancia en la ingeniería estructural. La adopción de la soldadura estructural fue muy lenta durante varias décadas, porque muchos ingenieros pensaban que tenía dos grandes desventajas: (1) que tenía poca resistencia a la fatiga en comparación con las conexiones atornilladas o remachadas y (2) que era imposible asegurar una alta calidad de soldadura si no se contaba con una inspección irracionalmente amplia y costosa.

Estas apreciaciones negativas persistieron durante muchos años, aunque las pruebas parecían indicar que ninguna de las razones era válida. Haciendo caso omiso de la validez de los temores mencionados, éstas se mantuvieron en todos los órdenes e indudablemente retardaron el uso de la soldadura, en particular en los puentes carreteros y en mayor escala en los puentes ferroviarios. En la actualidad, la mayoría de los ingenieros aceptan que las juntas soldadas tienen una resistencia considerable a la fatiga. También se admite que las reglas que gobiernan la calificación de los soldadores, las mejores técnicas utilizadas y los requerimientos para la mano de obra de las especificaciones de la AWS (American Welding Society), hacen de la inspección de la soldadura un problema menos difícil. Como consecuencia, la soldadura se permite ahora en casi todos los trabajos estructurales, excepto en algunos puentes.

Respecto al temor a la soldadura, es interesante considerar los barcos soldados; éstos están sujetos a cargas de impacto realmente severas y difíciles de predecir, pero aun así los arquitectos navales usan con gran éxito barcos totalmente soldados. Un planteamiento similar puede hacerse para los aviones y los ingenieros en aeronáutica que utilizan la soldadura. La adopción de la soldadura estructural ha sido más lenta en los puentes ferroviarios. Estos puentes están indudablemente sujetos a cargas más pesadas que los puentes carreteros, a mayores vibraciones y a más inversiones de esfuerzos, pero, ¿son éstas condiciones de esfuerzos tan serias y tan difíciles de predecir como aquellas en los barcos y aviones?.

La mayor parte de procesos de soldadura se pueden separar en dos categorías: *soldadura por presión*, que se realiza sin la aportación de otro material mediante la aplicación de la presión suficiente y normalmente ayudada con calor, y *soldadura por fusión*, realizada mediante la aplicación de calor a las superficies, que se funden en la zona de contacto, con o sin aportación de otro metal. En cuanto a la utilización de metal de aportación se distingue entre *soldadura ordinaria* y *soldadura autógena*. Esta última se realiza sin añadir ningún material. *La soldadura ordinaria o de aleación* se lleva a cabo

añadiendo un metal de aportación que se funde y adhiere a las piezas base, por lo que realmente éstas no participan por fusión en la soldadura. Se distingue también entre soldadura blanda y soldadura dura, según sea la temperatura de fusión del metal de aportación empleado; la soldadura blanda utiliza metales de aportación cuyo punto de fusión es inferior a los 450 °C, y la dura metales con temperaturas superiores.

Durante la primera mitad del siglo XX, la soldadura sustituyó al atornillado y al remachado en la construcción de muchas estructuras, como puentes, edificios y barcos. Es una técnica fundamental en la industria del motor, en la aeroespacial, en la fabricación de maquinaria y en la de cualquier producto hecho con metales. El tipo de soldadura más adecuado para unir dos piezas de metal depende de las propiedades físicas de los metales, de la utilización a la que está destinada la pieza y de las instalaciones disponibles. Los procesos de soldadura se clasifican según las fuentes de presión y calor utilizadas.

El procedimiento de soldadura por presión más antiguo es el de soldadura de fragua, practicado durante siglos por herreros y artesanos. Los metales se calientan en un horno y se unen a golpes de martillo. Esta técnica se utiliza cada vez menos en la industria moderna.

VENTAJAS DE LA SOLDADURA

Actualmente es posible aprovechar las grandes ventajas que la soldadura ofrece, ya que los temores de fatiga e inspección se han eliminado casi por completo. Algunas de las muchas ventajas de la soldadura, se presentan en los párrafos siguientes:

1. Para la mayoría de la gente, la primera ventaja está en el área de la economía, porque el uso de la soldadura permite grandes ahorros en el peso del acero utilizado. Las estructuras soldadas permiten eliminar un gran porcentaje de las placas de unión el empalme, tan necesarias en las estructuras remachadas o atornilladas, así como la eliminación de las cabezas de remaches o tornillos. En algunas estructuras de puentes es posible ahorrar hasta un 15% o más del peso de acero con el uso de soldadura. La soldadura también requiere menos trabajo que el que se necesita para el remachado, porque un soldador puede reemplazar a la cuadrilla normal remachadora de cuatro hombres.
2. La soldadura tiene una zona de aplicación mucho mayor que los remaches o los tornillos. Considere una columna de tubo de acero y las dificultades para conectarla a los otros miembros de acero, con remaches o tornillos. Una conexión remachada o atornillada puede resultar virtualmente imposible, pero una conexión soldada, no presentará dificultades.
3. Las estructuras soldadas son estructuras más rígidas, porque los miembros por lo general están soldados directamente uno a otro. Las conexiones con remaches o tornillos, se realizan a menudo a través de ángulos de conexión o placas que se deforman debido a la transferencia de carga, haciendo más flexible la estructura completa. Por otra parte, la mayor rigidez puede ser una desventaja donde se necesiten conexiones de extremo simples, con baja resistencia a los momentos. En tal caso, el calculista debe tener cuidado de especificar el tipo de junta.

4. El proceso de fusionar las partes por unir, hace a las estructuras realmente continuas. Esto se traduce en la construcción de una sola pieza y puesto que las juntas soldadas son tan fuertes o más que el metal base, no debe haber limitaciones a las uniones. Esta ventaja de la continuidad ha permitido la erección de un sin fin de estructuras de acero estáticamente indeterminadas, esbeltas y agraciadas, en todo el mundo. Algunos de los más prominentes defensores de la soldadura se han referido a las estructuras remachadas y atornilladas, con sus pesadas placas y gran número de remaches o tornillos, semejantes a tanques o carros blindados, al compararlas con las limpias y suaves líneas de las estructuras soldadas.
5. Resulta más fácil realizar cambios en el diseño y corregir errores durante el montaje (y a menor costo), si se usa soldadura. En relación con esta ventaja se tiene el caso de las reparaciones realizadas con soldadura en equipo militar en condiciones de batalla durante las décadas pasadas.
6. Otro detalle que a menudo es importante es lo silencioso que resulta soldar. Imagínese la importancia de este hecho cuando se trabaja cerca de hospitales o escuelas, o cuando se realizan adiciones a edificios existentes. Cualquiera que tenga un oído cercano a lo normal, que haya intentado trabajar en una oficina a pocos cientos de pies de un trabajo de remachado, estará de acuerdo con esta ventaja.
7. Se usan menos piezas y, como resultado, se ahorra tiempo en detalle, fabricación y montaje de la obra.

SOLDADURA ORDINARIA O DE ALEACIÓN

Es el método utilizado para unir metales con aleaciones metálicas que se funden a temperaturas relativamente bajas. Se suele diferenciar entre soldaduras duras y blandas, según el punto de fusión y resistencia de la aleación utilizada. Los metales de aportación de las soldaduras blandas son aleaciones de plomo y estaño y, en ocasiones, pequeñas cantidades de bismuto. En las soldaduras duras se emplean aleaciones de plata, cobre y cinc (soldadura de plata) o de cobre y cinc (latonsoldadura).

Para unir dos piezas de metal con aleación, primero hay que limpiar su superficie mecánicamente y recubrirla con una capa de fundente, por lo general resina o bórax. Esta limpieza química ayuda a que las piezas se unan con más fuerza, ya que elimina el óxido de los metales. A continuación se calientan las superficies con un soldador o soplete, y cuando alcanzan la temperatura de fusión del metal de aportación se aplica éste, que corre libremente y se endurece cuando se enfría. En el proceso llamado de resudación se aplica el metal de aportación a las piezas por separado, después se colocan juntas y se calientan. En los procesos industriales se suelen emplear hornos para calentar las piezas.

Este tipo de soldadura lo practicaban ya, hace más de 2.000 años, los fenicios y los chinos. En el siglo I d.C., Plinio habla de la soldadura con estaño como procedimiento habitual de los artesanos en la elaboración de ornamentos con metales preciosos; en el siglo XV se conoce la utilización del bórax como fundente.

SOLDADURA POR FUSIÓN

Este tipo agrupa muchos procedimientos de soldadura en los que tiene lugar una fusión entre los metales a unir, con o sin la aportación de un metal, por lo general sin aplicar presión y a temperaturas superiores a las que se trabaja en las soldaduras ordinarias. Hay muchos procedimientos, entre los que destacan la soldadura por gas, la soldadura por arco y la aluminotérmica. Otras más específicas son la soldadura por haz de partículas, que se realiza en el vacío mediante un haz de electrones o de iones, y la soldadura por haz luminoso, que suele emplear un rayo láser como fuente de energía.

Soldadura por gas

La soldadura por gas o con soplete utiliza el calor de la combustión de un gas o una mezcla gaseosa, que se aplica a las superficies de las piezas y a la varilla de metal de aportación. Este sistema tiene la ventaja de ser portátil ya que no necesita conectarse a la corriente eléctrica. Según la mezcla gaseosa utilizada se distingue entre soldadura oxiacetilénica (oxígeno/acetileno) y oxihídrica (oxígeno/hidrógeno), entre otras.

Soldadura por arco

Los procedimientos de soldadura por arco son los más utilizados, sobre todo para soldar acero, y requieren el uso de corriente eléctrica. Esta corriente se utiliza para crear un arco eléctrico entre uno o varios electrodos aplicados a la pieza, lo que genera el calor suficiente para fundir el metal y crear la unión.

La soldadura por arco tiene ciertas ventajas con respecto a otros métodos. Es más rápida debido a la alta concentración de calor que se genera y por lo tanto produce menos distorsión en la unión. En algunos casos se utilizan electrodos fusibles, que son los metales de aportación, en forma de varillas recubiertas de fundente o desnudas; en otros casos se utiliza un electrodo refractario de wolframio y el metal de aportación se añade aparte. Los procedimientos más importantes de soldadura por arco son con electrodo recubierto, con protección gaseosa y con fundente en polvo.

Soldadura por arco con electrodo recubierto

En este tipo de soldadura el electrodo metálico, que es conductor de electricidad, está recubierto de fundente y conectado a la fuente de corriente. El metal a soldar está conectado al otro borne de la fuente eléctrica. Al tocar con la punta del electrodo la pieza de metal se forma el arco eléctrico. El intenso calor del arco funde las dos partes a unir y la punta del electrodo, que constituye el metal de aportación. Este procedimiento, desarrollado a principios del siglo XX, se utiliza sobre todo para soldar acero.

Soldadura por arco con protección gaseosa

Es la que utiliza un gas para proteger la fusión del aire de la atmósfera. Según la naturaleza del gas utilizado se distingue entre soldadura MIG, si utiliza gas inerte, y soldadura MAG, si utiliza un gas

activo. Los gases inertes utilizados como protección suelen ser argón y helio; los gases activos suelen ser mezclas con dióxido de carbono. En ambos casos el electrodo, una varilla desnuda o recubierta con fundente, se funde para rellenar la unión.

Otro tipo de soldadura con protección gaseosa es la soldadura TIG, que utiliza un gas inerte para proteger los metales del oxígeno, como la MIG, pero se diferencia en que el electrodo no es fusible; se utiliza una varilla refractaria de volframio. El metal de aportación se puede suministrar acercando una varilla desnuda al electrodo.

Soldadura por arco con fundente en polvo o arco sumergido

Este procedimiento, en vez de utilizar un gas o el recubrimiento fundente del electrodo para proteger la unión del aire, usa un baño de material fundente en polvo donde se sumergen las piezas a soldar. Se pueden emplear varios electrodos de alambre desnudo y el polvo sobrante se utiliza de nuevo, por lo que es un procedimiento muy eficaz.

Soldadura aluminotérmica

El calor necesario para este tipo de soldadura se obtiene de la reacción química de una mezcla de óxido de hierro con partículas de aluminio muy finas. El metal líquido resultante constituye el metal de aportación. Se emplea para soldar roturas y cortes en piezas pesadas de hierro y acero, y es el método utilizado para soldar los raíles o rieles de los trenes.

SOLDADURA POR PRESIÓN

Este método agrupa todos los procesos de soldadura en los que se aplica presión sin aportación de metales para realizar la unión. Algunos procedimientos coinciden con los de fusión, como la soldadura con gases por presión, donde se calientan las piezas con una llama, pero difieren en que la unión se hace por presión y sin añadir ningún metal. El proceso más utilizado es el de soldadura por resistencia; otros son la soldadura por fragua, la soldadura por fricción y otros métodos más recientes como la soldadura por ultrasonidos.

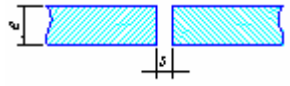
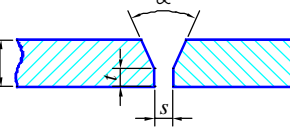
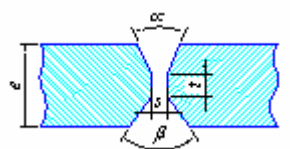
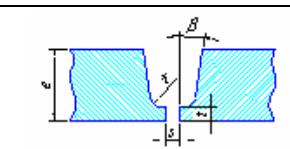
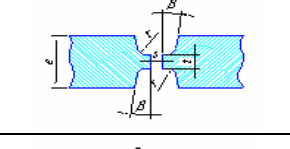
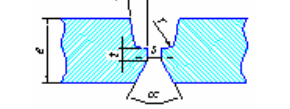
Soldadura por resistencia

Este tipo de soldadura se realiza por el calentamiento que experimentan los metales debido a su resistencia al flujo de una corriente eléctrica. Los electrodos se aplican a los extremos de las piezas, se colocan juntas a presión y se hace pasar por ellas una corriente eléctrica intensa durante un instante. La zona de unión de las dos piezas, como es la que mayor resistencia eléctrica ofrece, se calienta y funde los metales. Este procedimiento se utiliza mucho en la industria para la fabricación de láminas y alambres de metal, y se adapta muy bien a la automatización¹.

¹ Biblioteca de Consulta Microsoft ® Encarta ® 2005. © 1993-2004 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

TIPOS DE JUNTAS

Se entiende junta como la separación existente entre materiales que se van a unir por medio de soldadura. Al momento de seleccionar un proceso de soldadura a aplicar es muy importante conocer los tipos de juntas que existen y los procesos a realizar para que estas juntas queden bien realizadas. A continuación describiremos los más relevantes.

TIPO	GRÁFICO	$e(mm)$	$s(mm)$	$t(mm)$	$a(^{\circ}C)$	$b(^{\circ}C)$	$r(mm)$
Recta		≥ 4	2	N/A	N/A	N/A	N/A
En "V"		$4 \geq 15$	2	2	50	N/A	N/A
		$15 \geq 30$	4	3	45	N/A	N/A
Doble "V"		$30 \geq 100$	4	3	45	70	N/A
En "U"		> 100	4	4	N/A	8	6
Doble "U"		> 100	4	3	N/A	8	6
Mixta		> 100	4	3	60	8	6

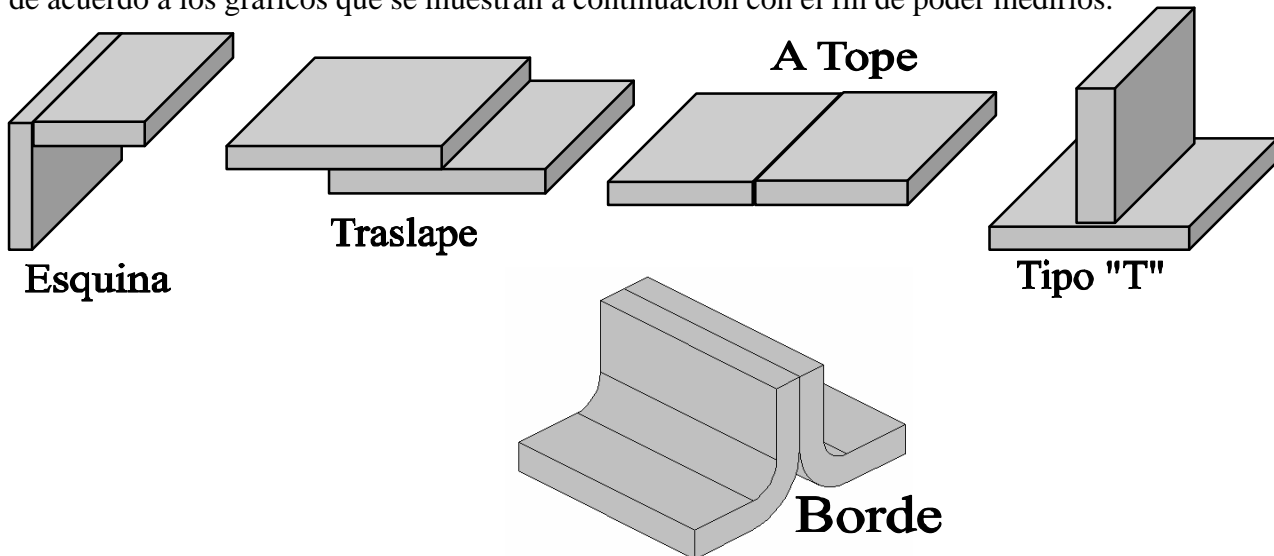
La anterior tabla se utiliza para el proceso de soldadura MIG o (Metal Inerte Gas) o para soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido, para el proceso de soldadura por arco sumergido se usa los mismos tipos de junta solo que el valor "s" debe ser (0) cero; al soldar tuberías donde no se puede aplicar soldadura por ambos lados, los 2 primeros cordones se debe aplicar soldadura TIG (Tungsteno Inerte Gas) y los cordones restante se deben aplicar con MIG o soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido.

