

**CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES**

**DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO**



**INFLUENCIA DE LOS PARAMETROS DE SOLDADURA Y SU EFECTO EN  
LA CALIDAD DE UN RECIPIENTE A PRESION PARA UN CALENTADOR DE  
AGUA FABRICADO POR EL PROCESO DE GMAW**

**POR**

**ERNESTO MUÑIZ VALDES**

**MONOGRAFIA**

**EN OPCION COMO ESPECIALISTA EN TECNOLOGÍA  
DE LA SOLDADURA INDUSTRIAL**

**Saltillo Coahuila**

**Diciembre 2006**

**CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES**

**DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO**



**INFLUENCIA DE LOS PARAMETROS DE SOLDADURA Y SU EFECTO EN  
LA CALIDAD DE UN RECIPIENTE A PRESION PARA UN CALENTADOR DE  
AGUA FABRICADO POR EL PROCESO GMAW**

**POR**

**ERNESTO MUÑIZ VALDES**

**MONOGRAFÍA**

**EN OPCION COMO ESPECIALISTA EN TECNOLOGÍA  
DE LA SOLDADURA INDUSTRIAL**

**Saltillo Coahuila**

**Diciembre 2006**

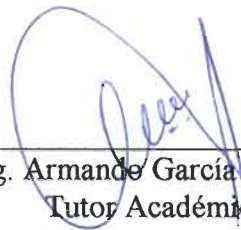
**Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V.**

**Gerencia de Desarrollo del Factor Humano**

**División de Estudios de Postgrado**

Los miembros del Comité Tutorial recomendamos que la monografía “Influencia de los Parámetros de Soldadura y su efecto en la calidad de un Recipiente a Presión para un Calentador de Agua Fabricado por el Proceso GMAW”, realizada por el alumno Ernesto Muñiz Valdés con número de matrícula 05ES-30 sea aceptada para su defensa como Especialista en Tecnología de la Soldadura Industrial.

**El Comité Tutorial**



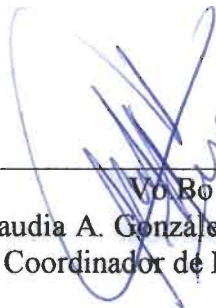
Ing. Armando García Sánchez  
Tutor Académico



Sr. Rodrigo Guerrero Hernández  
Tutor en Planta



Dr. Felipe Arturo Reyes Valdés  
Asesor



V.O. Bo  
Claudia A. González Rodríguez  
Coordinador de Postgrado

# ÍNDICE

	<b>PÁGINA</b>
<b>1. SÍNTESIS</b>	1
<b>2.OBJETIVO</b>	2
<b>3.JUSTIFICACIÓN</b>	3
<b>4.INTRODUCCIÓN</b>	4
<b>5.CLASIFICACIÓN DE RECIPIENTES Y DE TAPAS</b>	5
<b>5.1 Tipos de Recipientes</b>	5
5.1.1 Por su uso	5
5.1.2 Por su forma	6
5.1.3 Recipientes abiertos	7
5.1.4 Recipientes cerrados	8
5.1.5 Tanques cilindricos de fondo plano	8
5.1.6 Recipientes cilíndricos horizontales y verticales con cabezas formadas	9
5.1.7 Recipientes esféricos	9
<b>5.2 Tipos de Tapas de Recipientes Bajo Presión Interna</b>	10
5.2.1 Tapas planas	12
5.2.2 Tapas toriesféricas	12
5.2.3 Tapas semielípticas	13
5.2.4 Tapas semiesféricas	13
5.2.5 Tapa 80:10	14
5.2.6 Tapas cónicas	14
5.2.7 Tapas toricónicas	15
5.2.8 Tapas planas con ceja	15
5.2.9 Tapas únicamente abombadas	16

<b>6. PROCESOS DE SOLDADURA POR ARCO</b>	<b>17</b>
<b>6.1 Soldadura GMAW</b>	<b>18</b>
6.1.1 Método de Aplicación	19
6.1.2 Equipo para Soldar	20
6.1.3 Fuente de Poder	22
6.1.4 Alimentador del Alambre	22
6.1.5 Gas de protección	24
6.1.6 Pistola para soldar	25
6.1.7 Ventajas	26
<b>6.2 Soldadura por Arco Sumergido</b>	<b>26</b>
6.2.1 Método de Aplicación	28
6.2.2 Equipo	28
6.2.3 Fuente de Poder para Soldar	29
6.2.4 Alimentador del Alambre	30
6.2.5 Antorcha o Pistola para Soldar	31
6.2.6 Electrodo Continuo o Alambre	31
6.2.7 Fundentes	32
<b>7. PROCESOS DE SOLDADURA POR RESISTENCIA</b>	<b>34</b>
<b>7.1 Soldadura de Resistencia Por Puntos</b>	<b>35</b>
7.1.1 Máquinas Soldadoras por Puntos	36
7.1.2 Tipos de Uniones	39
7.1.3 Calidad del Soldado por Puntos	39
<b>7.2 Soldadura por proyección</b>	<b>40</b>
7.2.1 Tipos de Uniones	42
7.2.2 Diseño de Proyecciones	43

<b>8. PARAMETROS A CONTROLAR EN EL PROCESO GMAW</b>	<b>44</b>
8.1 Controles de formación de arco (striking)	46
8.2 Controles de arranque (Start)	46
8.3 Controles de soldadura (weld)	47
8.4 Controles de cráter	47
8.5 Amperaje	47
8.6 Voltaje	48
8.7 Velocidad de avance	48
8.8 Extension del electrodo (Stick out)	49
8.9 Metal de aporte	50
8.9.1 Alambre Tipo ER 70S 6	51
8.10 Gas de protección	52
8.10.1 Tipos de gases	53
8.10.2 Argón + CO <sub>2</sub>	54
8.11 Ángulos del electrodo	54
<b>9. CALIDAD EN LA SOLDADURA Y SUS DISCONTINUIDADES</b>	<b>56</b>
9.1 Programa de control de calidad	57
9.2 Inspección	62
9.3 Defectos de soldadura	63
9.3.1 Falta de penetración	65
9.3.2 Inclusiones	66
9.3.3 Soldadura agrietada	67

