

## Introducción a la Soldadura Industrial

**Metalúrgica**

**Metalografía**

**Química**

**Ensayos de materiales**

**Electricidad**

**Electrónica**

**Normas y códigos de construcción**

## Proceso de soldadura

Nos referimos a la forma en que los equipos nos ayudan a realizar la unión de los metales a unir, en este caso hay una gran variedad de procesos dada por la forma de incorporando calor al baño líquido y a esto se le adiciona la posibilidad de incorporar un material de aporte., Estos métodos , que pueden ser por intermedio de arco eléctrico (cortocircuito), por intermedio de combustión de gases o también podemos encontrar por presión y fricción, etc,. Por supuesto la mayor variedad es sin duda en el método del arco eléctrico por cortocircuito controlado.

En este punto podemos nombrar los procesos más conocidos:

1-Por combustión de gases : Autógena, Aluminotermia, por exposición etc.

2- Soldadura por fricción : en esta caso las más conocidas son dos, la lineal y la Rotativa

3- Por Arco eléctrico: Soldadura con electrodo revestido (SMAW), soldadura semiautomática o MIG/MAG (GMAW), Soldadura TIG (GTAW), soldadura por arco sumergido (SAW), soldadura con alambre tubulares (FCAW), Brazing, Soldering, Laser, etc,. También tenemos que nombrar que dentro del proceso de soldadura por arco eléctrico y, que ya hace más de 30 años se está trabajando con el control del arco, obteniendo así muchas más variantes dentro de la misma con los arcos pulsados, como proceso STT, Rapid Arc, Rapid X, Pulse, etc.

## Procedimiento de Soldadura

Cuando hablamos de soldadura en los procesos industriales, ya sea de gasoductos, tanques de almacenamientos, astilleros, recipientes a presión, nuclear, puentes, estructuras metálicas off-Shore etc. normalmente se confecciona un procedimiento que se denomina EPS, Especificación del Proceso de Soldadura, (WPS en Inglés) este procedimiento el cual se desarrolla bajo ciertas normas y códigos y donde los encargados de confeccionarlos son los Inspectores de Soldadura Nivel III, ellos generalmente son Ingenieros (algunos no lo son) que ya pasaron por los niveles I y II después de varios años de experiencia en el rubro. Los niveles I y II tienen otras responsabilidades como calificar soldadores, inspeccionar uniones y ensayos etc. Para llegar a ser inspector se debe realizar un curso por cada nivel y un examen final anual en el IAE , instituto Argentino de Siderurgia.

Para poder confección confeccionar un procedimiento se debe tener conocimiento de muchas variables que deben incluirse en el mismo, como que Proceso a utilizar, Material a Soldar, espesor, diseño de junta, tipo de limpieza requerida si es necesario, temperaturas de pre-calentamiento y pos soldadura y lo más importante los parámetros de soldadura, esto es, corriente y voltaje de soldadura, velocidad de avance y otros parámetros dependiendo del proceso. Por supuesto que para realizar el procedimiento se deben hacer distintos tipos de ensayos previos a la unión soldada que siempre debe ser realizada por un soldador calificado, de estos dos puntos, el de ensayos y calificación de soldadores hablaremos más adelante. Una vez realizado el EPS teórico, este se aplica prácticamente y se lo registra, o sea, se debe realizar la prueba real con un soldador calificado y si logran los resultados esperados, se crea un Registro de calificación de procedimiento RCP (PQR en inglés) que respalda el EPS.

## Soldador

Los Soldadores que se requieren para este tipo de procesos industriales con EPS, deben ser Soldadores Calificados, Estos para ser calificados por un ente calificador deben rendir un examen práctico de acuerdo a lo que se requiera, ellos son especialistas en cada proceso y también en cada posición de soldadura que se requiera, como sabemos, al haber varios procesos y al estar las uniones en diferente posición, ya sea , bajo mano, en vertical ascendente o descendente, o sobre cabeza, la dificultad que se presenta es distinta y no todos son capaces de lograrlo, si rinde y aprueba se ingresa su registro y se denomina, WPQR es la abreviatura de Welder Performance Qualification Record, que traducido al español significa "Registro de Calificación del Rendimiento del Soldador", en términos simples es el documento escrito que demuestra que un soldador es calificado (conocido comúnmente como Homologado),

Resumiendo: Primeramente, para tomar examen a los soldadores y generar los WPQR es necesario tener un WPS, sin el WPS no se puede realizar las pruebas a los soldadores. Por tanto, vamos a realizar un WPS, sin embargo, hay que tomar en cuenta que, para tener un WPS antes se debe tener un PQR, entonces primeramente hay que obtener un PQR. De tal forma ya nos damos cuenta, estos documentos están relacionados bastante, hasta el punto que son dependientes entre sí. En conclusión, no puede haber WPQR si no hay un WPS, y no existe WPS si no hay o esta soportado por un PQR.