Al momento de soldar juntas circulares en obra en posición de cornisa para espesores menores e igual a 20mm el valor de "s" se hace de 3mm, se bisela una de las piezas en ángulo de 45° con talón (t) de 2mm, para espesores mayores de 20mm y menores e iguales a 100mm, dejar una separación "s" de

3mm una pieza se bisela en ángulo de 30° ambas caras con talón (t) de 2mm y la otra pieza en ángulo de 15° y talón (t) de 4mm.²

Tipos de uniones

Los elementos que se pueden unir por soldadura son muchos pero la Asociación Americana de Soldadura encargada de regular todos los procesos de soldadura ha clasificadazo las uniones soldadas de acuerdo a los gráficos que se muestran a continuación con el fin de poder medirlos.



Tipos de Soldaduras

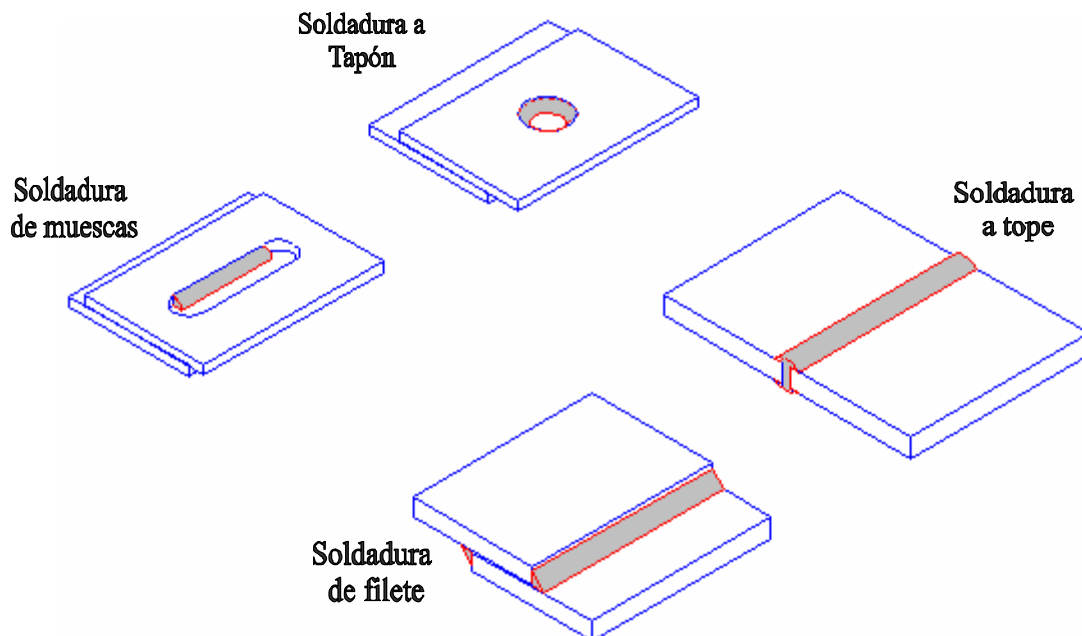
Los dos tipos principales de soldaduras son las soldaduras de filete y a tope o biseladas. Existen además las soldaduras de tapón y de muesca que no son comunes en el trabajo estructural. Estos cuatro tipos de soldadura se muestran en la siguiente gráfica. Las soldaduras de filete han demostrado ser más débiles que las soldaduras a tope o biseladas, sin embargo, la mayoría de las conexiones estructurales se realizan con soldaduras de filete (aproximadamente el 80%). Cualquier persona que haya tenido experiencia en estructuras de acero entenderá el porqué las soldaduras de filete son más comunes que las soldaduras de ranura. Las soldaduras a tope o biseladas se usan cuando los miembros que se conectan están alineados en el mismo plano. Usarlas en cualquier situación implicaría un ensamble perfecto de los miembros por conectar, cosa que lamentablemente no sucede en la estructura común y corriente. Muchos lectores han visto a los operarios tirando de y golpeando miembros de acero para ponerlos en posición. Cuando se pueden traslapar los miembros de acero, se permiten tolerancias mayores en el montaje, siendo las soldaduras de filete las que se utilizan. Sin embargo, las soldaduras a tope o biseladas son bastante comunes en muchas conexiones tales como los empalmes en columnas y las conexiones de patines de vigas a columnas, etc. Las soldaduras a tope comprenden alrededor del 15% de las soldaduras estructurales. Una soldadura de tapón es una soldadura circular que une dos

² Tomado del libro "Soldadura de los Aceros Aplicaciones", de Manuel Reina Gómez ; página 31-35

piezas, en una de las cuales se hace la o las perforaciones necesarias para soldar. Una soldadura de muesca es una soldadura formada en una muesca o agujero alargado que une un miembro con otro a través de la muesca. La soldadura puede llenar parcial o totalmente la muesca. Estos tipos de soldaduras pueden utilizarse cuando los miembros se traslapan y no se tiene la longitud del filete de soldadura. También pueden utilizarse para unir partes de un miembro como en el caso de tener que fijar las cubreplacas en un miembro compuesto.

Las soldaduras de tapón y las de muescas no se consideran en general adecuadas para transmitir fuerzas de tensión perpendiculares a la superficie de contacto. La razón es que usualmente no se tiene mucha penetración de la soldadura en el miembro situado abajo del tapón o muesca; la resistencia a la tensión la proporciona principalmente la penetración.

Algunos proyectistas estructurales consideran satisfactorias las soldaduras de tapón y de muesca para conectar las diferentes partes de un miembro, pero otros no las consideran adecuadas para transmitir fuerzas cortantes. La penetración en estas soldaduras es siempre dudosa y además pueden contener poros que no se detectan con los procedimientos comunes de inspección.



Posición de las soldaduras

Las soldaduras se clasifican respecto a la posición en que se realizan como: planas, horizontales, verticales y sobrecabeza, siendo las planas las más económicas y las sobrecabeza las más costosas. Un buen soldador puede realizar una soldadura plana en forma muy satisfactoria, pero sólo los mejores soldadores pueden hacerla sobrecabeza. Aunque las soldaduras planas pueden hacerse automáticamente, gran parte de la soldadura estructural se realiza a mano. Se ha indicado previamente que no es necesaria la fuerza de la gravedad para efectuar buenas soldaduras, pero sí puede acelerar el proceso. Los glóbulos de los electrodos fundidos pueden forzarse hacia los cordones de soldadura depositados sobrecabeza y resultan buenas soldaduras, pero el proceso es lento y caro por lo que debe evitarse esta posición siempre que sea posible. Estos tipos de soldadura se muestran en la siguiente figura.

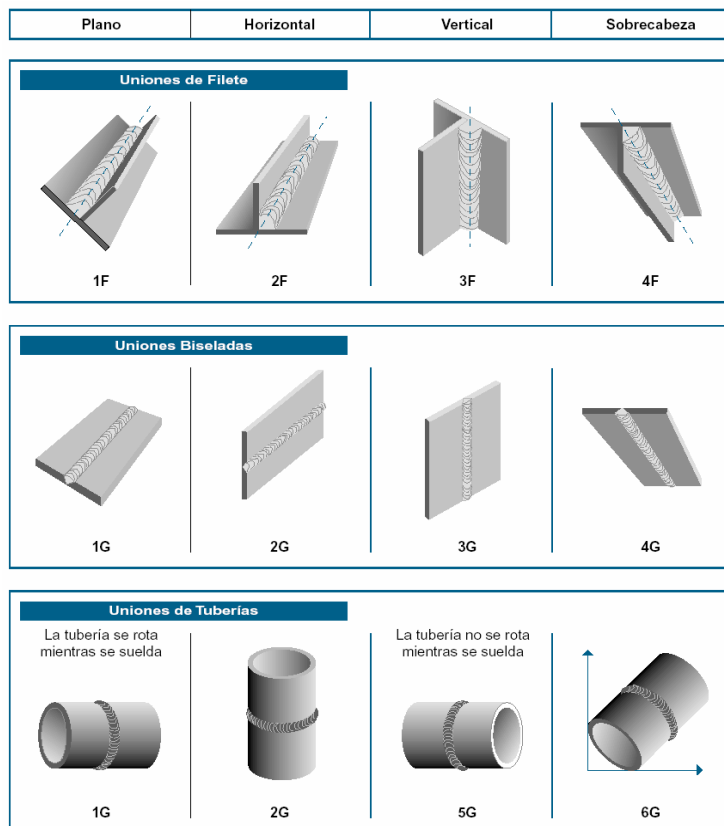


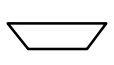







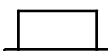







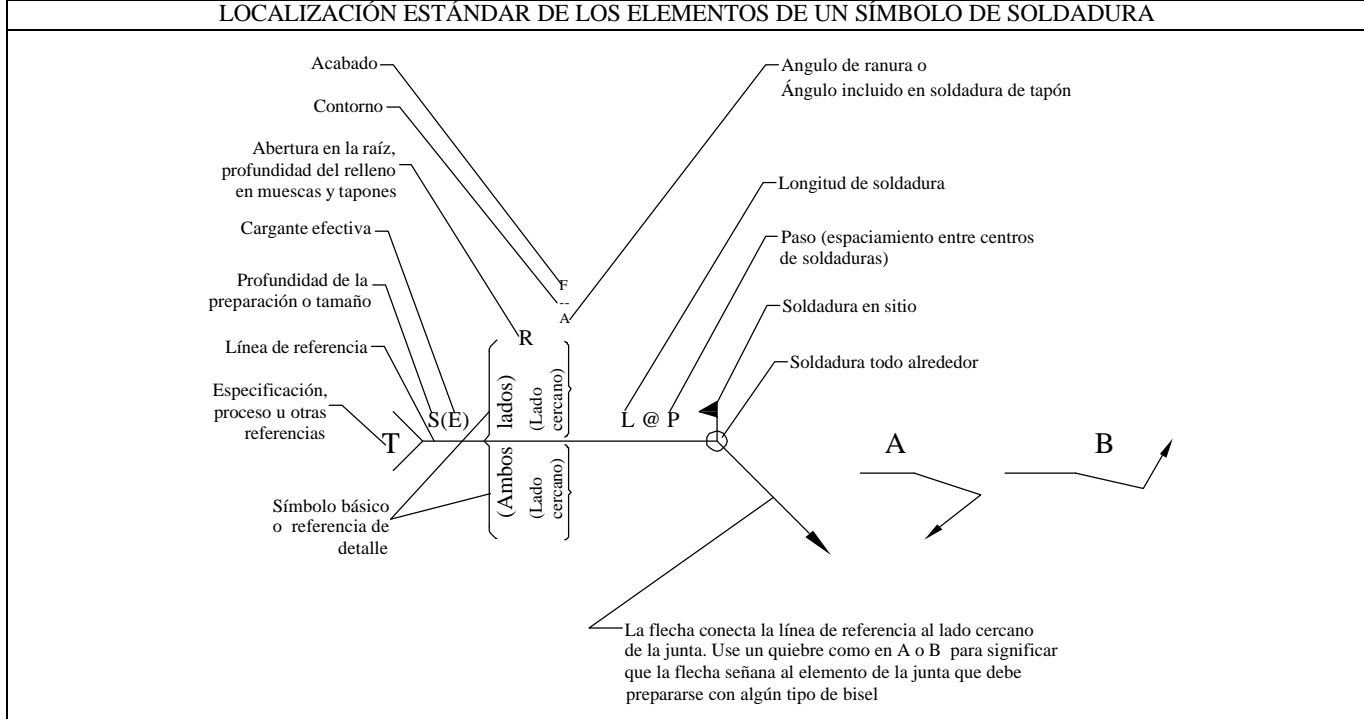
Gráfico tomado de un manual de soldadura de un distribuidor y fabricante de soldaduras (INDURA)

Símbolos de soldaduras

La American Welding Society (Sociedad Americana de Soldadura) ha desarrollado un método para la identificación de las soldaduras, con este excelente sistema taquigráfico, se da toda la información necesaria con unas cuantas líneas y números, ocupando apenas un pequeño espacio en los planos y dibujos de ingeniería. Estos símbolos eliminan la necesidad de dibujos de las soldaduras y hacer largas notas descriptivas. Ciertamente es conveniente para los proyectistas y dibujantes utilizar este sistema estándar. Si la mayoría de las soldaduras indicadas en un dibujo son de las mismas dimensiones, puede ponerse una nota y omitir los símbolos, excepto en las soldaduras fuera de medida.

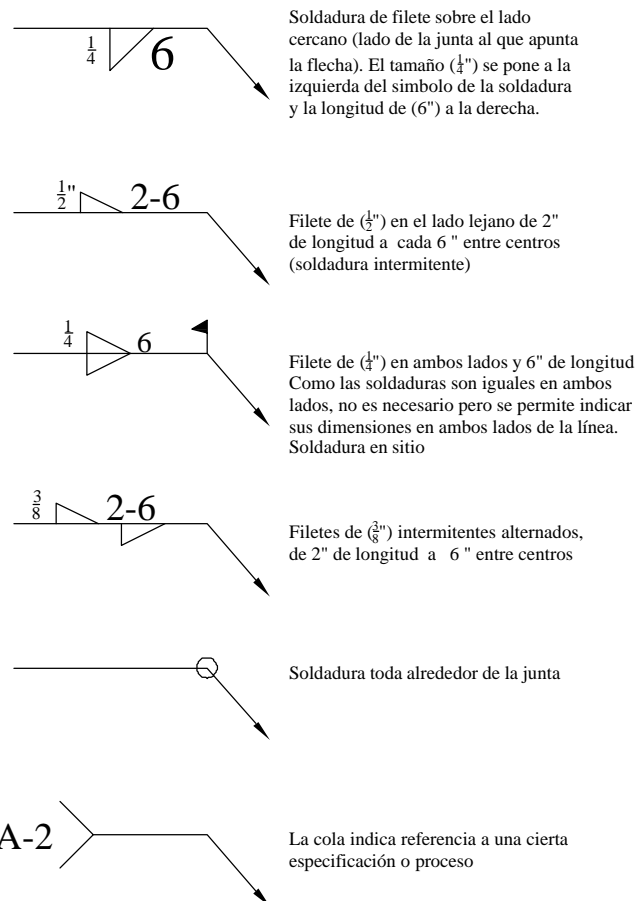
SIMBOLOS BÁSICOS DE SOLDADURA									
POSTERIOR	FILETE	TAPÓN O RANURA	RANURA O A TOPE						
			SEPARACIÓN	V	BISEL	U	J	ENSANCHAMIENTO EN V	ENSANCHAMIENTO DE BISEL
									

SIMBOLOS COMPLEMENTARIOS						
RESPALDO	ESPACIADO	SOLDAR TODO ALREDEDOR	SOLDAR EN SITIO	CONTORNO		Véase la AWS A.2.4-79 para otros símbolos básicos y complementarios de soldadura
				NIVELADO	CONVEXO	
						



- Nota:
- Tamaño, símbolo de la soldadura, longitud y espaciamiento deben de leerse en ese orden de izquierda a derecha sobre la línea de referencia. Ni la orientación de la línea de referencia ni la localización de la flecha alteran esta regla. El lado perpendicular de los símbolos Filete, En V, En U, En J y ensanchamiento de bisel debe estar a la izquierda.
 - Las soldaduras en los lados cercano y alejado son del mismo tamaño a menos que se indique otra cosa. Las dimensiones de los filetes deben mostrarse en ambos lados.
 - La punta de la bandera del símbolo de campo debe señalar hacia la cola.
 - Los símbolos se aplican entre cambios bruscos en la dirección de la soldadura a menos que se muestre el símbolo de “todo al rededor” o se indique algo diferente.
 - Estos símbolos no se refieren al caso de ocurrencia frecuente en las estructuras en donde material duplicado (por ejemplo atiesadores) se localiza en el lado posterior de una placa de nudo o alma. Los fabricantes han adoptado la siguiente convención de estructuras: cuando en la lista de embarque se detecte la existencia de material en el lado posterior. La soldadura para ese lado será la misma que para el lado anterior.

Puede resultar confusa la interpretación del cuadro anterior, por eso en la siguiente figura colocamos algunos ejemplos de como se representan algunos casos de soldadura; afortunadamente para el proyectista en la actualidad todos los software de diseño (CAD) poseen esta clasificación lo que ayudan en gran manera.



INSPECCIÓN DE LAS SOLDADURAS³

Para asegurarse de una buena soldadura en un trabajo determinado, deben seguirse tres pasos: 1) establecer buenos procedimientos de soldadura, 2) usar soldadores calificados, y 3) emplear inspectores competentes en el taller y en la obra.

Cuando se siguen los procedimientos establecidos por la AWS y la AISC para buenas soldaduras y cuando se utilizan los servicios de buenos soldadores, que previamente hayan demostrado su habilidad, es seguro que se obtendrán buenos resultados; sin embargo, la seguridad absoluta sólo se tendrá cuando

³ Información consultada del libro Diseño de Estructuras de Acero, Método LRFD; Jack C. McCormac; 2000 Editorial ALFAOMEGA S.A

se utilicen inspectores capaces y calificados. Para lograr una buena soldadura existe una serie de factores entre los que pueden mencionarse la selección apropiada de electrodos, corriente y voltaje; propiedades del metal base y de aportación; posición de la soldadura. La práctica usual en los trabajos grandes es emplear soldadores que tienen certificados que muestran sus calificaciones. Además, no es mala práctica que cada soldador ponga una marca de identificación en cada una de sus soldaduras, de modo que las personas que muy a menudo realizan un mal trabajo puedan ser localizadas. Esta práctica probablemente mejore la calidad general del trabajo realizado.

Inspección visual

Otro factor que ayudará a los soldadores a realizar un mejor trabajo, es justamente la presencia de un inspector que ellos consideren que sabrá apreciar un buen trabajo cuando lo vea. Para hacer de un hombre un buen inspector, es conveniente que él mismo haya soldado y que haya dedicado bastante tiempo a observar el trabajo de buenos soldadores. A partir de esta experiencia, él será capaz de saber si un soldador está logrando la fusión y penetración satisfactorias. También debe reconocer buenas soldaduras en su forma, dimensiones y apariencia general. Por ejemplo, el metal en una buena soldadura se aproximará a su color original después de enfriarse. Si se ha calentado demasiado, tendrá un tono mohoso o apariencia rojiza. Puede utilizar diversas escalas y escantillones para verificar las dimensiones y formas de la soldadura. La inspección visual de un hombre capaz, probablemente dará una buena indicación de la calidad de las soldaduras, pero no es una fuente de información perfecta por lo que hace a la condición interior de la soldadura. Existen diversos métodos para determinar la calidad interna o sanidad de una soldadura. Estos métodos incluyen: tinturas penetrantes y partículas magnéticas, ensayos con ultrasonido y procedimientos radiográficos, los cuales permiten descubrir defectos internos tales como porosidades, faltas de fusión o presencia de escorias.