9.3.4	Socavados	68
9.3.5	Porosidad	69
9.3.6	Porosidad tipo túnel	71
9.3.7	Excesivas salpicaduras	71
9.3.8	Distorsión	72
9.3.9	Falta de fusión	73
<b>10</b>	<b>CASOS DE ESTUDIO</b>	<b>74</b>
<b>11</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>76</b>
<b>12</b>	<b>TRABAJOS FUTUROS</b>	<b>79</b>
<b>13</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>80</b>

# 1.

## SÍNTESIS

El principal problema al que nos enfrentamos en la manufactura del recipiente a presión para el calentador de agua son las fugas que se presentan en las diferentes uniones soldadas por los distintos procesos utilizados. Se realizó primero una clasificación de recipientes y tapas utilizadas para la fabricación de los tanques a presión existentes, para poder identificar a cual pertenecen los utilizados en la planta Calentadores Cinsa. Posteriormente se hizo una descripción de los diferentes procesos utilizados para la fabricación del recipiente como es principalmente el GMAW (Gas metal Arc Welding) y algunos otros como el SAW (Submerged Arc Welding) y RW, se determinaron los principales parámetros a controlar y la influencia que tienen éstos en la calidad del recipiente, así como los más óptimos para garantizar cumplir con los más altos estándares de calidad en la fabricación del recipiente a presión para el calentador de agua, se describe también cuales son y a que se deben los principales defectos, así como su solución. Se realizan pruebas una vez determinado los parámetros a controlar para poder disminuir el porcentaje de rechazo. Finalmente se proponen las soluciones a implementar para lograr la optimización del proceso de soldadura por GMAW (Gas Metal Arc Welding) se contempla como trabajo futuro la implementación de la nueva generación de máquinas para soldar para evitar el chisporroteo y así evitando paros para limpieza de consumibles.



## 2.

# OBJETIVO

La elaboración del presente trabajo ha sido realizado con el objetivo de:

- Mostrar los principales fundamentos del proceso GMAW utilizado para la manufactura del recipiente a presión para un calentador de agua.
- Investigar cual es la influencia de los distintos parámetros de soldadura, así como también el efecto provocado por un mal ajuste de estos en la manufactura de un recipiente a presión para un calentador de agua mediante el proceso GMAW.
- Buscar la causa raíz de los principales problemas de calidad en esta etapa del proceso de fabricación.
- Establecer parámetros óptimos del proceso de soldadura GMAW para la manufactura del recipiente a presión para el calentador de agua.

### 3.

## JUSTIFICACIÓN

Actualmente en la fabricación del recipiente para el calentador de agua existe alrededor de un 5% de piezas que son rechazadas para ser reprocesadas por no cumplir con los distintos estándares de calidad requeridos, presentándose fugas en las pruebas realizadas, detectándose principalmente en las uniones de soldadura aplicadas mediante el proceso GMAW.

Por otra parte, al mejorar la calidad se logra una reacción que nos trae importantes beneficios. Se reducen el reproceso, los errores, los retrasos, los desperdicios y el número de artículos defectuosos, además, disminuye la devolución de artículos y las quejas de los clientes. Al lograr tener menos deficiencias se reducen los costos y se liberan recursos materiales y humanos que se pueden destinar a elaborar más productos, resolver otros problemas de calidad para proporcionar un mejor servicio al cliente.

Al mejorar la calidad y disminuir las deficiencias, se incrementa la productividad.

## 4.

# INTRODUCCIÓN

Antes de entrar a detalles respecto a la influencia de los parámetros de soldadura y su efecto en la calidad de un recipiente a presión para un calentador de agua es necesario conocer los diferentes tipos de recipientes y de tapas o cabezas formadas que existen para poder identificar a cual pertenecen las utilizadas en la planta CINSA.

Es esencial comprender los fundamentos de los diferentes procesos de soldadura utilizados en la fabricación del recipiente a presión para poder comprobar que el mejor es el proceso Gas Metal Arc Welding (GMAW) y poder determinar cuales son los parámetros a controlar, así como también, las diferentes discontinuidades que nos puede provocar un mal ajuste de estos y como poder resolverlos, para garantizar la calidad en la soldadura de nuestros productos.

## **5.**

# **CLASIFICACIÓN DE RECIPIENTES Y DE TAPAS**

### **5.1 TIPOS DE RECIPIENTES**

Existen numerosos tipos de recipientes que se utilizan en las plantas industriales o de procesos. Algunos de estos tienen la finalidad de almacenar sustancias que se dirigen o convergen de algún proceso, este tipo de recipientes son llamados en general tanques, la gran mayoría de los recipientes metálicos se fabrican utilizando soldadura.

Los diferentes tipos de recipientes que existen, se clasifican de la siguiente manera:

#### **5.1.1 Por su uso**

Los podemos dividir en recipientes de almacenamiento y en recipientes de procesos.

Los primeros nos sirven únicamente para almacenar fluidos a presión y de acuerdo con sus servicios son conocidos como tanques de almacenamiento, tanques de día, tanques acumuladores, etc.

### **5.1.2 Por su forma**

Los recipientes a presión pueden ser cilíndricos o esféricos. Los primeros son horizontales o verticales y pueden tener en algunos casos, chaquetas para incrementar o decrecer la temperatura de los fluidos según sea el caso. Los esféricos se utilizan generalmente como tanques de almacenamiento, y se recomiendan para almacenar grandes volúmenes esféricos a altas presiones. Puesto que la forma esférica es la forma natural que toman los cuerpos al ser sometidos a presión interna esta sería la forma más económica para almacenar fluidos a presión sin embargo en la fabricación de estos es mucho más cara a comparación de los recipientes cilíndricos.

Los tipos más comunes de recipientes pueden ser clasificados de acuerdo a su geometría como:

#### 1.- Recipientes Abiertos.

##### 1.1 Tanques Abiertos.

#### 2.- Recipientes Cerrados.

##### 2.1 Tanques cilíndricos verticales, fondo plano.

##### 2.2 Recipientes cilíndricos horizontales y verticales con cabezas formadas.

##### 2.3 Recipientes esféricos.

Indicaremos algunas de las generalidades en el uso de los tipos más comunes de recipientes.

### 5.1.3 Recipientes abiertos

Los recipientes abiertos son comúnmente utilizados como tanque igualador o de oscilación como tinas para dosificar operaciones donde los materiales pueden ser decantados como: desecadores, reactores químicos, depósitos, etc. Obviamente este tipo de recipiente es más económico que el recipiente cerrado de una misma capacidad y construcción.

La decisión de que un recipiente abierto o cerrado sea usado dependerá del fluido a ser manejado y de la operación. Estos recipientes son fabricados de acero, fibra de vidrio, asbesto, etc.