## Ensayos

Los ensayos que se aplican son varios pero los vamos a dividir en dos grupos:

a. Ensayos destructivos: estos son los que se realizan antes de definir el procedimiento de soldadura y son los que me definen si realmente el procedimiento que estoy empleando está bien desarrollado, como ejemplo podemos imaginar un cordón de soldadura en un recipiente a presión, para ello debemos simular la misma en un chapa similar, en condiciones similares, cortar un cupón y a este realizarle ensayos de Tracción, Doblado, Charpy, dureza, termofluencia, Nick-Braek, etc.. según lo que requiera la misma. Cuando se realizan procedimientos estos se confeccionan de acuerdo a la norma que rija ese trabajo y al país que lo requiera, como ejemplo la Norma API 1104 para cañería, la Norma ASM 9 para tanques etc, cada norma exige un tipo de ensayo adecuado al trabajo de soldadura a realizar. También algunos de estos ensayos se utilizan para calificar la habilidad de un soldador, todo esto está bajo las normas respectivas.

b. Ensayos NO Destructivos: Este tipo de ensayos en soldadura se utilizan para verificar el estado de un cordón de soldadura, como el nombre lo indica no afectan al mismo, solo determinan si la misma está con condiciones de resistir las sollicitaciones mecánicas y si está de acuerdo a las normas y procedimientos requeridos para la misma, básicamente consisten en encontrar distintos tipos de discontinuidades superficiales o dentro de la misma, esas pueden ser, falta de fusión, poros, escoria atrapada, fisuras, etc. los ensayos más utilizados son : tintas penetrantes, Rayos X, Rayos Gamma, Ultrasonido (Phased Array) o simplemente inspecciones visuales realizadas por un inspector de soldadura idóneo.

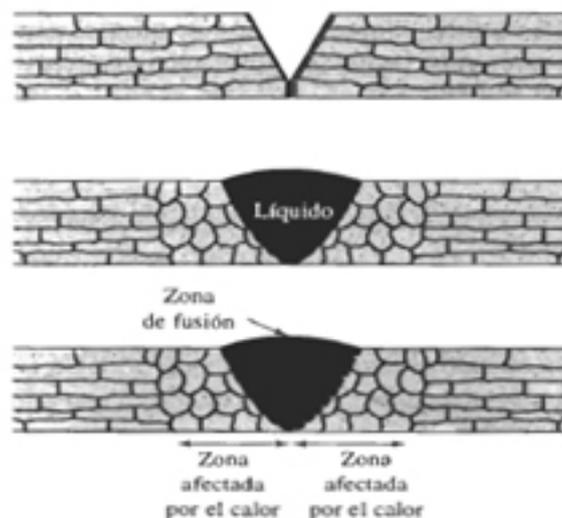
## Tratamientos térmicos / calor aportado

En este punto debemos aclarar que en una gran cantidad de casos los materiales a soldar se deben precalentar e inclusive mantener la temperatura entre pasadas de soldadura, una vez terminado el cordón, en ocasiones es necesario realizar un enfriamiento lento y otra veces no, y en algunos casos no tan frecuentes se recurre a tratamientos térmicos para llegar a la resistencia, resiliencia, dureza o tenacidad requerida. Entonces hablamos de:

- Calentamiento pre soldadura: este tipo de proceso en la mayoría de los casos se hace con "soplones" oxiacetilénicos pero también se puede realizar con mantas térmicas
- Mantenimiento de temperatura durante soldadura o Heat Input: es el calor que debe mantener el material soldado, podemos necesitar que no supere cierto valor y que no baje de cierto valor, el Heat Input se da por el procedimiento de soldadura que apliquemos y depende de la corriente de soldadura, del voltaje aplicado y de la velocidad de desplazamiento, existen equipos que ese valor lo da en el display de la misma máquina, de lo contrario hay que calcularlo,
- Tratamiento Pos soldadura : debido a la transformación de grano metalográfico durante el proceso, muchas veces se requiere o enfriamiento rápido, que se puede lograr introduciendo la pieza en algún líquido como aceite o enfriamiento lento que se realiza con mantas y más rudimentariamente en cal.