Líquidos penetrantes

Diversos tipos de tinturas pueden extenderse sobre las superficies de soldadura; estos líquidos penetrarán en cualquier defecto como grietas que se encuentren en la superficie y sean poco visibles; después de que la tintura ha penetrado en las grietas, se limpia el exceso de ésta y se aplica un polvo absorbente, el cual hará que la tintura salga a la superficie y revelará la existencia de la grieta, delineándola en forma visible al ojo humano. Una variante de este método consiste en usar un líquido fluorescente, que una vez absorbido se hace brillantemente visible bajo el examen con luz negra.

Partículas magnéticas

En este proceso, la soldadura por inspeccionar se magnetiza eléctricamente, los bordes de las grietas superficiales o cercanas a la superficie se vuelven polos magnéticos (norte y sur a cada lado de la grieta) y si se esparce polvo seco de hierro o un líquido con polvo en suspensión, el fantasma magnético es tal que queda detectada la ubicación, forma y aun tamaño de la grieta. La desventaja del método es que en caso de una soldadura realizada con cordones múltiples, el método debe aplicarse para cada cordón.

Prueba ultrasónica

En años recientes, la industria del acero ha aplicado el ultrasonido a la manufactura del acero; si bien el equipo es costoso, el método es bastante útil también en la inspección de soldadura. Las ondas sónicas se envían a través del material que va a probarse y se reflejan desde el lado opuesto de éste; la onda reflejada se detecta en un tubo de rayos catódicos; los defectos en la soldadura afectan el tiempo de transmisión del sonido y el operador puede leer el cuadro del tubo, localizar las fallas y conocer qué tan importantes son.

Procedimientos radiográficos

Los métodos radiográficos, que son más costosos, pueden utilizarse para verificar soldaduras ocasionales en estructuras importantes. Mediante estas pruebas es posible realizar una buena estimación del porcentaje de soldaduras malas en una estructura. El uso de máquinas de rayos-X portátiles, donde el acceso no es un problema y el uso de radio o cobalto radiactivo para tomar fotografías, son métodos de prueba excelentes pero costosos. Resultan satisfactorios en soldaduras a tope (por ejemplo; soldadura de tuberías importantes de acero inoxidable en los proyectos de energía atómica) pero no son satisfactorios para soldaduras de filete, ya que las fotografías son difíciles de interpretar. Una desventaja adicional de estos métodos es el peligro de la radiactividad. Deben utilizarse procedimientos cuidadosos para proteger tanto a los técnicos como a los trabajadores cercanos. En el trabajo de las construcciones normales, este peligro posiblemente requiera la inspección nocturna cuando sólo unos pocos trabajadores se encuentran cerca del área de inspección. (Por lo general se requerirá una estructura muy grande o importante antes de que el uso extremadamente costoso del material radiactivo pueda justificarse.)

Una conexión soldada, bien hecha, puede resultar mucho más resistente (tal vez 1½ o 2 veces) que las partes conectadas como consecuencia, la resistencia real es mucho mayor que la requerida por las especificaciones. Las causas de esta resistencia adicional son las siguientes: los electrodos se fabrican con acero especial, el metal se funde eléctricamente (tal como en la manufactura de los aceros de alta calidad) y la rapidez de enfriamiento es mayor. Por todo esto es poco probable que un soldador haga una soldadura con menor resistencia que la requerida por el diseño.

TIPOS DE SOLDADURA

Aunque se dispone tanto de soldadura con gas como con arco, casi toda la soldadura estructural es de arco. En 1801, Sir Humphry Davy descubrió cómo crear un arco eléctrico al acercar dos terminales de un circuito eléctrico de voltaje relativamente alto. Aunque por lo general se le da crédito por el descubrimiento de la soldadura moderna, en realidad pasaron muchos años, antes de que la soldadura se efectuara con el arco eléctrico. (Su trabajo fue de la mayor importancia para el mundo estructural moderno, pero es interesante saber que mucha gente opina que su mayor descubrimiento no fue el arco eléctrico, sino más bien un asistente de laboratorio cuyo nombre era Michael Faraday.) Varios europeos idearon soldaduras de uno u otro tipo en la década de 1880 con el arco eléctrico, mientras que en Estados Unidos la primera patente para soldadura de arco fue expedida a favor de Charles Coffin, de Detroit, en 1889. En la soldadura de arco eléctrico, la barra metálica que se usa, denominada electrodo,

se funde dentro de la junta a medida que ésta se realiza. Cuando se usa soldadura por gas, es necesario introducir una barra metálica conocida como llenador o barra de soldar.

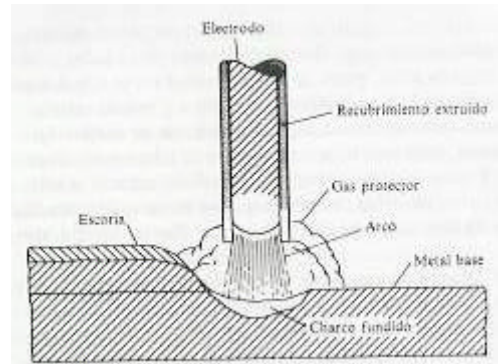
En la soldadura por gas, en la boquilla de un maneral o soplete, ya sea manejado por el soldador o por una máquina automática, se quema una mezcla de oxígeno con algún tipo adecuado de gas combustible; el gas que se utiliza comúnmente en soldadura estructural, es acetileno, y el proceso recibe el nombre de soldadura oxiacetilénica. La flama producida puede utilizarse tanto para corte de metales como para soldar. La soldadura por gas es muy fácil de aprender y el equipo necesario para efectuarla es relativamente barato. Sin embargo, es un proceso algo lento comparado con algunos otros y normalmente se usa para trabajos de reparación y mantenimiento y no para la fabricación y montaje de grandes estructuras.

En la soldadura por arco se forma un arco eléctrico entre las piezas que se sueldan y el electrodo lo sostiene el operador con algún tipo de maneral o una máquina automática. El arco es una chispa continua, entre el electrodo y las piezas que se sueldan, provocando la fusión. La resistencia del aire o gas entre el electrodo y las piezas que se sueldan, convierte la energía eléctrica en calor. Se produce en el arco una temperatura que fluctúa entre los 6000 y 10000 °F (3200 y 5500°C). A medida que el extremo del electrodo se funde, se forman pequeñas gotitas o globulitos de metal fundido, que son forzadas por el arco hacia las piezas por unir, penetrando en el metal fundido para formar la soldadura. El grado de penetración puede controlarse con precisión por la corriente consumida. Puesto que las gotitas fundidas de los electrodos, en realidad son impulsadas en la soldadura, la soldadura de arco puede usarse con éxito en trabajos en lo alto.

El acero fundido en estado líquido puede contener una cantidad muy grande de gases en solución, y si no hay protección contra el aire circundante, aquél puede combinarse químicamente con el oxígeno y el Nitrógeno. Después de enfriarse, las soldaduras quedarán relativamente porosas debido a pequeñas bolsas formadas por los gases. Esas soldaduras son relativamente quebradizas y tienen mucha menor resistencia a la corrosión. Una soldadura debe protegerse utilizando un electrodo recubierto con ciertos compuestos minerales. El arco eléctrico hace que el recubrimiento se funda, creando un gas inerte o vapor alrededor del área que se suelda. El vapor actúa como un protector alrededor del metal fundido y lo protege de quedar en contacto directo con el aire circundante. También deposita escoria en el metal fundido, que tiene menor densidad que el metal base y sale a la superficie, protegiendo a la soldadura del aire mientras se enfría. Después del enfriamiento, la escoria puede removerse fácilmente con una piqueta, o con un cepillo de alambre (esa remoción es indispensable antes de la aplicación de la pintura o de otra capa de soldadura). En la siguiente figura, se muestran los elementos del proceso de soldadura por arco protegido. Este esquema se tomó del *Procedure Handbook of Arc Welding Design & Practice* (Manual de procedimientos para el diseño y práctica de la soldadura por arco), publicado por la Lincoln Electric Company.

El tipo de electrodo utilizado es muy importante, y afecta decididamente las propiedades de la soldadura tales como resistencia, ductilidad y resistencia a la corrosión. Se fabrican un buen número de diferentes tipos de electrodos, y el tipo por utilizar en cierto trabajo depende del tipo de metal que se suelda, la cantidad de material que se necesita depositar, la posición del trabajo, etc. Los electrodos se

dividen en dos clases generales los electrodos con recubrimiento ligero y los electrodos con recubrimiento pesado.



Los electrodos con recubrimiento pesado se utilizan normalmente en la soldadura estructural, porque al fundirse sus recubrimientos se produce una protección de vapor o atmósfera muy satisfactoria alrededor del trabajo, así como escoria de protección. Las soldaduras resultantes son más fuertes, más resistentes a la corrosión y más dúctiles que las realizadas con electrodos con recubrimiento ligero. Cuando se usan electrodos con recubrimiento ligero, no se intenta prevenir la oxidación y no se forma escoria. Los electrodos se recubren ligeramente con algún estabilizador químico del arco, tal como la cal.

Otro tipo de proceso es la soldadura por arco sumergido (o escondido). En este proceso el arco se cubre con un montón de material fusible granular por lo que queda oculto a la vista. Un electrodo metálico desnudo se desenrolla de un carrete, se funde y se deposita como material de aportación o relleno. Las soldaduras por arco sumergido (SAS) se realizan rápida y eficientemente, son de gran calidad, con alta resistencia al impacto y a la corrosión y muestran muy buena ductilidad. Además, tienen una mayor penetración, por lo que el área efectiva para resistir cargas es mayor. Un gran porcentaje de las soldaduras hechas en estructuras de puentes es SAS. Si se usa un solo electrodo, el tamaño de la soldadura que se obtiene con un solo pase es limitada. Sin embargo, pueden usarse múltiples electrodos, sin límite en el tamaño de la soldadura. La posición de trabajo para la SAS debe ser plana u horizontal.

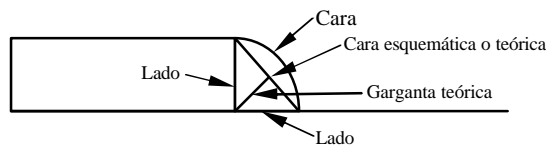
CLASIFICACIÓN DE LAS SOLDADURAS

Existen tres clasificaciones para las soldaduras; se basan en el tipo de soldadura realizada, posición de las soldaduras y tipo de junta.

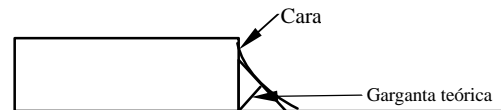
Soldaduras de Filete

Las pruebas han mostrado que las soldaduras de filete son más resistentes a la tensión y a la compresión que al corte, de manera que los esfuerzos determinantes en soldaduras de filete que se establecen en las especificaciones para soldadura, son esfuerzos de corte. Cuando sea práctico usar soldadura de filete es conveniente arreglar las conexiones de modo que estén sujetas únicamente a esfuerzos de corte, y no a la combinación de corte y tensión, o corte y compresión.

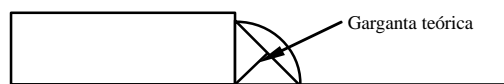
Cuando las soldaduras de filete se prueban a la ruptura, parecen fallar por corte en ángulos de aproximadamente 45° a través de la garganta. Por consiguiente, su resistencia se supone igual al esfuerzo de corte permisible por el área teórica de la garganta de la soldadura. El grueso teórico de la garganta de diversas soldaduras de filete se muestra en la siguiente figura. El área de la garganta es igual al grueso teórico de ésta por la longitud de la soldadura. En esta figura, la raíz de la soldadura es el punto donde las superficies de las caras de las piezas de metal original se intersecan, y la garganta teórica de la soldadura es la distancia más corta de la raíz de la soldadura a la superficie externa de ésta. Para el filete de 45° o de lados iguales, el grueso de la garganta es 0.707 veces el tamaño de la soldadura, pero tiene diferentes valores para soldaduras de filete de lados desiguales. La soldadura de filete de preferencia debe tener una superficie plana o ligeramente convexa, aunque la convexidad de la soldadura no se suma a su resistencia calculada. A primera vista, la superficie cóncava podría parecer la forma ideal para la soldadura de filetes porque aparentemente los esfuerzos podrían fluir suave y uniformemente alrededor de la esquina con poca concentración de esfuerzo. La experiencia de años ha demostrado que los cordones de paso simple de forma cóncava, tienen gran tendencia a agrietarse por efecto del enfriamiento y este factor es de más importancia que el efecto alisador de esfuerzos debido a la forma.



(a) Superficie convexa.



(b) Superficie cóncava.



(c) Soldadura de filete de lados desiguales.

Cuando un filete cóncavo se contrae, en su superficie tiene lugar una tensión que lo tiende a agrietar, en tanto que si es convexa, la contracción no provoca tensión en la superficie exterior, sino al contrario, como la cara se acorta, se produce compresión. Otro detalle importante con respecto a la forma de las soldaduras de filete, es el ángulo de la soldadura con las piezas que se sueldan. El valor conveniente de este ángulo está en la vecindad de los 45° . Para las soldaduras de filete a 45° las dimensiones de los lados son iguales y dichas soldaduras se conocen por la dimensión de sus lados (como soldadura de filete de $\frac{1}{4}$ plg). Si las dimensiones de los lados son diferente para una soldadura.

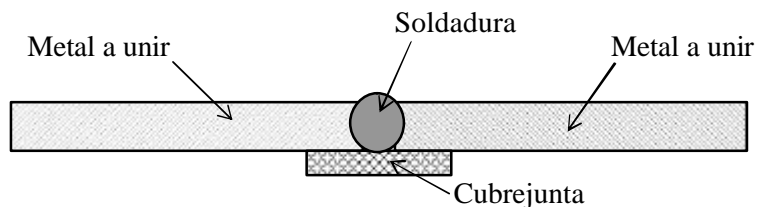
Soldaduras de ranura o a tope

Cuando la penetración es completa y las soldaduras de ranura están sujetas a tensión o compresión axial, el esfuerzo en la soldadura se supone igual a la carga, dividida entre el área transversal neta de la soldadura. (Entendiéndose área transversal como el área del cordón de soldadura aplicada) La unión sin preparación a escuadra, se utiliza para unir material relativamente delgado, de hasta aproximadamente $\frac{1}{4}$ plg (6.35mm) de espesor. A medida que el material es más grueso, es necesario usar soldaduras de

ranura en V, y de soldaduras de ranura en doble-V. En estas dos soldaduras, los miembros se biselan o preparan antes de soldarse, para permitir la penetración total de la soldadura (ver cuadro tipos de juntas). Se dice que las soldaduras de ranura tienen refuerzo. El refuerzo es metal de aportación que hace mayor la dimensión de la garganta que la del espesor del material soldado. En función del refuerzo, las soldaduras de ranura se llaman soldaduras de 100%, 125%, 150% etc., según sea el espesor extra en la soldadura. Existen dos razones principales para tener refuerzo, que son:

- 1 El refuerzo de cierta resistencia extra porque el metal adicional contrarresta los poros y otras irregularidades,
- 2 Al soldador le es más fácil realizar una soldadura un poco más gruesa que el material soldado. El soldador tendría dificultad, si no es que una tarea imposible, para realizar soldaduras perfectamente lisas, sin que hubiera partes ni más gruesas ni más delgadas que el material soldado.

Es indudable que el refuerzo origina soldadura de ranura más fuertes, cuando van a estar sujetas a cargas relativamente estáticas. Sin embargo, cuando la conexión va a estar a cargas repetidas y vibratorias, el refuerzo no resulta tan satisfactorio porque las concentraciones de esfuerzos parecen desarrollarse en el refuerzo y contribuyen a una falla más rápida. Para tales casos, una práctica común es suministrar refuerzo y luego rebajarlo enrasándolo con el material conectado. En páginas anteriores tocamos el tema tipos de juntas donde se muestra la preparación que se le debe dar a cada material según el espesor y el tipo de soldadura a aplicar. En algunos casos se hace necesaria la utilización de elementos cubrejuntas con el fin no transmitir cargas directas a la soldadura, y por el contrario sean este elemento los encargados de transmitir esfuerzo a los otros componentes de las juntas.



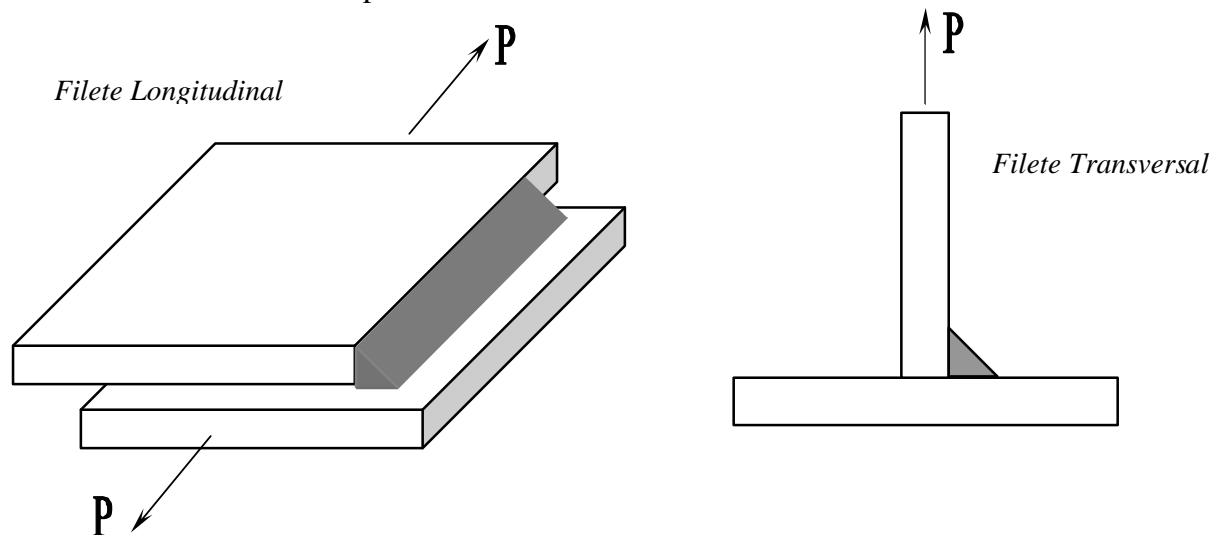
El metal de aportación no se adhiere al cobre y éste tiene una muy alta conductividad que resulta útil para remover el exceso de calor y reducir la distorsión. En ocasiones se usan respaldos de acero, los que generalmente se dejan para que formen parte de la conexión. Las porciones rectas en los biseles no deben usarse junto con los respaldos, debido al riesgo de que se formen bolsas de gas que impidan la penetración completa. Cuando se usan bordes de doble bisel a veces se introducen separadores para prevenir la socavación; éstos se remueven después de soldar por un lado de la junta.