Sin embargo en los procesos industriales son construidos de acero por su bajo costo inicial y fácil fabricación.

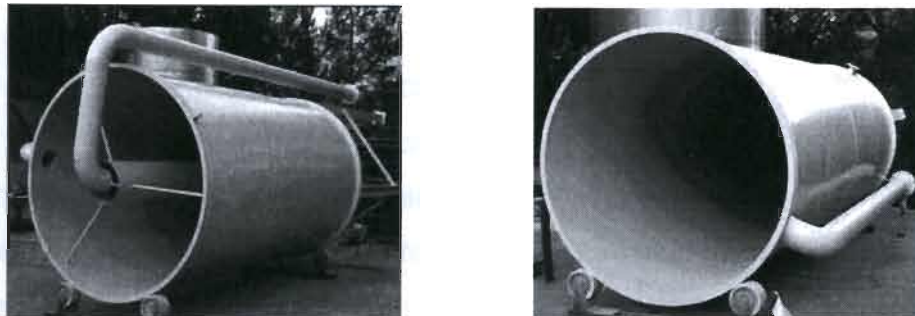


Figura 5.1 Recipientes abiertos

#### 5.1.4 Recipientes cerrados

Fluidos combustibles, tóxicos o gases finos deben ser almacenados en recipientes cerrados. Sustancias químicas peligrosas, tales como ácidos o sosa cáustica son menos peligrosas si son almacenadas en recipientes cerrados.



Figura 5.2 Recipientes cerrados

#### 5.1.5 Tanques cilíndricos de fondo plano

El diseño en el tanque cilíndrico vertical operando a la presión atmosférica, es el tanque cilíndrico con un techo cónico y un fondo plano descansando en una cimentación compuesta de arena, grava o piedra triturada. En los casos donde se desea usar una alimentación de gravedad, el tanque es levantado arriba del terreno y el fondo plano debe ser incorporado por columnas y vigas de acero.



Figura 5.3 Recipiente cilíndrico de fondo plano

### 5.1.6 Recipientes cilíndricos horizontales y verticales con cabezas formadas

Son usados cuando la presión de vapor del líquido manejado puede determinar un diseño más resistente.

Varios códigos han sido desarrollados por asociaciones americanas como el American Petroleum Institute (A.P.I.) y la American Society of Mechanical Engineers (A.S.M.E.) para gobernar el diseño de tales recipientes. Una gran variedad de cabezas formadas son usadas para cerrar los extremos de los recipientes cilíndricos. Las cabezas o tapas formadas incluyen la semiesférica, elíptica, toriesférica, cabeza estándar común y toricoidal. Para propósitos especiales las tapas planas son usadas para cerrar un recipiente abierto.

Sin embargo las cabezas planas son raramente usadas en recipientes grandes.



Figura 5.4 Recipientes cilíndricos horizontales y verticales de cabezas formadas.

### 5.1.7 Recipientes esféricos

Para el almacenamiento de grandes volúmenes de materiales bajo presión normalmente se hace en recipientes esféricos. Las capacidades y presiones utilizadas varían grandemente. Para los recipientes mayores, el rango de capacidad es de 1000 hasta 25000 Psi (70.31 - 1757.75 Kg/cm<sup>2</sup>). Y de 10 hasta 200 Psi (0.7031 - 14.06 Kg/cm<sup>2</sup>) para los recipientes menores.



Cuando una masa dada de gas esta almacenada bajo la presión es obvio que el volúmen de almacenamiento requerido será inversamente proporcional a la presión de almacenamiento.

En general para una masa dada, el recipiente esférico es más económico para grandes volúmenes y bajas presiones de operación. A presiones altas de operación y almacenamiento, el volumen de gas es reducido y por lo tanto en tipo de recipientes cilíndricos es más económico.

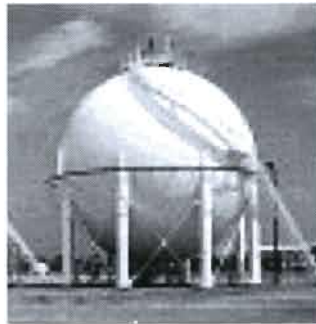
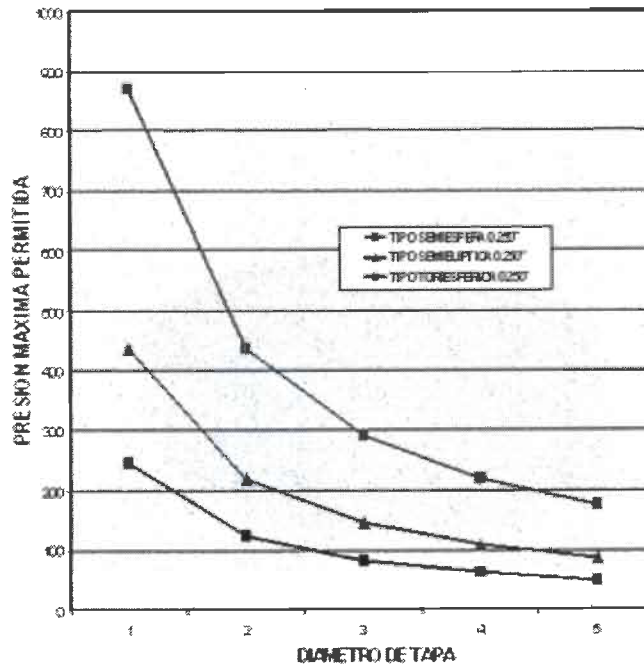


Figura 5.5 Recipientes esféricos

## **5.2 TIPOS DE TAPAS DE RECIPIENTES BAJO PRESION INTERNA**

Los recipientes sometidos a presión pueden estar contruidos por diferentes tipos de tapas o cabezas. Cada una de estas es más recomendable a ciertas condiciones de operación como presión, cargas, tensiones capacidad volumétrica. figura 3.6. Así como por su costo monetario.