## Metalografía en soldadura

Como sabemos ante cambios de temperatura en los metales hay cambios metalográficos, éstos a su vez provocan cambios en sus propiedades mecánicas, y eso es lo que en la mayoría de los casos no es lo requerido. A continuación, vemos un esquema de una placa con un cordón de soldadura:



En los procesos de soldadura por fusión, una porción de los metales a unir se funde y en casi todos los casos, se agrega un metal que se funde con el proceso que elijamos. La zona donde se tiene metal líquido se conoce como zona de fusión. Cuando posteriormente la zona de fusión solidifica, las piezas originales de metal quedan unidas entre sí. Y la zona afectada por el calor del metal base se denomina ZAC, en esta zona no hubo fusión pero sí transformación metalográfica. Durante la solidificación de la zona de fusión, no se requiere nucleación. El sólido simplemente empieza a crecer en forma columnar a partir de granos existentes. El crecimiento de los granos sólidos en la zona de fusión a partir de granos preexistentes se conoce como crecimiento epiaxial.

La estructura y las propiedades de la zona de fusión dependen de las variables de los procesos de soldadura. La adición de agentes inoculantes a la zona de fusión reduce el tamaño de grano. Velocidades rápidas de enfriamiento o tiempos cortos de solidificación promueven una microestructura más fina y propiedades de mayor dureza pero menor tenacidad, hay factores que incrementan la velocidad de enfriamiento, y son: un mayor espesor del material; zonas de fusión más pequeñas; temperatura inicial del metal baja y ciertos procesos de soldadura.

## Defectos y fisuración

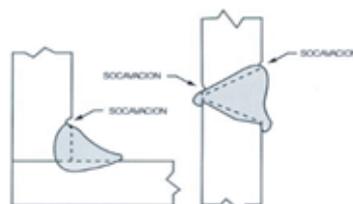
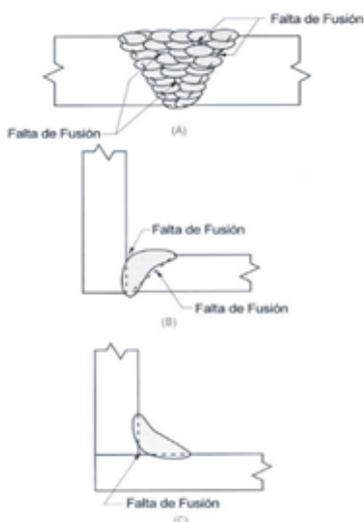
En un proceso de soldadura, ya sea en cualquier procedimiento o metales a soldar, intervienen muchos factores, la habilidad del soldador, la calidad y conservación de los consumibles y equipos, los parámetros de diseño, las condiciones operativas, el estado del material base y también el clima. Uno de los factores más importantes es la incorporación de Hidrógeno molecular al baño de soldadura, este se puede incorporar involuntariamente por medio del tratamiento no adecuado de los consumibles utilizados en la soldadura como también el tratamiento inadecuado del metal a soldar, causando un punto de concentración de tensiones en el metal soldado y así provocando probablemente fisuras indeseadas.

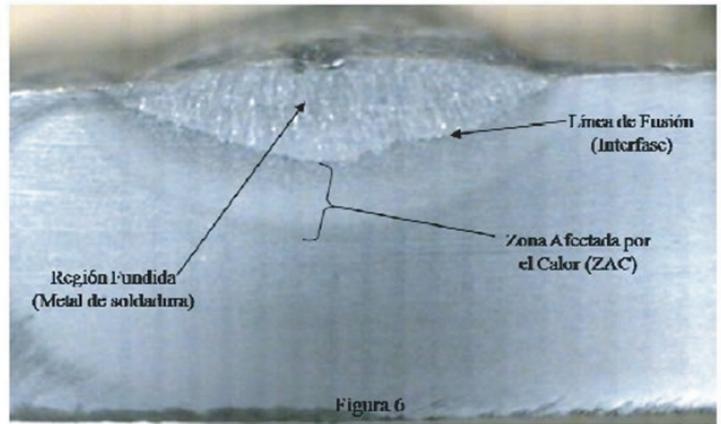
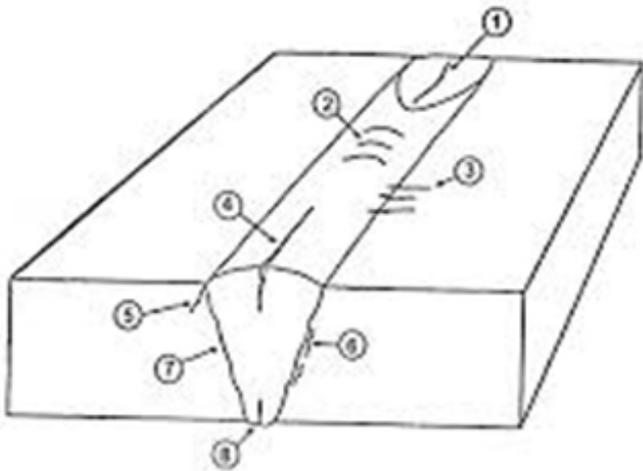
Todo y cada uno de estos factores pueden afectar directamente a la buena terminación de un cordón sano.