Desde el punto de vista de la solidez, de la resistencia al impacto y a esfuerzos repetitivos, y de la cantidad de metal de aporte requerido, se prefieren las soldaduras de ranura a las de filete, aunque desde otros puntos de vista no son tan atractivas por lo que la inmensa mayoría de las soldaduras estructurales son de filete. Si bien las soldaduras de ranura tienen esfuerzos residuales más altos y las preparaciones (tales como el empalmado y biselado) de los bordes de los miembros por unir, son costosas, probablemente la mayor desventaja es el problema que representa la preparación de las piezas para su ensamble en la obra. Las juntas a tope en obra no se usan con frecuencia, excepto en trabajos

pequeños o en los que los miembros fueron fabricados un poco más largos y cortados en la obra a las longitudes necesarias. En ocasiones, las conexiones se diseñan de manera que las soldaduras de ranura no se extienden sobre el espesor total de las partes conectadas. Estas soldaduras se denominan de penetración parcial. En las especificaciones se presentan requisitos especiales de diseño para estas soldaduras.

RESISTENCIA DE LAS SOLDADURAS⁴

El esfuerzo en una soldadura se considera igual a la carga P dividida entre el área de la garganta efectiva de la soldadura. Este método para determinar la resistencia de las soldaduras de filete, se usa sin tomar en cuenta la dirección de la carga. Las pruebas han demostrado que los filetes transversales son un tercio más resistentes que las soldaduras de filete longitudinales, pero este hecho no es reconocido por la mayor parte de las especificaciones, con el fin de simplificar los cálculos. Una de las razones por la cual los filetes transversales son más resistentes es que el esfuerzo está distribuido más uniformemente que en los filetes longitudinales, pues en los filetes longitudinales los esfuerzos mayores están en los extremos de donde se aplican las cargas y dependen mucho de la calidad y uniformidad de la soldadura aplicada⁵.



REQUISITOS DEL LRFD

En las soldaduras el material del electrodo deberá tener propiedades del metal base. Si las propiedades son comparables se dice que el metal de aportación es compatible con el metal base, en la siguientes

⁴ Información consultada del libro Diseño de Estructuras de Acero, Método LRFD; Jack C. McCormac; 2000 Editorial ALFAOMEGA S.A

⁵ Información consultada del libro Diseño de Estructuras de Acero, Método LRFD; Jack C. McCormac; 2000 Editorial ALFAOMEGA S.A

tabla tomada de la (tabla 4.1.1 de la AWS D1.1) se proporciona información relativa a los metales de soldadura compatibles.

La tabla 12.3 de las especificaciones LRFD, proporciona las resistencias nominales de varios tipos de la soldadura incluyendo las de filete, de tapón, de muela y las de ranura con penetración completa y parcial. Las resistencias de diseño de una soldadura específica se toma como el menor de los valores ϕF_w (F_w es la resistencia nominal de la soldadura) y ϕF_{BM} (F_{BM} es la resistencia nominal del metal base)

Tabla 4.1.1 de la AWS D1.1

Tipos de soldaduras y esfuerzos	Material	Factor ϕ de resistencia	Resistencia nominal F_{BM} o F_w	Nivel de resistencia requerido
Soldadura de ranura con penetración completa				
Tensión nominal al área efectiva	Base	0.90	F_y	Debe usarse soldadura "compatible"
Compresión normal al área efectiva.	Base	0.90	F_y	Puede usarse un metal de aportación (electrodo) con un nivel o menor que el "compatible"
Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura				
Cortante en el área efectiva	Base; electrodo de soldadura	0.90 0.80	$0.60 F_y$ $0.60 F_{EXX}$	
Soldadura de ranura con penetración parcial				
Compresión nominal al área efectiva	Base	0.90	F_y	Puede usarse un metal de aportación (electrodo) con un nivel de resistencia igual o menor que el "compatible"
Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura. ^d				
Cortante paralela al eje de la soldadura	Base; electrodo de soldadura	0.75	$0.60 F_{EXX}$	
Tensión normal al área efectiva	Base; electrodo de soldadura	0.90 0.80	F_y $0.60 F_{EXX}$	
Soldadura de filete				
Esfuerzo en el área efectiva	Base; electrodo de soldadura	0.75	$0.60 F_{EXX}$	Puede usarse un metal de aportación (electrodo) con un nivel de resistencia igual o menor que el "compatible"
Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura.	Base	0.90	F_y	
Cortante paralelo a las superficies de contacto (sobre el área efectiva)	Base; electrodo de soldadura	0.75	$0.60 F_{EXX}$	Puede usarse un metal de aportación (electrodo) con un nivel de resistencia igual o menor que el "compatible"

Para la soldadura de filete la resistencia nominal por esfuerzo en el área efectiva de las soldadura es $0.60 F_{EXX}$ (F_{EXX} es la resistencia por clasificación del metal base) y ϕ es igual a 0.75. si se tiene tensión o compresión paralela al eje de la soldadura, la resistencia nominal del metal base es F_y y ϕ es igual a 0.90. la resistencia de diseño por cortante de los miembros conectados es $\phi F_n A_{ns}$ donde $\phi=0.75$, $F_n = 0.6F_u$ y A_{ns} es el área neta sujeta a cortante.

Los electrodos para la soldadura por arco protegido se designan como E60XX, E70XX... en este sistema de clasificación la letra E significa Electrodo para soldadura eléctrica y los 2 primeros dígitos indican la resistencia máxima a la tensión de la soldadura en KPS (Kilo libra por pulgada cuadrada). Los dígitos restantes designan la posición para soldar, el tipo de corriente y la polaridad de la misma. Información necesaria para el empleo correcto de un electrodo específico.

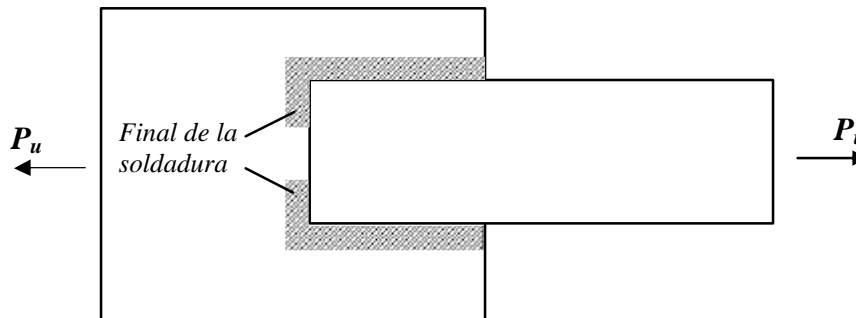
Además de los esfuerzos nominales dados en la anterior tabla existen otras recomendaciones de la LRFD aplicables a la soldadura; algunas de las más importantes son las siguientes:

1. La longitud mínima de una soldadura de filete no debe ser menor de 4 veces la dimensión nominal del lado de la soldadura. Si su longitud real es menor de este valor, el grueso de la soldadura efectiva debe reducirse a $\frac{1}{4}$ de la longitud de la soldadura.
2. El tamaño máximo de una soldadura de filete a lo largo del material menor de $\frac{1}{4}$ " de grueso debe ser igual al grueso del material. Para materiales más gruesos, no debe ser mayor que el espesor del material menos un $\frac{1}{16}$ ", a menos que la soldadura se arregle especialmente para dar un espesor completo de la garganta. Para una placa con un espesor de $\frac{1}{4}$ " o mayor es conveniente terminar la soldadura por lo menos $\frac{1}{16}$ " antes del borde para que el inspector pueda ver claramente el borde de la placa y determinar con exactitud las dimensiones de la garganta.
3. los filetes permisibles mínimo según la LRFD se dan en la siguiente tabla (tabla 12.5 de las especificaciones LRFD). Estos valores entre $\frac{1}{8}$ " para material de $\frac{1}{4}$ " de espesor o menor para la soldadura es de aproximadamente $\frac{1}{8}$ " y el tamaño que probablemente resulta más económico es de alrededor de $\frac{1}{4}$ " o $\frac{5}{16}$ ". La soldadura de $\frac{5}{16}$ " es aproximadamente la máxima que se puede hacer en una sola pasada con el proceso de arco protegido y la de $\frac{1}{2}$ " cuando se usa el proceso de arco sumergido.

<i>Espesor del material de la parte unidad con mayor espesor (pulgadas)</i>	<i>Tamaño mínimo de la soldadura de filete (pulgada)</i>
Hasta $\frac{1}{4}$ " inclusive	$\frac{1}{8}$ "
Mayor de $\frac{1}{4}$ " hasta $\frac{1}{2}$ " inclusive	$\frac{3}{16}$ "
Mayor de $\frac{1}{2}$ " hasta $\frac{3}{4}$ inclusive	$\frac{1}{4}$ "
Mayor de $\frac{3}{4}$ "	$\frac{5}{16}$ "

4. cuando sea posible, debe realizarse vueltas en el extremo (remates) para soldadura de filete como se muestra en la siguiente figura. La longitud de estas vueltas no debe ser menor a dos veces el grueso nominal de la soldadura. Cuando no se usan, muchos calculista considera buena práctica, revisar el doble del grueso de la soldadura de la longitud efectiva de esta. Las vueltas de extremo

son muy útiles en la reducción de concentraciones de esfuerzos que ocurren en las extremo de la soldadura, sobre todo para conexiones donde hay vibración considerable y excentricidad en la carga. Las especificaciones LRFD, sección 12.2ª, establecen que la longitud de la una soldadura de filete incluirá las longitudes de remate.



5. Cuando se usan soldadura de filetes longitudinales para la conexión de placas o barras, sus longitudes no deben ser menores que la distancia perpendicular entre ellas, debido al regazo del cortante. Además, la distancia entre soldadura de filete no deben ser mayor de ocho pulgadas en las conexiones de extremo, a menos que el miembro se diseñe con base en el área efectiva de acuerdo con la especificación LRFD B3.
6. En juntas traslapadas, el traslado de mínimo es igual a cinco veces el espesor de la parte más delgada conectada, pero no debe ser menor de una pulgada. El propósito de éste trasplante mínimo es impedir que la junta durante excesivamente al aplicarse las cargas.

SELECCIÓN DEL ELECTRODO ADECUADO

Para escoger el electrodo adecuado es necesario analizar las condiciones de trabajo en particular y luego determinar el tipo y diámetro de electrodo que más se adapte a estas condiciones. Este análisis es relativamente simple, si el operador se habitúa a considerar los siguientes factores:

1. Naturaleza del metal base.
2. Dimensiones de la sección a soldar.
3. Tipo de corriente que entrega su máquina soldadora.
4. En qué posición o posiciones se soldará.
5. Tipo de unión y facilidad de fijación de la pieza.
6. Si el depósito debe poseer alguna característica especial, como son: resistencia a la corrosión, gran resistencia a la tracción, ductilidad, etc.
7. Si la soldadura debe cumplir condiciones de alguna norma o especificaciones especiales.

Después de considerar cuidadosamente los factores antes indicados, el usuario no debe tener dificultad en elegir un electrodo, el cual le dará un arco estable, depósitos parejos, escoria fácil de remover y un mínimo de salpicaduras, que son las condiciones esenciales para obtener un trabajo óptimo

SEGURIDAD EN SOLDADURA AL ARCO⁶

Cuando se realiza una soldadura al arco durante la cual ciertas partes conductoras de energía eléctrica están al descubierto, el operador tiene que observar con especial cuidado las reglas de seguridad, a fin de contar con la máxima protección personal y también proteger a las otras personas que trabajan a su alrededor. En la mayor parte de los casos, la seguridad es una cuestión de sentido común. Los accidentes pueden evitarse si se cumplen las siguientes reglas:

Protección Personal

Siempre utilice todo el equipo de protección necesario para el tipo de soldadura a realizar. El equipo consiste en:

1. **Máscara de soldar**, Protege los ojos, la cara, el cuello y debe estar provista de filtros inactínicos de acuerdo al proceso e intensidades de corriente empleadas.
2. **Guantes de cuero**, tipo mosquetero con costura interna, para proteger las manos y muñecas.
3. **Coletos o delantal de cuero**, para protegerse de salpicaduras y exposición a rayos ultravioletas del arco. Para algunos tipos de soldadura se hace necesario la utilización de delantales con alma de plomo para evitar que los rayos X penetren.
4. **Polainas y casaca de cuero**, cuando es necesario hacer soldadura en posiciones verticales y sobre cabeza, deben usarse estos aditamentos, para evitar las severas quemaduras que puedan ocasionar las salpicaduras del metal fundido.
5. **5. Zapatos de seguridad**, que cubran los tobillos para evitar el atrape de salpicaduras.
6. **Gorro**, protege el cabello y el cuero cabelludo, especialmente cuando se hace soldadura en posiciones.

IMPORTANTE:

Evite tener en los bolsillos todo material inflamable como fósforos, encendedores o papel celofán. No use ropa de material sintético, use ropa de algodón.

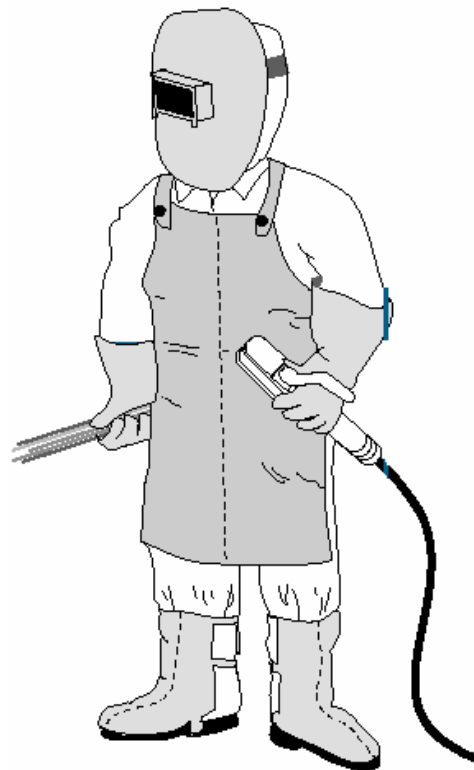
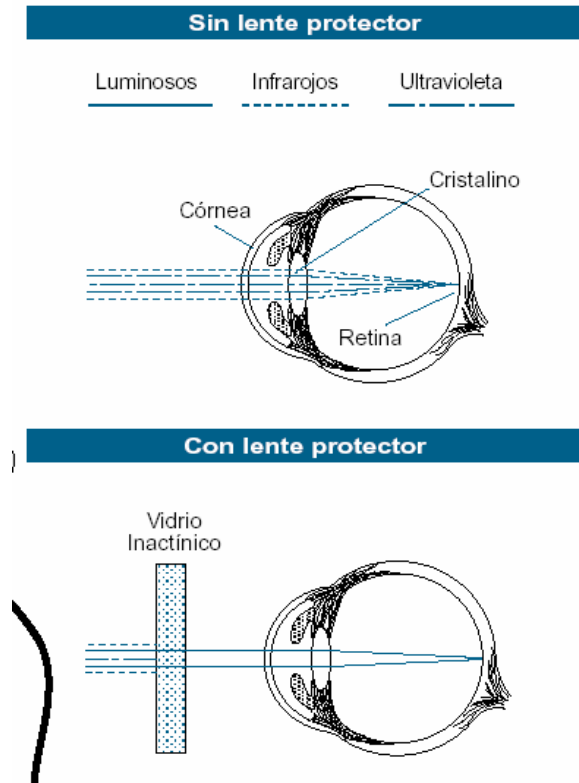
Protección de la vista

La protección de la vista es un asunto tan importante que merece consideración aparte. El arco eléctrico que se utiliza como fuente calórica y cuya temperatura alcanza sobre los 4.000°C, desprende radiaciones visibles y no visibles. Dentro de estas últimas, tenemos aquellas de efecto más nocivo como son los rayos ultravioletas e infrarrojos. El tipo de quemadura que el arco produce en los ojos no es permanente, aunque sí es extremadamente dolorosa. Su efecto es como “tener arena caliente en los ojos”. Para evitarla, debe utilizarse un lente protector (vidrio inactínico) que ajuste bien y, delante de éste, para su protección, siempre hay que mantener una cubierta de vidrio transparente, la que debe ser sustituida inmediatamente en caso de deteriorarse. A fin de asegurar una completa protección, el lente protector debe poseer la densidad adecuada al proceso e intensidad de corriente utilizada. La siguiente tabla le ayudará a seleccionar el lente adecuado.

⁶ Tomado de un manual de soldadura de un Proveedor local (INDURA)

Influencia de los rayos sobre el ojo humano

Grafico de operario de soldadura con indumentaria adecuada



Cuadro para la selección del vidrio Actinio de acuerdo al amperaje.