GRAFICA DE PRESION MAXIMA PERMITIDA POR TIPO DE TAPA EN DIFERENTES DIAMETROS



GRAFICA DE CAPACIDAD VOLUMETRICA POR TIPO DE TAPA EN DIFERENTES DIAMETROS

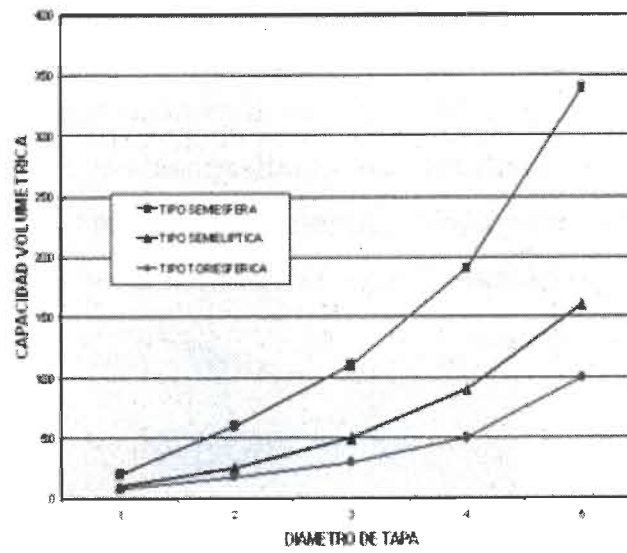


Figura 5.6 Grafica de presión y capacidad por tipo de tapa.

### 5.2.1 Tapas planas

Se utilizan para recipientes sujetos a presión atmosférica, generalmente, aunque en algunos casos se usan también en recipientes a presión. Su costo es el más bajo. Se utilizan también como fondos de tanques de almacenamiento de grandes dimensiones.



Figura 5.7 Tapa plana

### 5.2.2 Tapas toriesféricas

Son las de mayor aceptación en la industria, debido a su bajo costo y a que soportan grandes presiones manométricas, su característica principal es que el radio del abombado es aproximadamente igual al diámetro. Se pueden fabricar en diámetros desde 0.3 hasta 6 mts. (11.8 - 236.22 pulgs.).



Figura 5.8 Tapa toriesférica.

### 5.2.3 Tapas semielípticas

Son empleadas cuando el espesor calculado de una tapa toriesférica es relativamente alto, ya que las tapas semielípticas soportan mayores presiones que las toriesféricas. El proceso de fabricación de estas tapas es troquelado, su silueta describe una elipse relación 2:1, su costo es alto y en México se fabrican hasta un diámetro máximo de 3 mts.

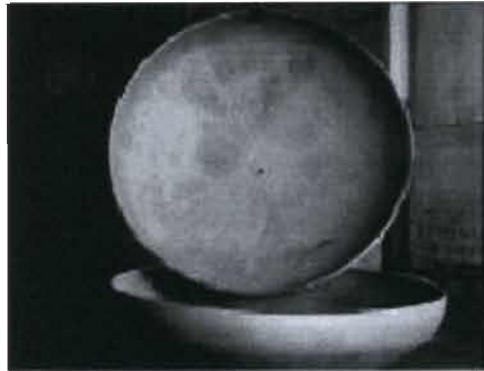


Figura 5.9 Tapa semielíptica

### 5.2.4 Tapas semiesféricas

Utilizadas exclusivamente para soportar presiones críticas, como su nombre lo indica, su silueta describe una media circunferencia perfecta, su costo es alto y no hay límite dimensional para su fabricación.

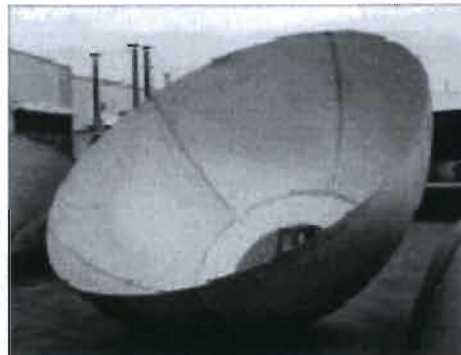


Figura 5.10 Tapa semiesférica

### 5.2.5 Tapa 80:10

Ya que en México no se cuentan con prensas lo suficientemente grande, para troquelar tapas semielípticas 2:1 de dimensiones relativamente grandes, hemos optado por fabricar este tipo de tapas, cuyas características principales son: El radio de abombado es el 80% de diámetro y el radio de esquina o de nudillos es igual a el 10% del diámetro.

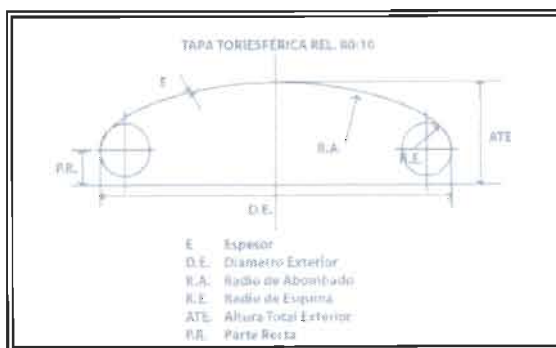


Figura 5.11 Tapa 80:10

### 5.2.6 Tapas cónicas

Se utilizan generalmente en fondos donde pudiese haber acumulación de sólidos y como transiciones en cambios de diámetro de recipientes cilíndricos. Su uso es muy común en torres fraccionadoras o de destilación, no hay límites en cuanto a dimensiones para su fabricación y su única limitación consiste en que el ángulo de vértice no deberá de ser calculado como tapa plana.



Figura 5.12 Tapa cónicas

### 5.2.7 Tapas toricónicas

A diferencia de las tapas cónicas, este tipo de tapas tienen en su diámetro, mayor radio de transición que no deberá ser menor al 6% del diámetro mayor ó 3 veces el espesor. Tiene las mismas restricciones que las cónicas a excepción de que en México no se pueden fabricar con un diámetro mayor de 6 mts.



Figura 5.13 Tapa toricónica

### 5.2.8 Tapas planas con ceja

Estas tapas se utilizan generalmente para presión atmosférica, su costo es relativamente bajo, y tienen un límite dimensional de 6 mts. De diámetro máximo.



Figura 5.14 Tapa plana con ceja

### 5.2.9 Tapas únicamente abombadas

Son empleadas en recipientes a presión manométrica relativamente baja, su costo puede considerarse bajo, sin embargo, si se usan para soportar presiones relativamente altas, será necesario analizar la concentración de esfuerzos generada, al efectuar un cambio brusco de dirección.



Figura 5.15 Tapa únicamente abombadas

## 6.

# PROCESOS DE SOLDADURA POR ARCO

Una de las etapas más importantes del proceso de fabricación de un recipiente a presión es sin duda la soldadura.

Dentro de la manufactura del recipiente para el calentador de agua se emplean diferentes procesos de soldadura para la unión de los distintos componentes.