Los defectos en soldadura los podemos nombrar como los siguientes:

- Poros
- Falta de fusión
- Falta de penetración
- Fisuración en frío
- Fisuración en caliente
- Inclusión de escorias
- Cordón fuera de norma
- Hidrógeno Difusible

Vemos algunos ejemplos:





## Soldabilidad

Desde la perspectiva metalúrgica, durante el proceso de soldadura en estado líquido, una región muy pequeña del material a ser soldado alcanza el estado líquido, para luego volver a solidificar. El aporte térmico suministrado se utiliza para fundir el metal de aporte (si es que se utiliza), así como fundir parcialmente el metal base, por lo que el resto se transfiere a través del metal de soldadura, modificando la microestructura (y propiedades mecánicas) inicialmente presentes.

Los aceros más comunes son soldables, pero en ciertos tipos de acero, para lograr un resultado óptimo, se deben implementar procedimientos especiales para alcanzar soldaduras con altos estándares de calidad. El conocimiento amplio del material a soldar y su función estructural o funcional -conocimiento que incide en la decisión del proceso y sus parámetros-, determinarán también los posibles problemas que pueden surgir al aplicar un proceso específico. Por ejemplo, los aceros de baja aleación, endurecidos y templados, pueden perder sus propiedades mecánicas (resistencia y dureza) durante el proceso de soldadura.

Una alta conductividad térmica provocará un rápido ingreso de calor y también un enfriamiento más acelerado, por lo que la adición insuficiente de calor causará falta de fusión y, en segmentos gruesos, una penetración incompleta; mientras que el ingreso de calor excesivo puede provocar un quemado y agujereado del material. Por esta razón se debe tener con suficiente antelación la información completa sobre el material y la condición del trabajo.

## Concepto de Carbono Equivalente

Un parámetro útil para evaluar la soldabilidad de los aceros es el concepto de CARBONO EQUIVALENTE (CEQ).

Este consiste en una ecuación que relaciona la composición química del material. Hay distintas ecuaciones para calcular el CEQ, veremos solo dos de ellas.

El Código API 1104- A B presenta la ecuación desarrollada por el Instituto Internacional de Soldadura, y cuya expresión es la siguiente:

Como regla general, un acero se considera soldable si el carbono equivalente (CEI<sub>W</sub>) según la fórmula del International Institute of Welding es menor a 0,4%. Este valor estaría indicando cómo los elementos de aleación presentes en el acero afectan las transformaciones características favoreciendo la formación de microestructuras susceptibles a fisuración por hidrógeno en la ZAC. El carbono equivalente provee una indicación del tipo de microestructura esperada en la ZAC en función de la velocidad de enfriamiento desde una temperatura máxima.

## Cálculo de costos

Dependiendo de la obra a realizar puede ser necesario realizar este tipo de cálculos, dado que en la mayoría de los casos el valor de consumible de soldadura puede llegar a ser de un valor muy es insignificante en el valor total de la obra, lo que si hay que tener en cuenta que quizá un cambio de proceso o un solo cambio de parámetros generaría un ahorro significativo.

El cálculo de consumible que se realiza una vez elegido el procedimiento a ejecutar esta está basado en el volumen que ocupa la junta por el peso del metal depositado, y a esto se lo divide por el rendimiento del consumible, que dependiendo si es electrodo o alambre o varilla tienen valores distintos de rendimiento. Además de este cálculo rígido se realizan los calculoscálculos de tiempo muertos desperdicios etc. hay muchos estudios en este tema.

Otro de los factores a tener en cuenta es el valor y la necesidad inmediata en tiempo de contar con el material soldado, esto puede cambiar la ecuación drásticamente. Directamente relacionado al cálculo de costoas está el cálculo de tiempos de soldadura, este último depende mucho del metal depositado de acuerdo al proceso utilizado, por ejemplo un equipo SMAW (electrodo revestido) puede llegar a aportar no más de 1,5 Kg por hora, mientras un proceso FCAW (alambre tubular) puede llegar a duplicar o triplicar este número, pero no siempre es posible el reemplazo de un proceso por otro.