PROCESOS	Corriente en Amperes																				
	10	15	20	30	40	60	80	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	
Arco manual			9		10				11					12					13		14
Sistema MIG Espesores Altos								10		11				12					13		14
Sistema MIG Espesores bajos							10			11				12					13		14
Sistema TIG		9			10				11		12			13		14					
Sistema MIG con CO ₂								10			11			12		13			14		15
Torchado arco-aire												10		11		12		13		14	15

La franja azul representa el rango donde normalmente no son operadas las soldaduras

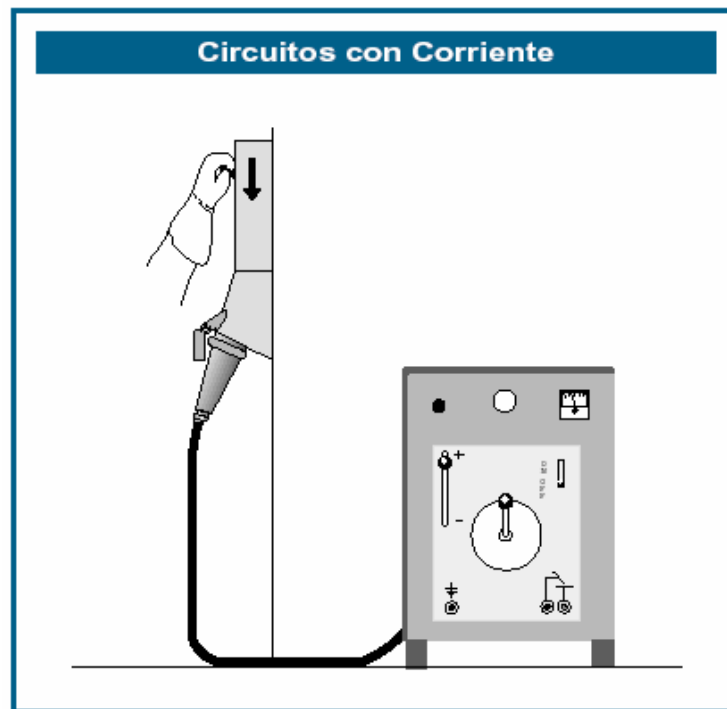
Seguridad al usar una máquina soldadora

Antes de usar la máquina de soldar al arco debe guardarse ciertas precauciones, conocer su operación y manejo, como también los accesorios y herramientas adecuadas. Para ejecutar el trabajo con facilidad y seguridad, debe observarse ciertas reglas muy simples:

Maquina Soldadora (fuente de poder) circuitos con corriente:

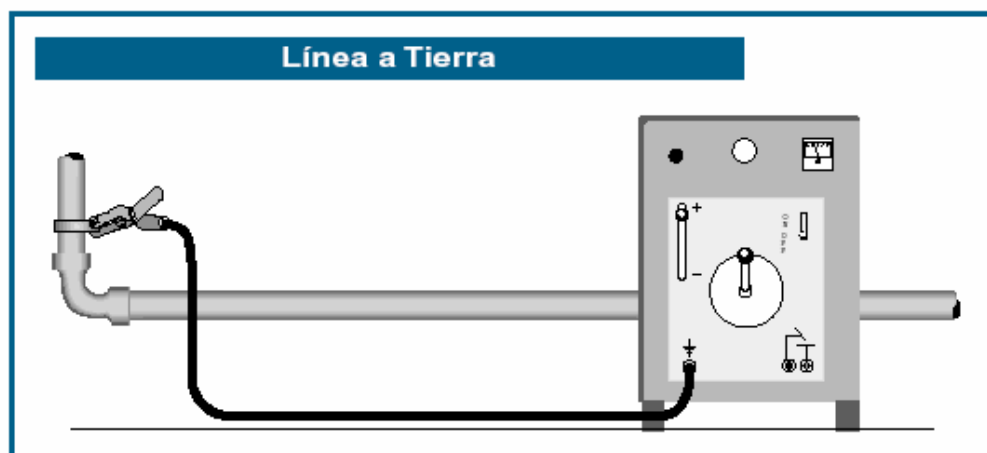
En la mayoría de los talleres el voltaje usado es 220 ó 380 voltios. El operador debe tener en cuenta el hecho que estos son voltajes altos, capaces de inferir graves lesiones. Por ello es muy importante que

ningún trabajo se haga en los cables, interruptores, controles, etc., antes de haber comprobado que la máquina ha sido desconectada de la energía, abriendo el interruptor para desenergizar el circuito. Cualquier inspección en la máquina debe ser hecha cuando el circuito ha sido desenergizado.



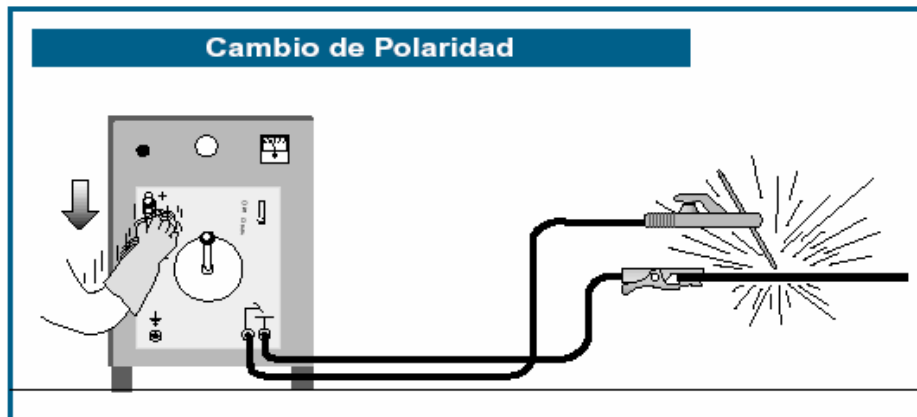
Línea a Tierra:

Todo circuito eléctrico debe tener una línea a tierra para evitar que la posible formación de corrientes parásitas produzca un choque eléctrico al operador, cuando éste, por ejemplo, llegue a poner una mano en la carcasa de la máquina. Nunca opere una máquina que no tenga su línea a tierra.



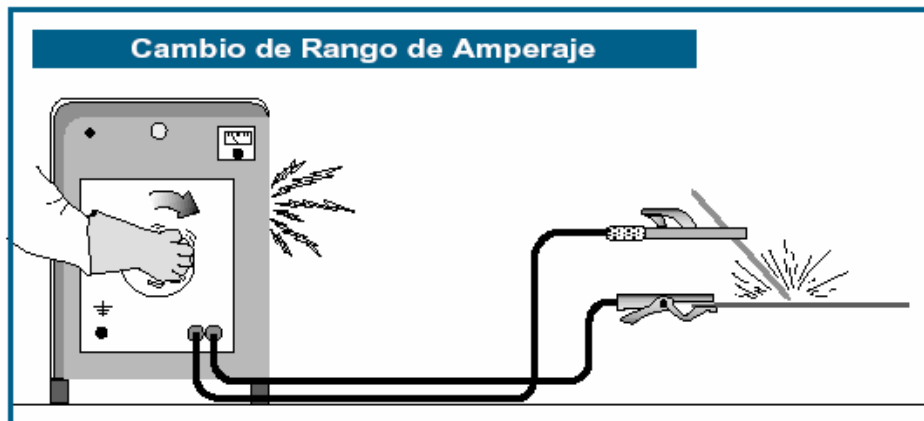
Cambio de Polaridad:

El cambio de polaridad se realiza para cambiar el polo del electrodo de positivo (polaridad invertida) a negativo (polaridad directa). No cambie el selector de polaridad si la máquina está operando, ya que al hacerlo saltará el arco eléctrico en los contactos del interruptor, destruyéndolos. Si su máquina soldadora no tiene selector de polaridad, cambie los terminales cuidando que ésta no esté energizada.



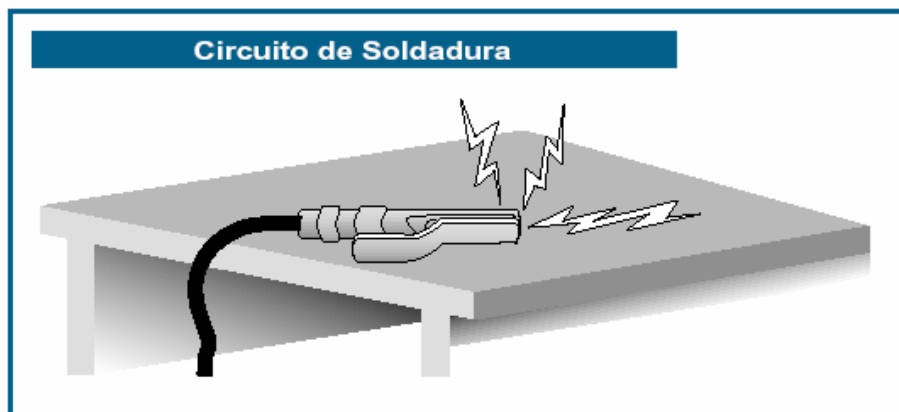
Cambio del rango de amperaje:

En ninguna máquina se recomienda efectuar cambios de rango cuando se está soldando, esto puede producir daños en las tarjetas de control, u otros componentes tales como tiristores, diodos, transistores, etc.



Circuito de Soldadura:

Cuando no está en uso el porta electrodos, nunca debe ser dejado encima de la mesa o en contacto con cualquier otro objeto que tenga una línea directa a la superficie donde se suelda. El peligro en este caso es que el portaelectrodo, en contacto con el circuito a tierra, provoque en el transformador del equipo un corto circuito.



La soldadura no es una operación riesgosa si se respetan las medidas preventivas adecuadas. Esto requiere un conocimiento de las posibilidades de daño que pueden ocurrir en las operaciones de soldar y una precaución habitual de seguridad por el operador.

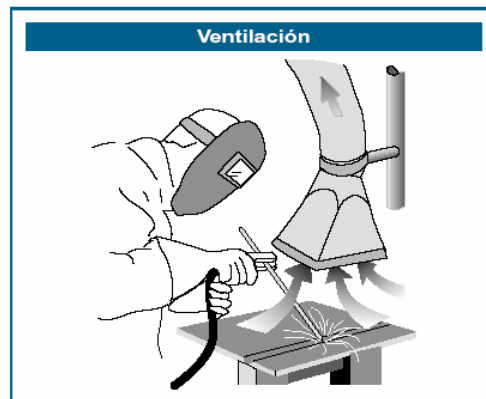
Riesgos de Incendio:

Nunca se debe soldar en la proximidad de líquidos inflamables, gases, vapores, metales en polvo o polvos combustibles. Cuando el área de soldadura contiene gases, vapores o polvos, es necesario mantener perfectamente aireado y ventilado el lugar mientras se suelda. Nunca soldar en la vecindad de materiales inflamables o de combustibles no protegidos.



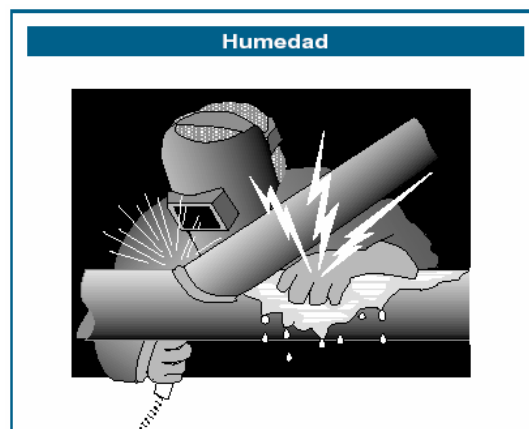
Ventilación

Soldar en áreas confinadas sin ventilación adecuada puede considerarse una operación arriesgada, porque al consumirse el oxígeno disponible, a la par con el calor de la soldadura y el humo restante, el operador queda expuesto a severas molestias y enfermedades.



Humedad

La humedad entre el cuerpo y algo electrificado forma una línea a tierra que puede conducir corriente al cuerpo del operador y producir un choque eléctrico. El operador nunca debe estar sobre una poza o sobre suelo húmedo cuando suelda, como tampoco trabajar en un lugar húmedo. Deberá conservar sus manos, vestimenta y lugar de trabajo continuamente secos.



Seguridad en Soldadura de Estanques

Soldar recipientes que hayan contenido materiales inflamables o combustibles es una operación de soldadura extremadamente peligrosa. A continuación se detallan recomendaciones que deben ser observadas en este tipo de trabajo:

a) Preparar el estanque para su lavado:

La limpieza de recipientes que hayan contenido combustibles debe ser efectuada sólo por personal experimentado y bajo directa supervisión. No debe emplearse hidrocarburos clorados (tales como tricloroetileno y tetracloruro de carbono), debido a que se descomponen por calor o radiación de la soldadura, para formar fosfógeno, gas altamente venenoso.

b) Métodos de lavado:

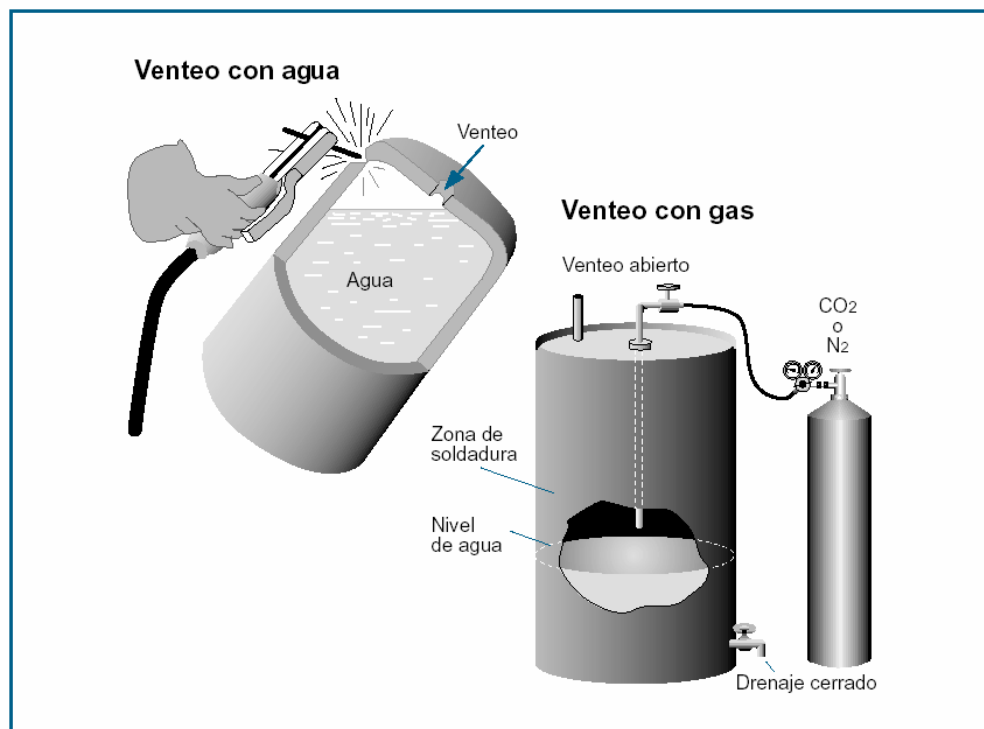
La elección del método de limpieza depende generalmente de la sustancia contenida. Existen tres métodos: agua, solución química caliente y vapor.

c) Preparar el estanque para la operación de soldadura:

Al respecto existen dos tratamientos:

- Agua
- Gas CO₂-N₂

El proceso consiste en llenar el estanque a soldar con alguno de éstos fluidos, de tal forma que los gases inflamables sean desplazados desde el interior.



COSTO DE LA SOLDADURA

Cada trabajo de soldadura presenta al diseñador y calculista sus propias características y dificultades, por lo cual, el modelo de costos que a continuación se desarrolla, propone un rango de generalidad amplio que permite abarcar cualquier tipo de aplicación. Por otro lado, se intenta enfocar el problema con un equilibrio justo entre la exactitud y la simplicidad, es decir proponiendo fórmulas de costos de fácil aplicación, aun cuando ello signifique eliminar términos de incidencia leve en el resultado buscado.

$$\text{CostoElectrodo} = \frac{P_{md} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}} \right) \times \text{ValorElectrodo} \left(\frac{\$}{\text{Kg}} \right)}{\% \text{Eficiencia}}$$

$$\text{CostoM.O} - \text{G.G} = \frac{Pmd \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}} \right) \times \text{ValorM.O} + \text{G.G} \left(\frac{\$/\text{hr}}{\text{hr}} \right)}{VD \left(\frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \right) \times F.O}$$

$$\text{CostoGas} = \frac{Pmd \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}} \right) \times \text{FlujoGas} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right) \times \text{ValorGas} \left(\frac{\$/\text{m}^3}{\text{m}^3} \right)}{VD \left(\frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \right)}$$

$$\text{CostoFundente} = Pmd \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}} \right) \times F.Usa(\%) \times VF \left(\frac{\$/\text{Kg}}{\text{Kg}} \right)$$

- Pmd:** Peso de material deposita el cual se calcula de acuerdo al espesor de material a unir lo que también es igual al producto del área seccional * Longitud del cordón de soldadura * Densidad del material de aporte
- % Eficiencia:** Es la relación entre el peso del metal depositado y la cantidad de electrodos usados para lograr ese deposito.

Proceso	% Eficiencia
Arco manual	60-70
Mig Sólido	90
MIG Tubular con protección	83
MIG tubular sin protección	79
TIG	95
Arco Sumergido	98

- VD** Velocidad de deposición (Cantidad de material de aporte depositado en una unidad de tiempo)
- Factor de Operación** Se define como la relación entre el tiempo en que ha existido arco y el tiempo real o tiempo total pagado.
- Flujo Gas** Cantidad de gas necesario para protección por unidad de tiempo.
- G.G** Gastos generales del proceso de soldadura.
- Factor de Uso de Fundente** Cantidad de fundente efectivamente empleado por kg. de alambre depositado.

En el diseño o fabricación de cualquier componente, hay tres consideraciones fundamentales que deben estar siempre presentes. *Eficiencia, costo y apariencia.*

Es especialmente importante, cuando el costo es alto o cuando representa una proporción significativa del total estimado para un proyecto o un contrato. Como la soldadura está relacionada directamente a otras operaciones, nunca debe ser considerada y costada aisladamente. Cualquier operación de fabricación de productos incluye generalmente:

1. Abastecimiento y almacenamiento de materias primas.
2. Preparación de estos materiales para soldadura, corte, etc.
3. Armado de los componentes.
4. Soldadura.