Se utilizan procesos de arco eléctrico, como es el GMAW (Gas Metal Arc Welding) o MIG (Metal Inert Gas) para la unión de las tapas o cabezas con el cilindro, o el SAW (Submerged Arc welding) para la aplicación de la soldadura longitudinal. Figura 6.1

El conocimiento y entendimiento técnico de los fenómenos que participan en el proceso de soldadura GMAW, dan una herramienta de soporte de tal manera que las operaciones sean realizadas de la mejor manera, para tomar decisiones basadas en un conocimiento técnico y no a prueba y error.



En este trabajo hablaremos del efecto de los parámetros de soldadura, en la calidad del recipiente a presión fabricado mediante el proceso GMAW.

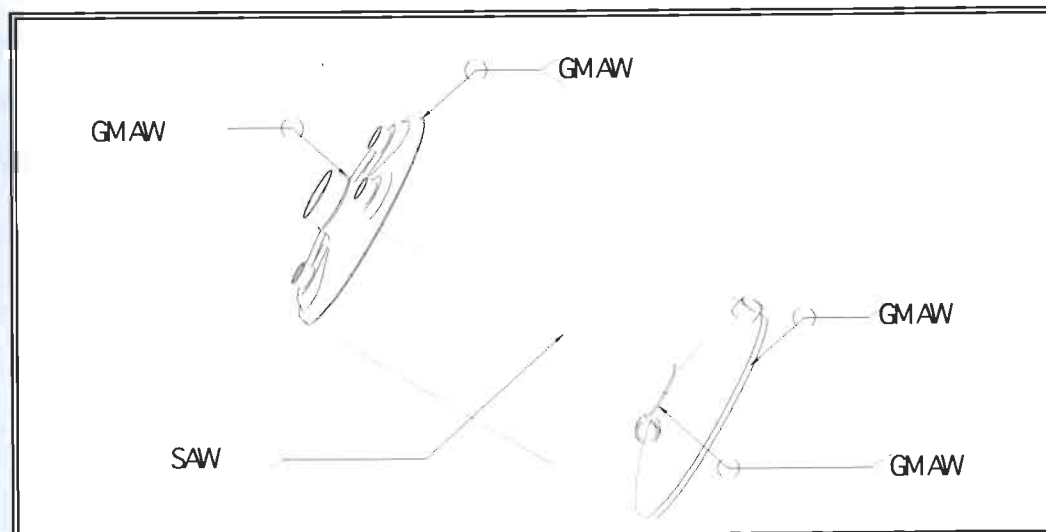


Figura 6.1 Partes soldadas por el proceso GMAW y SAW en el recipiente del calentador de agua

## 6.1 SOLDADURA GMAW [1,2]

La soldadura por arco gas metal (en inglés "GMAW"), es un proceso de soldadura por arco eléctrico que produce la coalescencia de los metales por el calentamiento de ellos con un arco eléctrico, entre un electrodo continuo (o alambre) que hace de metal de aporte y la pieza de trabajo. La protección se obtiene enteramente por medio de un gas suministrado externamente.

Algunos nombres comunes para el proceso son: soldadura MIG, soldadura MIG-MAG, soldadura CO<sub>2</sub>, soldadura con Micro-alambre, soldadura con arco corto, soldadura de transferencia por baño y soldadura con alambre. Un diagrama de este proceso se muestra en la figura 6.2.

El proceso de soldadura por arco gas metal es capaz de soldar la mayoría de metales ferrosos y no ferrosos, desde secciones delgadas a gruesas.

Este proceso puede usarse en todas las posiciones para producir depósitos de soldadura con poco o nada de escoria. Mayores tasas de deposición, velocidades de avance y eficiencias de la soldadura, dan como resultado un menor tiempo de soldadura en tareas de producción, en comparación a la soldadura por arco manual.

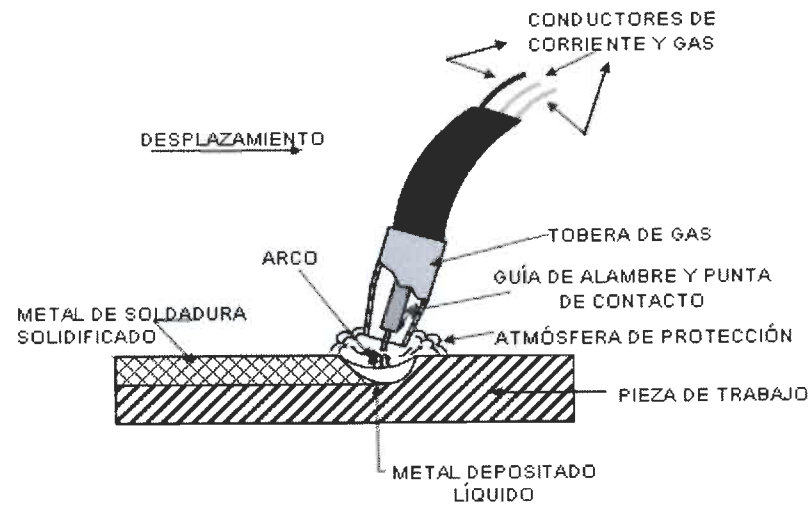


Figura 6.2 Esquema Del Proceso Soldadura GMAW

### 6.1.1 Método de Aplicación [2]

La soldadura por arco gas metal es ampliamente usada en los modos semiautomático mecanizado y automático. No puede hacerse soldadura manual con este proceso.

El método más popular de aplicar este proceso es semiautomático, donde el soldador guía la pistola a lo largo de la junta y ajusta los parámetros de soldadura.

El alimentador de alambre alimenta continuamente el alambre de aporte y la fuente de poder mantiene la longitud del arco.

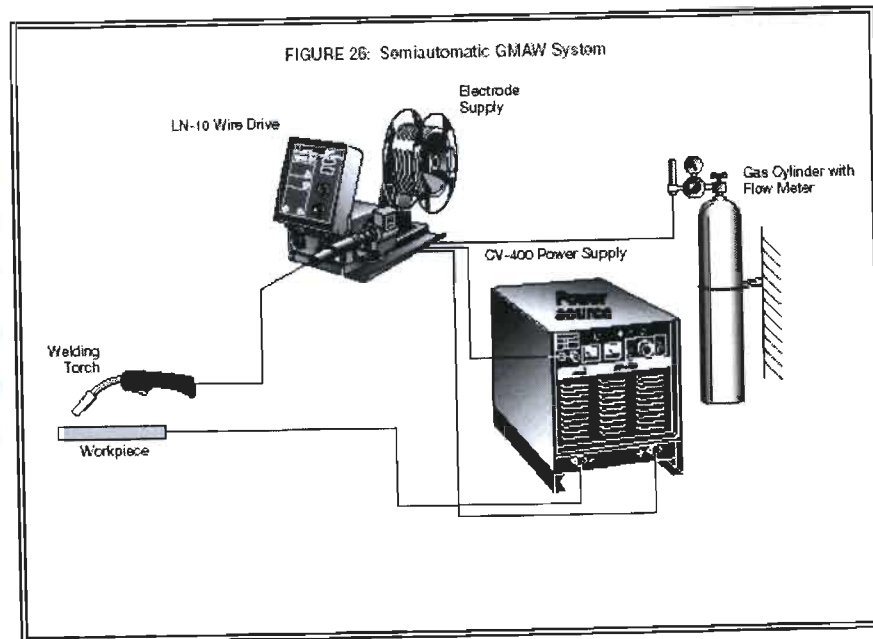
El segundo método más popular de aplicar el proceso es automáticamente, donde la máquina controla los parámetros de soldadura, longitud del arco, guía por la junta y alimentación del alambre.

El proceso está sólo bajo la observación del operador. El método mecanizado de soldadura tiene una popularidad limitada. Se requiere un grado relativamente bajo de habilidad del soldador para ejecutar el método semi-automático de aplicación del proceso.

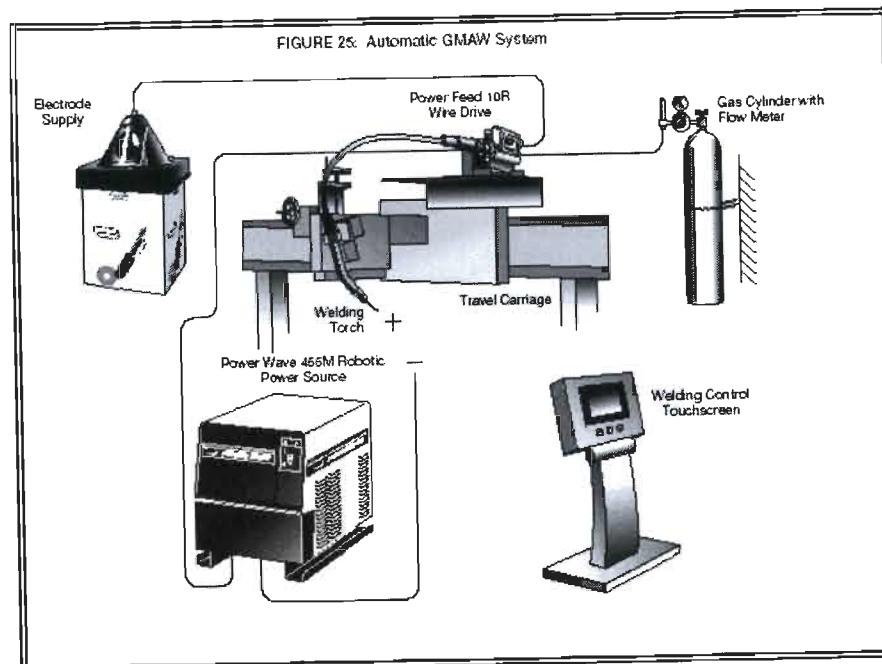
### **6.1.2 Equipo para Soldar [2]**

El equipo para el proceso de soldadura por arco gas metal consta de una fuente de poder, un sistema de control, un alimentador del alambre, una pistola para soldar y un juego de cables, así como de un sistema de protección por gas. Existen muchos componentes que se añaden al equipo básico en las aplicaciones automáticas, tales como los dispositivos para facilitar el movimiento y los seguidores de costuras.

La Figura 6.3 muestra un diagrama del equipo usado para la soldadura semi-automática y automático.



a) Proceso Semi-Automático



b) Proceso Automático

Figura 6.3 Diagrama del equipo utilizado en el proceso GMAW semiautomático y automático.

### 6.1.3 Fuente de Poder [2]

La fuente de poder para el proceso de soldadura de arco con protección de gas es normalmente una fuente de voltaje constante (VC) o de potencial constante (PC). Su curva característica de salida voltios-amperios es esencialmente plana con una pequeña caída. Por lo tanto, el voltaje de salida es aproximadamente el mismo aunque la corriente de soldadura cambia. El voltaje de salida se ajusta en la fuente de poder, la cual puede ser un transformador/rectificador, un generador accionado por un motor o un moto-generador. Una fuente de poder de voltaje constante o de potencial constante no tiene un control de la corriente de soldadura y no se usa para el proceso por arco manual. La salida de la corriente de soldadura se determina por la carga eléctrica en la máquina, la cual depende de la velocidad de alimentación de la máquina. Normalmente se usa la conexión, corriente directa electrodo positivo (CDEP). Las máquinas para este proceso están disponibles desde los 150 amperios hasta un valor tan alto como 1000 amperios y deberán estar diseñados para un ciclo de trabajo de 80 -100% y deberán proporcionar potencia CA en 115 voltios para el alimentador del alambre.

A veces se usa una fuente de poder de corriente constante. Estas fuentes de poder tienen una curva voltios-amperios con caída, la cual mantiene una corriente casi constante para los cambios en el voltaje.

### 6.1.4 Alimentador del Alambre [2]

El alimentador impulsa el alambre desde su carrete, a través del cable y de la pistola hacia el arco de soldadura. El sistema de alimentación del alambre debe hacer juego con el tipo de fuente de poder.

El alimentador del alambre con velocidad constante se usa con la fuente de poder de voltaje constante figura. 6.4. En este sistema, la relación entre la fusión del electrodo continuo (alambre) y la corriente deberá mantenerse para producir un arco estable.

La corriente es fijada por medio del control del alimentador del alambre. Durante la soldadura la fuente de poder proporciona una cantidad adecuada de corriente para mantener la tasa de fusión del electrodo continuo (alambre). Ya que la velocidad del alambre es constante, las fluctuaciones de la corriente mantienen uniforme la fusión para producir una longitud de arco consistente.