5. Operaciones mecánicas subsecuentes.
6. Tratamientos Térmicos.
7. Inspección.

Dado que cada una de estas operaciones representa un gasto, en algunas ocasiones el costo de material, costo de soldadura y operaciones mecánicas representan 30%, 40% y 15% respectivamente del costo total; el costo de las tres últimas operaciones constituye sólo un 15% del total. Es por lo tanto evidente, que la operación de soldadura misma es importante y debe ser adecuadamente costeadada y examinada en detalle, para determinar donde efectuar reducciones efectivas de costo.

El único consumible cuyo costo no ha sido considerado es la energía eléctrica. Para todos los procesos de soldadura por fusión, puede ser considerado aproximadamente como 4,0 KW hr/kg. de soldadura de acero depositado. Esto toma en cuenta la pérdida de energía

Composición del Costo de Soldadura

Los principales componentes del costo de soldadura son:

- a) Costo de Consumibles (electrodo, fundente gases de protección, electricidad, etc.)
- b) Costo de Mano de Obra.
- c) Gastos Generales.

Los dos primeros items son costos directos de soldadura. Sin embargo, gastos generales incluye numerosos items indirectamente asociados con la soldadura, como son: depreciación, manutención, capacitación de personal, supervisión técnica, etc.

Costo de Consumibles

Al considerar que existen numerosos procesos de soldadura y que cada uno tiene rendimientos diferentes, la cantidad total de consumibles que deben ser adquiridos varía considerablemente entre uno y otro.



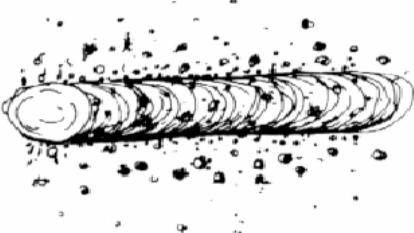
Costo Mano de Obra

Con excepción de ciertas aplicaciones semi-automáticas y automáticas, el costo de mano de obra, hoy en día, representa la proporción más significativa del costo total en soldadura. El costo de mano de obra para producir una estructura soldada, depende de la cantidad de Soldadura necesaria, Velocidad de Deposición, Factor de Operación y Valor de Mano de Obra.

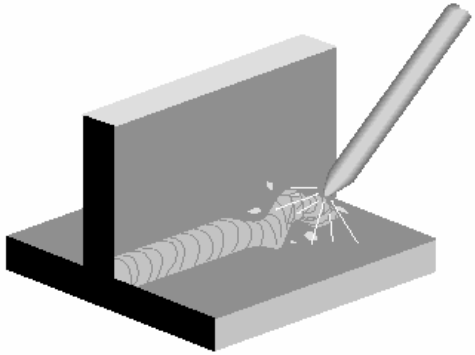


El factor de operación

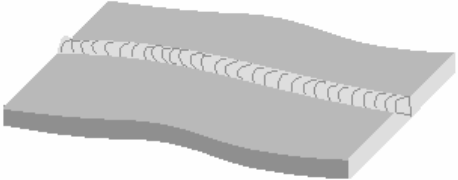
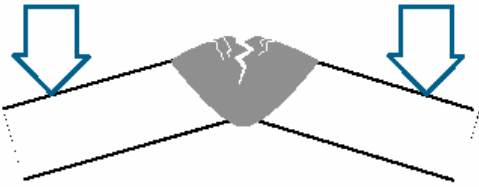

Ha sido definido como la razón entre el tiempo real de arco y tiempo total que se paga al operador expresado en porcentaje. Así el intervalo de factores de operación, dependerá del proceso de soldadura y su aplicación. El diseño de la unión decide la cantidad de soldadura requerida y a menudo la intensidad de energía que se debe emplear al soldar. Sin embargo, los dos principales items que controlan los costos de mano de obra son velocidad de deposición y factor de operación.


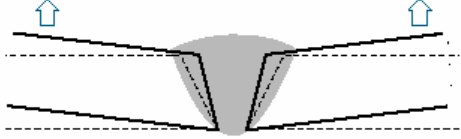
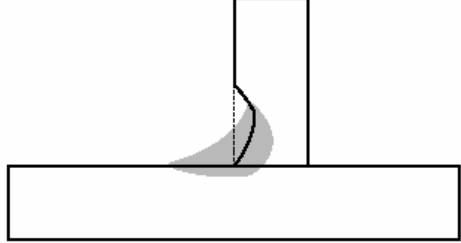
PROBLEMAS Y DEFECTOS COMUNES EN LA SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO⁷

DEFECTOS	CAUSAS Y SOLUCIONES
<p style="text-align: center;">Mal aspecto</p> 	<p>Causas probables:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Conexiones defectuosas. 2. Recalentamiento. 3. Electrodo inadecuado. 4. Longitud de arco y amperaje inadecuado. <p>Recomendaciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Usar la longitud de arco, el ángulo (posición) del electrodo y la velocidad de avance adecuados. 2. Evitar el recalentamiento. 3. Usar un vaivén uniforme. 4. Evitar usar corriente demasiado elevada.
<p style="text-align: center;">Penetración excesiva</p> 	<p>Causas probables:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Corriente muy elevada. 2. Posición inadecuada del electrodo. <p>Recomendaciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Disminuir la intensidad de la corriente. 2. Mantener el electrodo a un ángulo que facilite el llenado del bisel.
<p style="text-align: center;">Salpicadura excesiva</p> 	<p>Causas probables:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Corriente muy elevada. 2. Arco muy largo. 3. Soplo magnético excesivo. <p>Recomendaciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Disminuir la intensidad de la corriente. 2. Acortar el arco. 3. Ver lo indicado para "Arco desviado o soplado".

⁷ Tomado de un manual de soldadura de un Proveedor local (INDURA)

DEFECTOS	CAUSAS Y SOLUCIONES
<p data-bbox="207 451 771 487">Arco desviado</p> 	<p data-bbox="831 483 1047 514">Causas probables:</p> <ol data-bbox="831 514 1404 567" style="list-style-type: none"> 1. El campo magnético generado por la C.C. que produce la desviación del arco (soplo magnético). <p data-bbox="831 588 1055 619">Recomendaciones:</p> <ol data-bbox="831 619 1404 840" style="list-style-type: none"> 1. Usar C.A. 2. Contrarrestar la desviación del arco con la posición del electrodo, manteniéndolo a un ángulo apropiado. 3. Cambiar de lugar la grampa a tierra 4. Usar un banco de trabajo no magnético. 5. Usar barras de bronce o cobre para separar la pieza del banco.
<p data-bbox="207 919 771 955">Soldadura porosa</p> 	<p data-bbox="831 955 1047 987">Causas probables:</p> <ol data-bbox="831 987 1104 1060" style="list-style-type: none"> 1. Arco corto. 2. Corriente inadecuada. 3. Electrodo defectuoso. <p data-bbox="831 1081 1055 1113">Recomendaciones:</p> <ol data-bbox="831 1113 1404 1281" style="list-style-type: none"> 1. Averiguar si hay impurezas en el metal base. 2. Usar corriente adecuada. 3. Utilizar el vaivén para evitar sopladuras. 4. Usar un electrodo adecuado para el trabajo. 5. Mantener el arco más largo. 6. Usar electrodos de bajo contenido de hidrógeno.
<p data-bbox="207 1350 771 1386">Soldadura agrietada</p> 	<p data-bbox="831 1350 1047 1381">Causas probables:</p> <ol data-bbox="831 1381 1404 1512" style="list-style-type: none"> 1. Electrodo inadecuado. 2. Falta de relación entre tamaño de la soldadura y las piezas que se unen. 3. Mala preparación. 4. Unión muy rígida. <p data-bbox="831 1533 1055 1564">Recomendaciones:</p> <ol data-bbox="831 1564 1404 1837" style="list-style-type: none"> 1. Eliminar la rigidez de la unión con un buen proyecto de la estructura y un procedimiento de soldadura adecuado. 2. Precalentar las piezas. 3. Evitar las soldaduras con primeras pasadas. 4. Soldar desde el centro hacia los extremos o bordes. 5. Seleccionar un electrodo adecuado. 6. Adaptar el tamaño de la soldadura de las piezas. 7. Dejar en las uniones una separación adecuada y uniforme.

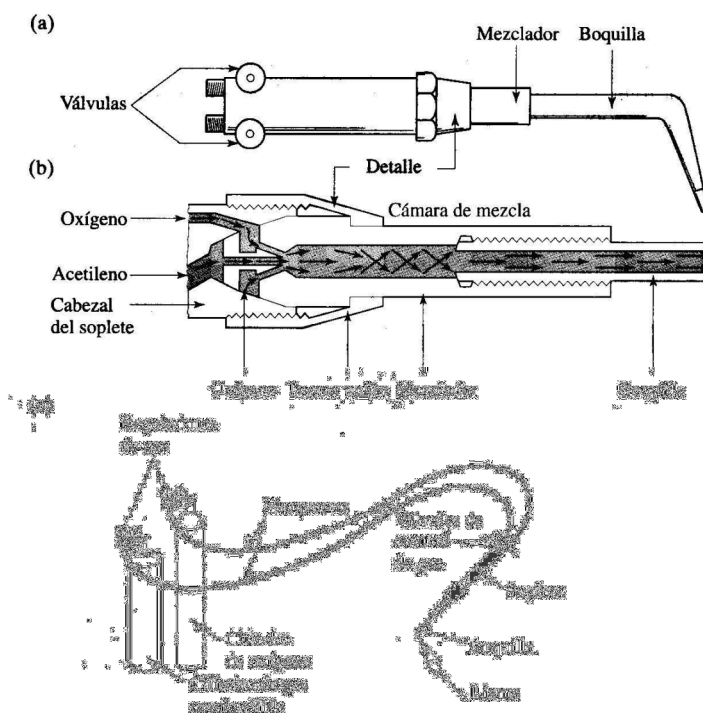
DEFECTOS	CAUSAS Y SOLUCIONES
<p style="text-align: center;">Combadura</p> 	<p>Causas probables:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Diseño inadecuado. 2. Contracción del metal de aporte. 3. Sujeción defectuosa de las piezas. 4. Preparación deficiente. 5. Recalentamiento en la unión. <p>Recomendaciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Corregir el diseño. 2. Martillar (con martillo de peña) los bordes de la unión antes de soldar. 3. Aumentar la velocidad de trabajo (avance). 4. Evitar la separación excesiva entre piezas. 5. Fijar las piezas adecuadamente. 6. Usar un respaldo enfriador. 7. Adoptar una secuencia de trabajo. 8. Usar electrodos de alta velocidad y moderada penetración.
<p style="text-align: center;">Soldadura quebradiza</p> 	<p>Causas probables:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Electrodo inadecuado. 2. Tratamiento térmico deficiente. 3. Soldadura endurecida al aire. 4. Enfriamiento brusco. <p>Recomendaciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Usar un electrodo con bajo contenido de hidrógeno o de tipo austenítico. 2. Calentar antes o después de soldar o en ambos casos. 3. Procurar poca penetración dirigiendo el arco hacia el cráter. 4. Asegurar un enfriamiento lento.
<p style="text-align: center;">Penetración incompleta</p> 	<p>Causas probables:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Velocidad excesiva. 2. Electrodo de \emptyset excesivo. 3. Corriente muy baja. 4. Preparación deficiente. 5. Electrodo de \emptyset pequeño. <p>Recomendaciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Usar la corriente adecuada. Soldar con lentitud necesaria para lograr buena penetración de raíz. 2. Velocidad adecuada. 3. Calcular correctamente la penetración del electrodo. 4. Elegir un electrodo de acuerdo con el tamaño de bisel. 5. Dejar suficiente separación en el fondo del bisel.

DEFECTOS	CAUSAS Y SOLUCIONES
<p data-bbox="203 457 787 489">Fusión deficiente</p> 	<p data-bbox="831 489 1055 520">Causas probables:</p> <ol data-bbox="831 520 1372 604" style="list-style-type: none"> 1. Calentamiento desigual o irregular. 2. Orden (secuencia) inadecuado de operación. 3. Contracción del metal de aporte. <p data-bbox="831 625 1055 657">Recomendaciones:</p> <ol data-bbox="831 657 1409 888" style="list-style-type: none"> 1. Puntear la unión o sujetar las piezas con prensas. 2. Conformar las piezas antes de soldarlas. 3. Eliminar las tensiones resultantes de la laminación o conformación antes de soldar. 4. Distribuir la soldadura para que el calentamiento sea uniforme. 5. Inspeccionar la estructura y disponer una secuencia (orden) lógica de trabajo.
<p data-bbox="203 961 787 993">Distorsión (deformación)</p> 	<p data-bbox="831 993 1055 1024">Causas probables:</p> <ol data-bbox="831 1024 1372 1108" style="list-style-type: none"> 1. Calentamiento desigual o irregular 2. Orden (secuencia) inadecuado de operación 3. Contracción del metal de aporte <p data-bbox="831 1129 1055 1161">Recomendaciones:</p> <ol data-bbox="831 1161 1409 1392" style="list-style-type: none"> 1. Puntear la unión o sujetar las piezas con prensas. 2. Conformar las piezas antes de soldarlas. 3. Eliminar las tensiones resultantes de la laminación o conformación antes de soldar. 4. Distribuir la soldadura para que el calentamiento sea uniforme. 5. Inspeccionar la estructura y disponer una secuencia (orden) lógica de trabajo.
<p data-bbox="203 1465 787 1497">Socavado</p> 	<p data-bbox="831 1497 1055 1528">Causas probables:</p> <ol data-bbox="831 1528 1356 1612" style="list-style-type: none"> 1. Manejo defectuoso del electrodo. 2. Selección inadecuada del tipo de electrodo. 3. Corriente muy elevada. <p data-bbox="831 1633 1055 1665">Recomendaciones:</p> <ol data-bbox="831 1665 1409 1854" style="list-style-type: none"> 1. Usar vaivén uniforme en las soldaduras de tope. 2. Usar electrodo adecuado. 3. Evitar un vaivén exagerado. 4. Usar corriente moderada y soldar lentamente. 5. Sostener el electrodo a una distancia prudente del plano vertical al soldar filetes horizontales.

PROCESOS DE SOLDADURA

La mayor parte de procesos de soldadura se pueden separar en dos categorías: soldadura por presión, que se realiza sin la aportación de otro material mediante la aplicación de la presión suficiente y normalmente ayudada con calor, y soldadura por fusión, realizada mediante la aplicación de calor a las superficies, que se funden en la zona de contacto, con o sin aportación de otro metal. En cuanto a la utilización de metal de aportación se distingue entre soldadura ordinaria y soldadura autógena. Esta última se realiza sin añadir ningún material. La soldadura ordinaria o de aleación se lleva a cabo añadiendo un metal de aportación que se funde y adhiere a las piezas base, por lo que realmente éstas no participan por fusión en la soldadura. Se distingue también entre soldadura blanda y soldadura dura, según sea la temperatura de fusión del metal de aportación empleado; la soldadura blanda utiliza metales de aportación cuyo punto de fusión es inferior a los 450 °C, y la dura, metales con temperaturas superiores.

Soldadura con Gas (oxiacetileno)

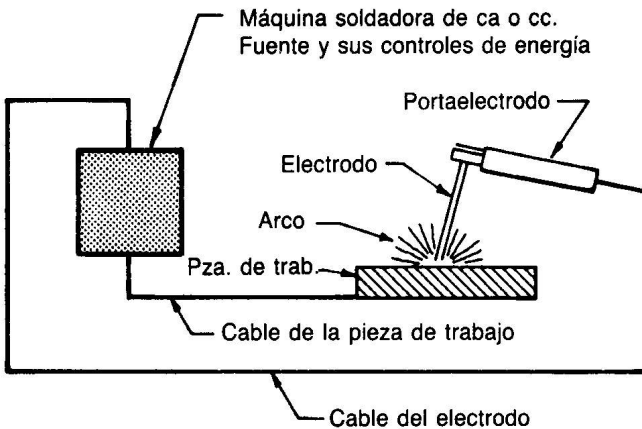


(a) Vista general y (b) sección longitudinal de un soplete para soldadura con oxiacetileno. Se abre primero la válvula de acetileno; el gas se enciende con un chispero o una llama piloto. A continuación se ajusta la válvula del oxígeno y se ajusta la llama. (c) Equipo básico para soldar con oxígeno y combustible gaseoso. Para asegurar que las conexiones sean correctas, todas las roscas para el acetileno son izquierdas, mientras que para el oxígeno son derechas. En general, los reguladores de oxígeno se pintan de verde y los de acetileno de rojo.

SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO (SMAW)

El proceso SMAW o mejor conocido como soldadura por electrodo revestido emplea el paso de un arco eléctrico a través de un electrodo metálico y el material a soldar. Este arco eléctrico produce el calor necesario para fundir el material base y al aporte originándose la mezcla de ambos en estado líquido que al solidificarse formarán el cordón de soldadura. Como todos los metales al calentarse es más fácil que se oxiden por lo cual a este electrodo se le coloca un revestimiento químico el cual dará propiedades específicas a la soldadura y formará una nube protectora contra el medio ambiente. Al

solidificarse el fundente este protegerá al metal sólido de enfriamientos bruscos, así como contaminaciones por absorción de gases.



El circuito básico para soldadura con arco.

FACTORES PARA MANEJAR PROPIAMENTE EL PROCESO.

- ✚ Diámetro correcto del electrodo.
- ✚ Tipo de corriente apropiada
- ✚ Correcta selección de cantidad de corriente (amperaje y voltaje).
- ✚ Correcta longitud de arco.
- ✚ Correcta velocidad de soldeo.
- ✚ Ángulos correctos de aplicación.

Soldadura con electrodo de carbón

La mayoría de las soldaduras de arco se hacen ahora con electrodos metálicos. En la soldadura de electrodo de carbón, el arco produce una temperatura más alta que la llama de oxiacetileno y precisa metal de aporte. El proceso tiene el defecto de no proteger al metal caliente de la atmósfera. Aunque hay una variante de arco de carbón con gas que provee protección gaseosa. Dada la facilidad de control del arco, esta soldadura es útil para fundición de hierro y cobre.