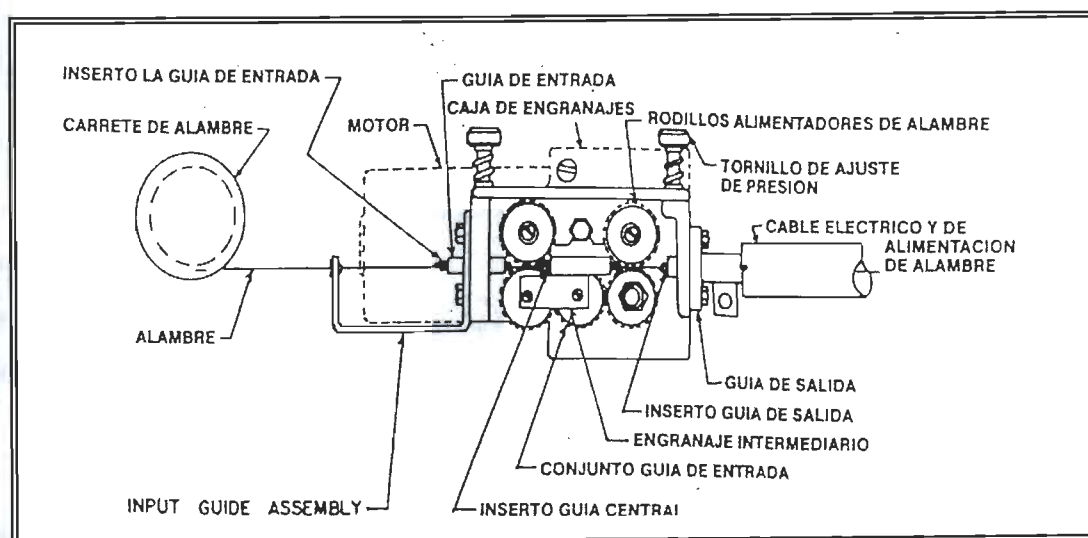


Figura 6.4 Alimentador de alambre

Normalmente un alimentador del alambre con velocidad variable es usado con una fuente de poder de corriente constante. En este sistema la velocidad del alambre varía para mantener una longitud de arco uniforme. Un dispositivo sensor del voltaje es incorporado al sistema para detectar los cambios en el voltaje (longitud del arco). Basado en el cambio del voltaje, el alimentador del alambre aumenta o disminuye su velocidad para corregir el cambio en el voltaje (longitud del arco).

Los sistemas de alimentación de alambres se dividen generalmente en tres grupos y se identifican por la ubicación del mecanismo de accionamiento. Estos son sistemas de empuje, arrastre o empuje-arrastre. El sistema de empuje está diseñado de tal forma que los rodillos alimentadores del alambre estén cerca del alimentador y es empujado a través del conductor del alambre (en inglés 'liner') hacia la pistola o antorcha para soldar. El sistema de arrastre tiene los rodillos alimentadores del alambre en la pistola o antorcha para soldar y arrastra el alambre a través del conductor hacia la pistola o antorcha. El sistema de empuje-arrastre tiene los rodillos alimentadores del alambre tanto en la pistola o antorcha para soldar como en el alimentador.

### **6.1.5 Gas de protección**

Este proceso utiliza diferentes gases para proteger el baño metálico del aire, normalmente se utilizan gases inertes, activos o una mezcla de ambos, los mas ampliamente usados son, el Argon, Helio y CO<sub>2</sub>, puede ser también una mezcla de ambos como lo es Ar-CO<sub>2</sub>, Argon-Oxigeno.

Los gases para protección pueden ser almacenados en un cilindro para alta presión o en un sistema de almacenaje a granel para aplicaciones con elevados volúmenes. En algunos casos, los cilindros son conectados a un distribuidor con la finalidad de proporcionar el gas para protección a diversas estaciones de soldadura. El regulador se usa normalmente en un cilindro para alta presión con la finalidad de reducir el cilindro a una presión de trabajo segura. El flujómetro se usa luego para ajustar la tasa de flujo real a un valor seguro. Las mangueras se usan para transportar el gas para protección desde el flujómetro hacia la pistola.

### 6.1.6 Pistola para soldar [2]

La pistola para soldar transmite corriente al electrodo mediante una base de cobre que hace contacto con el tubo. El tamaño del tubo de contacto o punta de contacto es de diferente tamaño de agujero el cual depende del diámetro del alambre. La pistola además tiene una conexión para el suministro de gas que va directamente a la boquilla y alrededor del arco y soldadura. Para evitar el sobrecalentamiento en la pistola el gas de protección circula en la pistola para enfriarla. Un switch es usado para iniciar y parar la corriente, el flujo de gas incluyendo el suministro de alambre.

Las pistolas semiautomáticas figura 6.5 generalmente son curvas para dar una flexibilidad confort y balance al soldador, estas pistolas están hechas de varias líneas donde llevan el cable de corriente, suministro de gas y de alambre y sus boquillas o salidas de alambre van desde 3/8" hasta 7/8" dependiendo de los requisitos de soldadura, estas pueden ser enfriadas por aire o agua, la elección va a depender en el tipo de gas de protección, corriente, voltaje, diseño de la junta entre otros aspectos.

Las pistolas pueden dar servicio de hasta 600 amperes con uso de CO<sub>2</sub>, argón o helio.



Figura 6.5 Pistola típica para el proceso GMAW



### 6.1.7 Ventajas [4]

- Altas velocidades de depósito.
- Alto factor de operación
- Gran aprovechamiento del metal de aporte
- Eliminación de la remoción de escoria
- Reducción de humos y vapores
- Se puede utilizar automáticamente.

## 6.2 SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO [1,2]

La soldadura por arco sumergido (SAW) es un proceso de soldadura por arco que produce una coalescencia de metales por el calentamiento de ellos con un arco (o arcos) entre un alambre (o alambres) metálico desnudo y las piezas de trabajo. El arco y el metal fundido están protegidos por una capa de material fusible granular sobre las piezas de trabajo.

El metal de aporte es obtenido por la fusión del alambre sólido y a veces por los elementos aleantes en el fundente. (Vea la Figura 6.6.) nombres comunes para el proceso son: fusión con unión, arco escondido y soldadura bajo polvo.