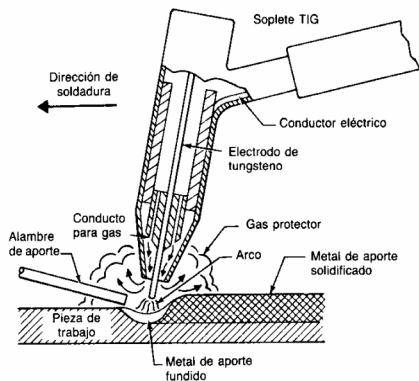
Soldadura con electrodo de metal

En teoría esta soldadura funde el electrodo y el metal original, suministrando el aporte necesario y acelerando la soldadura. La soldadura de arco con electrodos sin protección, consumibles, es dificultosa porque los arco tienden a ser inestables, razón por la cual se utiliza poco.

Se desarrollaron dos variantes de este proceso:

- ✚ Soldadura con electrodo de tungsteno
- ✚ Soldadura de arco de metal protegido

Soldadura de arco de Tungsteno con gas (TIG)



Principios del proceso con gas y arco de tungsteno (GTAW). Si se requiere metal de aporte, se alimenta al depósito desde una barra de aporte separada.

La definición de la AWS para la *soldadura de gas y arco de tungsteno* llamada TIG, es un proceso de soldadura con arco que produce la unión mediante el calentamiento con un arco entre un electrodo de tungsteno y la pieza de trabajo. Puede emplearse o no metal de aporte. La protección se logra con gas o una mezcla de gases.

En esencia, el electrodo de tungsteno no consumible es un *soplete*, un dispositivo de calentamiento. Debajo de la cubierta de gas protector, los metales que van a unirse pueden calentarse arriba de sus puntos de fusión para que el material de una pieza se una con el de la otra pieza; cuando se solidifica la zona fundida se produce la unificación. Además, puede utilizarse presión cuando los cantos que se van a unir estén cerca de su estado de fusión con objeto de ayudar a que se unan. Esta soldadura no requiere metal de aporte.

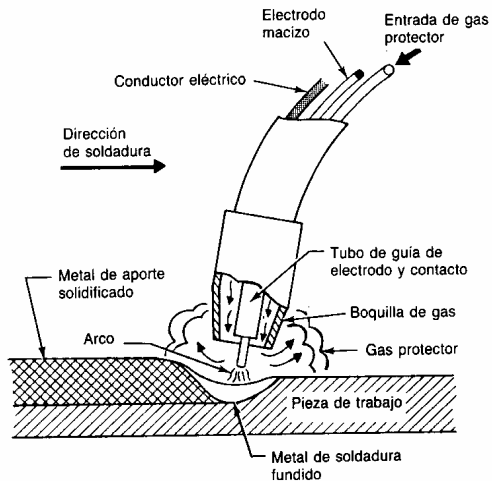
Si la pieza de trabajo es demasiado gruesa para la simple fusión de los cantos colindantes y si se requiere de uniones de ranura o refuerzos tales como filetes, debe agregarse metal de aporte por medio de una barra de aporte alimentada dentro del depósito fundido en forma manual o mecánica. Tanto la punta del electrodo de tungsteno no consumible como la punta de la barra de aporte se mantienen debajo de la cubierta de gas protector conforme avanza la soldadura.

En la soldadura automática el alambre de aporte es alimentado a lo largo de una guía dentro del depósito fundido. Cuando van a colocarse uniones gruesas a mano, una variante en el modo de alimentación es colocar o presionar la barra de aporte dentro o a lo largo de la unión y fundirla junto con los bordes de ésta. Con el proceso TIG y metal de aporte pueden soldarse todos los tipos estándar de uniones.

Los materiales que pueden soldarse con el proceso TIG son casi todos los grados de aceros al carbono, aleación e inoxidables; aluminio y magnesio y la mayor parte de sus aleaciones; cobre y diversos latones y bronce; aleaciones de diversos tipos para altas temperaturas; numerosas aleaciones de revestimiento duro, y metales como titanio, zirconio, oro y plata. Este proceso está adaptado en especial para soldar materiales delgados cuando hay requisitos estrictos de calidad y acabado. Es uno

de los pocos procesos adecuado para soldar objetos diminutos y de pared delgada, como cajas de transistores, diafragmas de instrumentos y fuelles de expansión delicados.

Soldadura de arco de metal con gas (MIG)



Principios del proceso de gas y arco metálico. Se alimenta un electrodo continuo de alambre macizo al arco protegido por gas.

La soldadura con gas y arco metálico, llamada MIG, utiliza un electrodo continuo para el metal de aporte y para la protección, un suministro externo de gas o mezcla de gas. El gas protector, helio, argón, dióxido de carbono o mezclas de ellos, protege el metal fundido para que no reaccione con los componentes de la atmósfera. Aun cuando la protección con gas es eficaz para proteger el metal fundido de aire, se suelen emplear desoxidantes como aleaciones en los electrodos. A veces, se aplican recubrimientos delgados en los electrodos para estabilizar el arco u otros fines. También, pueden aplicarse películas de lubricante para aumentar la eficiencia de la alimentación del electrodo en equipo semiautomático. Pueden incluirse gases reactivos en las mezclas para acondicionamiento del arco.

La soldadura MIG puede utilizarse con todos los metales comerciales importantes, como los aceros al carbono, de aleación, inoxidable, el aluminio, magnesio, cobre, hierro, titanio y zirconio. Es el proceso preferido para soldar aluminio, magnesio, cobre y muchas de las aleaciones de metales reactivos. Casi todos los tipos de hierro y acero pueden unirse con MIG, incluso el hierro libre de carbono y los aceros al bajo carbono y baja aleación, los aceros de alta resistencia enfriados por inmersión y templados, los hierros y aceros al cromo, los aceros al alto níquel y algunos de los aceros llamados de superaleación. Según sea el material, las técnicas y procedimientos para soldar pueden variar mucho. Por tanto, el dióxido de carbono o las mezclas de argón y oxígeno son adecuadas para proteger el arco cuando van a soldarse aceros al bajo carbono y baja aleación; mientras que el gas inerte puro puede ser esencial al soldar aceros de alta aleación. Con este proceso, el cobre, muchas de sus aleaciones y los aceros inoxidables se sueldan con éxito.

La soldadura es semiautomática con una pistola manual, en la cual se alimenta el electrodo en forma automática, o puede utilizarse equipo automático. Las pistolas o cabezas para soldar son similares a las utilizadas para la soldadura con núcleo de fundente y gas protector.

Soldadura con Hidrogeno atómico.

Se mantiene un arco de corriente alterna entre dos electrodos de tungsteno. El gas de hidrogeno es disociado en el arco, cuando este se pone en contacto con la base de metal se combina, abandonando importantes cantidades de calor. El gas hidrogeno alrededor de la soldadura provee la protección contra el oxigeno y Nitrógeno de la atmósfera.

Esta soldadura es de alta calidad y es usada para aceros de alta aleación, usándose también para materiales muy delgados.

Soldadura de arco sumergida.

En esta soldadura el arco voltaico es mantenido debajo de un fundente granular. Puede usar corriente CA o CC. (CA: Corriente Alterna y CC: Corriente Continua) El fundente provee completa protección del metal fundido y, por lo tanto, se obtienen soldaduras de alta calidad. Como procedimiento básico el cabezal soldador se traslada a lo largo de la pieza automáticamente obteniéndose grandes velocidades de soldadura y por ende siendo posible soldar gruesas planchas y grandes volúmenes.

Se la utiliza para construcción de barcos o tubos de acero de grandes diámetro o de tanques. Una variante de esta es el arco sumergido manual, en donde un cañón o embudo contiene el fundente, es sostenido y movido manualmente.

Soldadura de flujo magnético

Es una modificación de arco sumergido en donde se utiliza un fundente magnetizado por el campo eléctrico del electrodo de alambre originado por la corriente que fluye por el alambre. Tiene un control de cantidad de fundente mas preciso y virtualmente no hay fundente sin usar.

Soldadura con perno

Es un proceso de soldadura de arco donde la coalescencia es producida estableciendo un aro entre un perno metálico y la pieza, hasta que se produce la temperatura suficiente, y luego presionando el perno contra la pieza con suficiente presión para completar la unión. Se hace generalmente sin protección atmosférica. La terminación del perno se ahueca y el hueco se rellena con fundente de soldar.

El operador tiene que colocar el perno y el casquillo de sujeción en la pistola, coloca la pistola en posición sobre la pieza y aprieta el gatillo. El ciclo es automático.

Soldadura con Resistencia

La soldadura de resistencia es producida por el calor obtenido de la resistencia de la pieza de trabajo a temperaturas más bajas. No hay fusión del metal, ya que la presión ejercida produce un forjado resultando de grano más fino la soldadura. La temperatura se obtiene en fracción de segundo por ende es muy rápida y económica y apropiada para la producción en masa.

El calor se obtiene por el pasaje de corriente eléctrica a través de la pieza a soldar, usa corriente alterna. En este tipo de soldadura el control de la presión es de suma importancia dado que un exceso de presión hace que el material fundido salte de las superficies de empalme, y la baja presión provoca quemadura de las superficies y picadura de los electrodos. La corriente generalmente se obtiene de un transformador reductor.

Soldadura de punto

La soldadura de punto es el tipo más simple y más usada de la soldadura de resistencia. Se conecta y desconecta la corriente por medios automáticos y semiautomáticos. Esto produce una pepita de metal unido con muy poca o ninguna fusión y sin que salte el material.

Soldadura de costura

Consiste en una serie de soldaduras de punto sobrepuestas, que de este modo forman una soldadura continua. Constituida por dos discos que giran, cuando el material pasa por estos electrodos se conecta y desconecta corriente de soldadura, de modo que forma soldaduras elípticas individuales que se superponen formando una hilera. La duración debe ser regulada de manera que las piezas no se calienten demasiado y por ello se usa enfriamiento externo.

Se usa la soldadura de costura para tanques herméticos, de gasolina, silenciadores de automóvil, etc. Para formas especiales se pueden usar electrodos recortados. Tiene un alto nivel de producción.

Soldadura de saliente

Para hacer una soldadura de saliente se estampan en relieve hoyuelos, estos se colocan luego entre electrodos planos, se aplican corriente y presión, y como casi toda la resistencia del circuito está en los hoyuelos se concentra calor y se produce la soldadura. Esta limitado por las dimensiones de la máquina.

Soldadura por chispas

Es un proceso de soldadura de resistencia donde la unión se produce simultáneamente por medio de calor obtenido de la corriente eléctrica entre las superficies y se completa por presión después del calentamiento. Los equipos necesarios son costosos y de gran tamaño, pero pueden obtenerse muy buenas soldaduras a un alto ritmo de producción. Se utiliza en caños, accesorios tubulares, ventanas metálicas.

Soldadura por recalado

Se aplica continuamente una presión después que se aplica la corriente de soldadura. Como resultado de esto, la soldadura se produce a menor temperatura. Las superficies deben estar limpias y adecuadamente preparadas para calentamiento uniforme y soldaduras fuertes. Se usa para caños y tubos.

Soldadura por percusión

Se aplica una potencia de alta tensión sobre las piezas para luego chocar las partes con gran fuerza, produciéndose una descarga eléctrica muy grande que suelda los dos extremos. Características:

- ✚ Deben soldarse 2 piezas distintas de metal (no sirve en una misma pieza)
- ✚ Puede aplicarse a metales diferentes
- ✚ Se aplica alambres, varillas, y tubos
- ✚ Es un método muy rápido
- ✚ El equipo es semiautomático
- ✚ No precisa material de aporte

- + Alto costo del equipo
- + Mantenimiento especial
- + En algunos materiales se debe preparar la superficie

Soldadura Automatizada

La historia de la automatización industrial está caracterizada por períodos de constantes innovaciones tecnológicas. Esto se debe a que las técnicas de automatización están muy ligadas a los sucesos económicos mundiales. El uso de robots industriales junto con los sistemas de diseño asistidos por computadora (CAD), y los sistemas de fabricación asistidos por computadora (CAM), son la última tendencia en automatización de los procesos de fabricación. Éstas tecnologías conducen a la automatización industrial a otra transición, de alcances aún desconocidos.

En la actualidad el uso de los robots industriales está concentrado en operaciones muy simples, como tareas repetitivas que no requieren tanta precisión. El hecho de que en los 80's las tareas relativamente simples como las máquinas de inspección, transferencia de materiales, pintado automotriz, y soldadura son económicamente viables para ser robotizadas. Los análisis de mercado en cuanto a fabricación predicen que en ésta década y en las posteriores los robots industriales incrementaran su campo de aplicación, esto debido a los avances tecnológicos en sensorica, los cuales permitirán tareas mas sofisticadas como el ensamble de materiales.

Como se ha observado la automatización y la robótica son dos tecnologías estrechamente relacionadas. En un contexto industrial se puede definir la automatización como una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos-eléctricos basados en computadoras para la operación y control de la producción. En consecuencia la robótica es una forma de automatización industrial. Hay tres clases muy amplias de automatización industrial:

- + Automatización fija.
- + Automatización programable.
- + Automatización flexible.

La automatización fija

Se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, y por tanto se puede justificar económicamente el alto costo del diseño de equipo especializado para procesar el producto, con un rendimiento alto y tasas de producción elevadas. Además de esto, otro inconveniente de la automatización fija es su ciclo de vida que va de acuerdo a la vigencia del producto en el mercado.

La automatización programable

Se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener. En este caso el equipo de producción es diseñado para adaptarse a las variaciones de configuración del producto; ésta adaptación se realiza por medio de un programa (Software).

La automatización flexible

Es más adecuada para un rango de producción medio. Estos sistemas flexibles poseen características de la automatización fija y de la automatización programada. Los sistemas flexibles suelen estar

constituidos por una serie de estaciones de trabajo interconectadas entre sí por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, controlados en su conjunto por una computadora.

De los tres tipos de automatización, La Robótica coincide más estrechamente con la automatización programable.

Soldadura por Haz de Electrones

La característica principal de la soldadura por haz de electrones (Electron Beam Weiding, EBW) que la distingue de otros procesos de soldadura, es la posibilidad de concentrar una mayor cantidad de energía en zonas más reducidas. Esta elevada densidad de energía se consigue mediante la concentración de un haz de electrones de alta velocidad, producido por un cañón de electrones. El impacto de los electrones de alta velocidad sobre la pieza incremento la temperatura en la zona de impacto. Esta elevada temperatura puede ser utilizada como fuente de calor en distintas aplicaciones (soldadura, fusión, tratamientos térmicos, etc.) El proceso se realiza en una cámara de vacío para evitar la dispersión de los electrones en la atmósfera normal.

Un equipo típico de haz de electrones consta de un cañón en el que se genera el haz de electrones. El haz penetra en una cámara de vacío, por lo que es necesaria una instalación de vacío asociada al equipo. En el interior de la cámara se encuentran las piezas a soldar, con la consiguiente limitación de tamaño de las mismas y la necesidad de un tiempo adicional para realizar el vacío. La tecnología de Soldadura por Haz de Electrones tiene unas aplicaciones características, entre las que destacan las siguientes:

- ✦ Soldadura de grandes espesores (hasta 65 mm) de una sola pasada y sin aporte, lo cual supone un ahorro de tiempo y material.
- ✦ Soldaduras libres de contaminación, dada la atmósfera de alto vacío en la que se realiza el proceso.
- ✦ Soldaduras con deformaciones y tensiones mínimas debida a las reducidas dimensiones del cordón de soldadura (por ejemplo, 4 mm de anchura para una penetración de 20 mm. en acero)
- ✦ Soldaduras de gran precisión en piezas reducidas; el pequeño diámetro del haz (0.5 mm) permite soldar zonas inaccesibles para cualquier herramienta.
- ✦ Se pueden soldar innumerables metales diferentes y metales refractarios (tungsteno, molibdeno).
- ✦ El haz de alta energía permite realizar tratamientos térmicos superficiales, tanto de temple, con el consiguiente endurecimiento de la superficie, como de refusión, obteniéndose mejoras en diversas propiedades del material (comportamiento a fatiga, desgaste, etc.)
- ✦ Se utiliza el calor generado en la superficie de impacto, para fundir el material y conseguir la unión del mismo al solidificar.
- ✦ La transformación de energía cinética en calor se efectúa en un volumen muy pequeño, debido al pequeño diámetro del haz y a la escasa penetración de los electrones en el interior del material.
- ✦ La principal característica de esta aplicación es la alta densidad de energía de la fuente de calor (no superada por ningún otro proceso).
- ✦ Los cordones de soldadura ejecutados por haz de electrones presentan un aspecto característico de los llamados "procedimientos de alta concentración energéticas":
 - Cordones de soldadura muy estrechos, incluso en uniones de gran penetración.
 - Posibilidad de unir piezas de gran espesor de una sola pasada

Soldadura por Rayo LASER

La soldadura con rayo láser (LBW, de laser-beam welding, en inglés) usa un rayo láser de alto poder como fuente de calor, y produce una soldadura por fusión. Como el rayo se puede enfocar en un área muy pequeña, tiene gran densidad de energía y, por consiguiente, capacidad de penetración profunda.

El rayo se puede dirigir, conformar y enfocar con precisión sobre la pieza. Por lo anterior, este proceso es adecuado especialmente para soldar uniones profundas y delgadas, con relaciones normales de profundidad, ancho entre 4" y 10". En la industria automotriz, la soldadura de componentes de transmisiones es su aplicación más difundida. Entre muchas otras aplicaciones está la soldadura de piezas delgadas para componentes electrónicos.

El rayo láser se puede pulsar (en milisegundos) para tener aplicaciones como en soldadura por puntos de materiales delgados, con potencias hasta de 100 kW. Los sistemas de láser continuo de varios kW se usan para soldaduras profundas en secciones gruesas.

Ventajas de la soldadura con rayo LASER

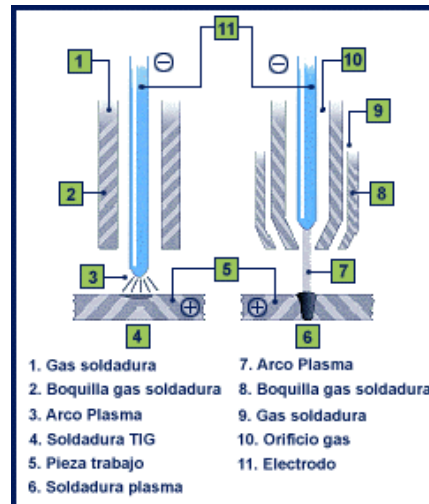
Los procedimientos de soldadura con rayo láser producen soldaduras de buena calidad, con contracción y distorsión mínimas. Estas soldaduras tienen buena resistencia y en general son dúctiles y libres de porosidades. El proceso se puede automatizar, de tal modo que se use en diversos materiales con grosores hasta de 25 mm (1 pulg); es especialmente eficaz en piezas delgadas. En los metales y aleaciones que normalmente se sueldan están el aluminio, titanio, metales ferrosos, cobre, superaleaciones y los metales refractarios. Las velocidades de soldado van de 2.5 m/min hasta 80 m/min (8 a 250 pies/min), para metales delgados.

Por la naturaleza del proceso, la soldadura puede efectuarse en lugares inaccesibles por otros medios. En la soldadura con rayo láser tiene especial importancia la seguridad, por los riesgos extremos a los ojos y a la piel; el LASER de estado sólido (YAG) son especialmente peligrosos.

- ✦ No se requiere un vacío, así que el rayo se puede transmitir por el aire.
- ✦ Los rayos láser se pueden conformar, manipular y enfocar ópticamente, usando fibras ópticas, por lo que el proceso se puede automatizar con facilidad.
- ✦ Los rayos no generan rayos X (y sí se generan con el haz de electrones).
- ✦ Es mejor la calidad de la soldadura y tiene menor tendencia a fusión incompleta, salpicaduras y porosidades, y produce menos distorsión.

Como en otros sistemas análogos de soldadura automatizada, es mínima la destreza que se requiere en el operador. El costo de los equipos de soldadura láser va de 40,000 a 1 millón de dólares.

Soldadura por Plasma

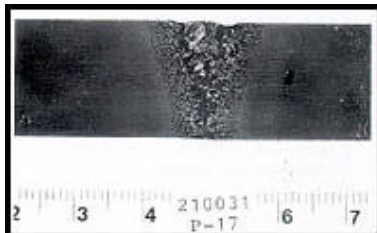


La soldadura por arco de plasma (P.A.W.) es un proceso con muchos puntos comunes con el más conocido proceso T.I.G. de soldadura. La diferencia fundamental estriba en la forma que adopta el arco eléctrico, dado que en el proceso T.I.G. éste se crea libremente entre el electrón y la pieza, y tiene una forma cónica. En el caso del proceso P.A.W., el arco eléctrico pasa por un orificio de constreñimiento situado en la boquilla de la pistola, que da lugar a una columna de plasma de forma cilíndrica que concentra una gran densidad de energía.

El nivel de energía conseguido a través del arco de plasma permite, en determinados casos, aumentar las velocidades de soldadura; en otros, aumenta el nivel de penetración de los cordones y, en general, permite una gran estabilidad del arco, desde valores inferiores a un Amperio (micro-plasma) hasta valores superiores a 300 Amperios (macro-plasma), así como un mejor control de la distorsión. Está compuesto por tres elementos principales y varios complementos auxiliares

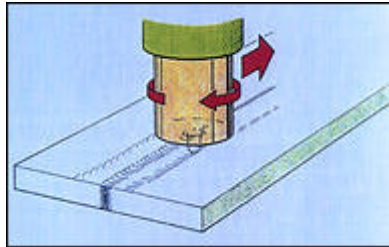
Características

- ✚ Soldadura longitudinal de tubos de diferentes aleaciones aplicada en instalaciones automatizadas con altas velocidades de producción cercanas a 1 m/min en función del espesor.
- ✚ Soldadura orbital de tuberías por refusión de bordes en tubos de hasta 6 mm de espesor con una sola pasada.
- ✚ Fabricación de recipientes de acero inoxidable para almacenamiento de diferentes productos
- ✚ Soldadura de grandes espesores en una sola pasada de materiales tales como titanio, cobre, níquel y aleaciones cromo-níquel utilizando la técnica de Key-hole llegando a obtenerse valores de 15 mm en el caso de las aleaciones de titanio.
- ✚ Soldadura de convertidores catalíticos de tubos de escape para automoción



Macrografía de unión realizado con plasma en aleación base Titanio de 17 mm. De espesor (1 sola pasada).

Soldadura por fricción



La soldadura por fricción es un proceso de fase total de penetración sólida, el cual puede ser implementado en la unión de laminas de metal (hasta ahora principalmente para aluminio) sin llegar a su punto de fusión. "FSW" la soldadura por fricción ha sido inventada, patentada y desarrollada para su propósito industrial por TWI (The Welding Institute), en Cambridge, UK. En la soldadura por fricción, un cilindro de sección plana y un rotor perfilado, son suavemente aproximados a las áreas a juntar las cuales son enfrentadas de tope. Las partes tienen que ser aseguradas a una mesa de respaldo para evitar que sean separadas por la fuerza a la que son sometidas. El calor de la fricción entre el cilindro rotatorio de alta resistencia al desgaste y las piezas a ser soldadas causan que los materiales se suavicen sin llegar al punto de fusión permitiendo al cilindro rotatorio seguir la línea de soldadura a través de las piezas a trabajar. El material pastificado es transferido al riel de borde del cilindro y forjado por el contacto directo del soporte y el rotor perfilado. En el proceso de enfriamiento, el proceso deja a su paso un cordón de fase sólida entre las dos piezas.

La soldadura por fricción puede ser usada para unir laminas de aluminio y planchas sin la necesidad de usar material de aporte o ningún tipo de gases y materiales de un espesor de 1.6 hasta 30 mm pueden ser soldados con total penetración, sin porosidad o evasiones internas. Soldaduras altamente integrales y de muy baja distorsión pueden ser logradas con éxito en la mayoría de las aleaciones de aluminio, incluyendo aquellas consideradas "difíciles de soldar" con las técnicas regulares.

Entre los materiales que han sido soldados exitosamente con Fricción hasta la actualidad se incluye una gran variedad de aleaciones de aluminio (las series 2xxx, 5xxx, 7xxxx, 8xxx) y las aleaciones Al-Li son las más recientes, la soldadura por fricción también ha demostrado ser efectiva en la unión de Plomo, Cobre, Magnesio y hasta aleaciones de Titanio

Soldadura por Electro Escoria ESW (Electro Slag Welding)

Un arco es establecido entre la pieza a ser soldada y un electrodo. Cuando el fundente, que es colocado en las juntas, se derrite, produciendo un baño de escoria que se hace más profundo cada vez., cuando la temperatura de este baño de escoria, y, por consiguiente, sus capacidades eléctricas, se incrementan, el arco se extingue, se apaga, y la corriente es conducida a través del cordón de escoria que cubre las juntas, donde la energía para la soldadura es producida a través de la resistencia generada.

La soldadura es formada entre unas mandíbulas fijas y móviles de cobre enfriadas por agua y la cara de la pieza a ser soldada. La cabeza de soldadura se mueve hacia arriba según el proceso avanza. Uno o más electrodos pueden ser usados como material consumible, dependiendo del espesor de las laminas a

ser soldadas, si el material base es de un diámetro muy alto, entonces un movimiento oscilatorio puede ser agregado. La parte mala de este proceso es que la alta cantidad de energía aplicada contribuye a que el proceso de enfriamiento se haga muy lento, lo que resulta en una poderosa alteración de la granulometría en la zona afectada de calor (HAZ)

Soldadura en ambiente húmedo.

La calidad deficiente de estas soldaduras se debe al problema de la transferencia de calor, la visibilidad del soldador y la presencia de hidrógeno en la atmósfera del arco. Cuando el metal base y la zona del arco están completamente rodeados de agua, no hay en la unión acumulación de calor y aumento de la temperatura del metal base. La alta temperatura, se reduce la calidad del metal de soldadura. La zona del arco está compuesta por una alta concentración de vapor de agua. La atmósfera del arco, de hidrógeno y oxígeno del vapor de agua, queda adsorbida en el metal fundido de la soldadura y contribuye a la porosidad y a la fractura por hidrogeno.

Además, las soldaduras que trabajan bajo el agua están limitados en su capacidad para ver manipular el arco de soldar. Bajo condiciones ideales, las soldaduras producidas, en ambientes húmedos con electrodos cubiertos, son marginales. Pueden usarse durante cortos periodos, pero se deben sustituir con soldaduras de buena calidad tan rápidamente como sea posible. Los adelantos en los electrodos para soldar bajo el agua están mejorando la calidad de las soldaduras en ambiente húmedo. Se han hecho esfuerzos para producir una burbuja de gas dentro de la que se pueda hacer la soldadura. Esta técnica no ha podido asegurar soldaduras de buena calidad con electrodos cubiertos en ambiente húmedo.

La fuente de poder siempre debe ser una máquina de corriente directa, con una capacidad de 300 o 400 Amperes. A menudo se usan máquinas de soldar de motor generador para trabajos bajo el agua y en ambiente húmedo. Se debe conectar el bastidor o tierra de la máquina de soldar con el barco. El circuito de soldadura debe incluir un interruptor de positivo, generalmente un interruptor de cuchillas, que se maneja desde la superficie bajo el mando del buzón-soldador. El interruptor de cuchillas en el circuito del electrodo debe ser capaz de cortar la totalidad de la corriente de soldar. Se necesita por razones de seguridad. La corriente de soldar debe conectarse al porta electrodo sólo cuando el soldador esté soldando. Se usa corriente directa con electrodos negativo (polaridad directa). Se emplean porta-electrodos para soldar bajo el agua tiene cavidad para dos tamaños de electrodos, generalmente de 4.8mm (3/16"). Los tipos de electrodos que normalmente se usan cumplen con la clasificación AWS E6012, y deben ser impermeables. Esto se hace envolviendo con cinta impermeable o sumergiéndolos en una mezcla de silicón de sodio u otro material impermeable. Hay a la venta electrodos para soldar bajo el agua.

El conductor para soldar y la tierra deben ser por lo menos cables 2/0, y el aislamiento debe ser perfecto. Si la longitud total del cable rebasa los 100m, deben colocarse dos en paralelo. Con los conductores en paralelo hasta el porta electrodo, el último metro puede ser de cable sencillo. Todas las conexiones deben estar aisladas cuidadosamente para que el agua no pueda llegar a hacer contacto con las paredes metálicas. Si se fuga el aislamiento, el agua de mar hará corriente con el metal conductor y parte de la corriente se fugará y no estará disponible en el arco. Además, habrá un rápido deterioro del cable de cobre en la fuga. El cable de tierra debe conectarse a la pieza de trabajo que se vaya a soldar a una distancia menor de 1m del punto donde se suelda; este soplete está completamente aislado y usa

abrazadera para sujetar el electrodo. Incluye una válvula de oxígeno y las conexiones para fijar el cable de soldar y una manguera de oxígeno. Está equipado para manejar electrodo tubular hasta de 7.9mm (5/16") en este proceso se inicia el arco del modo normal y el oxígeno se alimenta a través del agujero central del electrodo para dar la sección de corte. Se emplean las mismas conexiones eléctricas que ya se mencionaron.

EVALUACIÓN

Aplicación práctica

El anterior documento a pesar de no ser totalmente de mi autoría resume lo que necesita conocer un ingeniero mecánico sobre el proceso de soldadura de elementos, ya que este ocupa más o menos un 80% de las aplicaciones industriales y metalmecánica. Dejando a un lado tipos de uniones como los tornillos, remaches entre otros.

A nivel profesional se considera que el tener buen conocimiento sobre un proceso de fabricación en especial, en este caso la soldadura, garantiza una excelente asesoría por parte del profesional y una buena supervisión en la industria.

Este trabajo se enfoca hacia el estudiante de ingeniería cuya especialización sea el sector metalmecánico en el área de supervisión o de diseño, ya que no solo se enfoca al cálculo del tipo de soldadura sino que también toca la parte de procesos, para que el profesional pueda recomendar el proceso que mejor convenga.

Aplicación Laboral

Cuando estaba desarrollando este documento creía conocer todos los procesos y especificaciones de soldaduras, pero descubrí que me hacía mucho camino por recorrer, además me permitió ofrecer una buena asesoría a mis superiores y evaluar mejor, los planos que estaba elaborando, para proporcionarle a los operarios la información correcta en el momento que más lo necesitaban. Por eso considero necesario que el estudiante de ingeniería profundice más en este proceso, pero este documento se puede tomar como un manual para realizar correctamente los planos y seleccionar el proceso de soldadura que se económico y eficiente para la necesidad del momento.

En la actualidad voy a presentar este trabajo como manual, para el departamento de diseño que estoy liderando, con el fin de que todos los planos y las decisiones que se tomen frente a este proceso, sean consultada en este manual antes de plasmarse y entregarse a los operarios.

Así como también se entregará una copia al departamento de Seguridad Industrial, para que ellos hagan las recomendaciones necesarias a los operarios de soldadura en la empresa.

Ventajas:

1. Reducción en reproceso por mala aplicación de soldaduras
2. Correcta selección del procesos antes durante y después de la aplicación de la soldadura
3. Correcta representación gráfica en planos de fabricación
4. Reducción en la accidentalidad por la no adecuada selección de los elemento de protección o por falta de precaución al momento de usar los equipos de soldadura
5. Realización correcta de los cálculos de los cordones de soldadura a aplicar.

Desventajas:

1. Demora en la toma de decisiones.
2. Documentación de cada decisión que se tome
3. Revisión de los procesos aplicados actualmente
4. Mucha investigación para documentar los procesos
5. El rechazo de operarios empíricos que se resisten a seguir un rutero de procedimiento.

Ruta Crítica de implementación

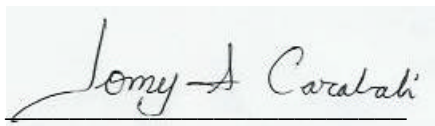
1. Evaluación de los procesos actuales.
2. Aplicación de metodología de acuerdo a un manual adecuado que se pueda aplicar en ese sitio.
3. Capacitación a operarios para adoptar la metodología.
4. Reuniones periódicas con el personal involucrado para recoger experiencias y hacer correcciones.
5. Corrección del manual.
6. Evaluar constantemente el avance del proceso.
7. Implementar definitivamente el manual para que operarios nuevos adopten como suya la metodología de la empresa.
8. Hacer actualizaciones periódicas al proceso y documentarlo para que no se des-actualice.

Correlaciones:

1. Se parte de una necesidad para luego presentar alternativas de soluciones.
2. El proceso de soldadura se puede dividir en elemento pequeños.
3. El ingeniero o diseñador es responsable en la selección en y/o aplicación de uno u otro proceso de soldadura
4. La soldadura acorta tiempos de fabricación pero desplaza mano de obra y produce gran contaminación que debe buscarse la forma de reducir al mínimo y proporcionar alternativas para las personas que son desplazadas.
5. El proceso de soldadura es un eslabón en la cadena de la fabricación de un producto y otros productos son parte del proceso de soldadura.
6. El conocimiento se encuentra fácilmente en todos lados pero prima la experimentación antes que la documentación, puesto que todo lo documentado en este trabajo primero fue experimentado para luego ser analizado y documentado.
7. Alguno procesos de soldadura fueron descubiertos por accidente y otros solo son la evolución de otro procesos.
8. A través de la discusión entre diseñadores, ingenieros y operarios se ha mejorado el proceso de soldadura y se ha corregido la forma como se aplica.
9. Este documento es una reunión de varios autores y de experiencias propias, partiendo de la premisa del no conocimiento absoluto.
10. En el proceso de soldadura se ha mirado atrás para mejorar los procesos que se hacen la actualidad, partiendo de un proceso complejo y haciéndolo en algo sumamente sencillo.

CHECK LIST

- ✓ Yo tengo una página de cobertura similar al ejemplo de la página 89 o 90 del Suplemento.
 - ✓ Yo incluí una tabla de contenidos con la página correspondiente para cada componente.
 - ✓ Yo seguí el contorno propuesto en la página 91 o 97 del Suplemento con todos los títulos o casi.
 - ✓ Yo usé referencias a través de todo el documento según el requisito de la página 92 del Suplemento.
 - ✓ Mis referencias están en orden alfabético al final según el requisito de la página 92 del Suplemento.
 - ✓ Cada referencia que mencioné en el texto se encuentra en mi lista o viceversa.
 - ✓ Yo utilicé una ilustración clara y con detalles para defender mi punto de vista.
 - ✓ Yo utilicé al final apéndices con gráficas y otros tipos de documentos de soporte.
 - ✓ Yo utilicé varias tablas y estadísticas para aclarar mis ideas más científicamente.
 - ✓ Yo tengo por lo menos 50 páginas de texto (15 en ciertos casos) salvo si me pidieron lo contrario.
 - ✓ Cada sección de mi documento sigue una cierta lógica (1,2,3...)
 - ✓ Yo no utilicé caracteres extravagantes, dibujos o decoraciones.
 - ✓ Yo utilicé un lenguaje sencillo, claro y accesible para todos.
 - ✓ Yo utilicé Microsoft Word (u otro programa similar) para chequear y eliminar errores de ortografía.
 - ✓ Yo utilicé Microsoft Word / u otro programa similar) para chequear y eliminar errores de gramática.
 - ✓ Yo no violé ninguna ley de propiedad literaria al copiar materiales que pertenecen a otra gente.
- _____ Yo afirmo por este medio que lo que estoy sometiendo es totalmente mi obra propia.



Firma del Estudiante

09 de Marzo de 2006

Fecha

¿Cómo aplicaría su trabajo a su vida profesional y laboral?

¿De 5 ventajas y desventajas que se obtendrían de la aplicación de su trabajo; de preferencia con datos de variables medibles a nivel local e internacional?

¿Desarrolle una ruta crítica o un sistema equivalente para la implementación en un proyecto específico del tópico desarrollado?

¿De un mínimo de 10 correlaciones de su trabajo con el libro de “Las Conexiones Ocultas” del autor Fritjo Capra?