El proceso de soldadura por arco sumergido es capaz de soldar aceros al carbono (bajos y medios), aceros de baja aleación y alta resistencia, aceros templados y recocidos, níquel y aleaciones de níquel, así como muchos aceros inoxidables. También se usa este proceso en las operaciones de revestimiento duro y de superposición de capas. El proceso facilita elevadas tasas de deposición, siendo por esto excelente para las secciones medianas y gruesas de planchas y tuberías. Asimismo, el proceso facilita una penetración profunda,

lo cual significa que se requiere menos preparación de los bordes para lograr la penetración. Pueden soldarse aceros de hasta 1/2 pulgada (12.7 mm.) de espesor, sin preparación de los bordes. El proceso está normalmente limitado a las posiciones plana y de filete horizontal, debido al fundente usado para proteger el depósito de soldadura. Sin embargo, con depósitos especiales para el fundente, el proceso puede usarse en la posición de soldadura horizontal con ranura. Ya que el arco está oculto, el operador de soldadura requiere sólo el uso de lentes de seguridad.

El proceso produce un suave cordón de soldadura sin salpicaduras. Se produce una capa de escoria sobre el cordón de soldadura, la cual normalmente es fácil de remover.

Este proceso de soldadura es ampliamente utilizado en la fabricación de los recipientes a presión para el calentador de agua.

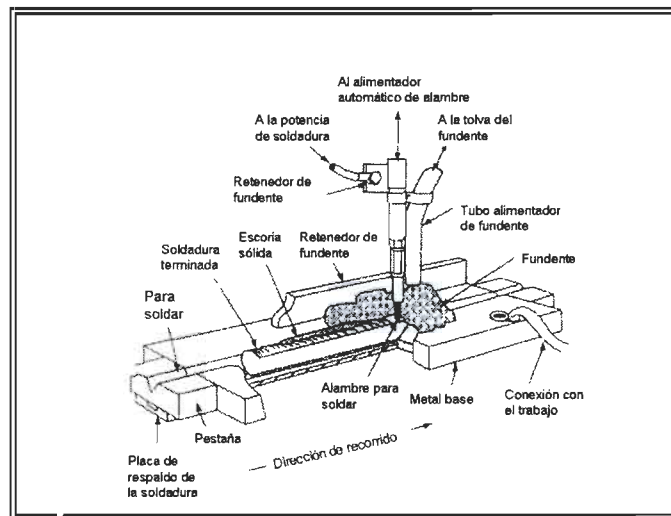


Figura 6.6 Diagrama proceso de soldadura SAW

### 6.2.1 Método de Aplicación [1,2]

El proceso de soldadura por arco sumergido es aplicado normalmente por el método mecanizado o automático, dentro de la manufactura del recipiente para el calentador de agua este proceso es utilizado para la aplicación de la soldadura longitudinal de manera automática, como se muestra en la figura 6.7



Figura 6.7 Maquina automática utilizada en la planta calentadores.

El operador de soldadura necesita sólo monitorear el proceso durante la soldadura.

No se requieren las habilidades de la soldadura manual; sin embargo, es necesario un entendimiento técnico del equipo y del proceso de soldadura, para aplicar el proceso.

### 6.2.2 Equipo [1,2]

Los componentes del equipo para la soldadura por arco sumergido son:

1. La fuente de poder.

2. El alimentador del alambre y los sistemas de control.
3. La pistola para soldar (para soldadura automática) o la pistola para soldar y el juego de cables (para soldadura semi-automática).
4. La tolva para el fundente, el mecanismo para alimentación.
5. usualmente, un sistema para recuperación del fundente.
6. Un mecanismo para avance (para la soldadura automática).

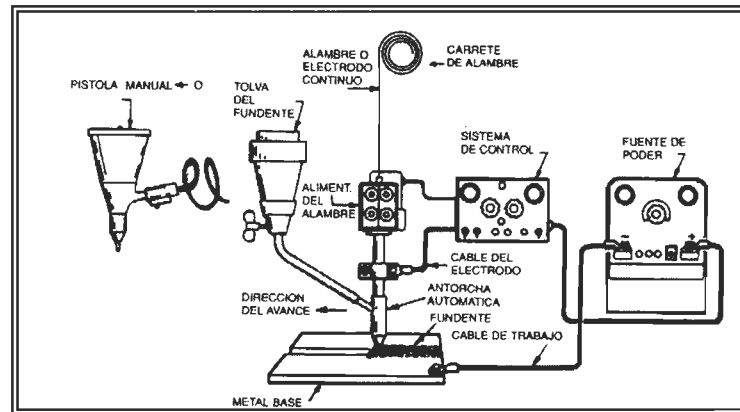


Figura 6.8 Equipo para soldadura de arco sumergido

### 6.2.3 Fuente de Poder para Soldar [1,2]

La fuente de poder para soldar puede ser una fuente de poder tipo CA o CC. esta debe estar diseñada para un ciclo de trabajo del 100%, ya que la soldadura es continua y el tiempo para realizar una soldadura puede exceder los 10 minutos.

Para la soldadura por arco sumergido con CC puede usarse una fuente de poder tipo voltaje constante (VC) o de corriente constante (CC).

La fuente de poder VC es más común para alambres con pequeños diámetros. La fuente de poder CC es usada para alambres con mayores

diámetros, usualmente 5/32 pulgadas (4.0 mm.) o más. Cuando se emplea corriente alterna, la fuente de poder usada es siempre de corriente constante.

Las fuentes de poder varían en tamaños de 50 a 2000 amperios. La mayor parte de la soldadura por arco sumergido se hace en el rango de 200 -1200 amperios.

Las fuentes de poder pueden ser puestas en paralelo para facilitar una potencia adicional en aplicaciones con altas corrientes. Los sistemas con alambres múltiples requieren circuitos especializados, especialmente cuando se emplea CA.

#### **6.2.4 Alimentador del Alambre** <sup>[1,2]</sup>

El mecanismo para la alimentación del alambre y su control asociado alimenta el alambre hacia el arco de soldadura. Cuando se usa una fuente de poder con característica descendente o de corriente constante (CC), deberá usarse un sistema alimentador del alambre con sensor del voltaje.

Este tipo de alimentador del alambre mantiene un voltaje de arco específico y alimenta el alambre a una tasa adecuada, con la finalidad de mantener este valor. Si se usa una fuente de poder con característica plana o de voltaje constante (VC), deberá emplearse un control y un alimentador del alambre de velocidad constante.

En este caso el alimentador va a suministrar el alambre a una tasa constante pero ajustable, con la finalidad de absorber la corriente de soldadura respectiva de la fuente de poder.

El sistema de control inicia el arco, facilita la velocidad adecuada de alimentación del alambre y, en las operaciones automáticas realiza otras funciones necesarias, tales como el inicio y el fin de un recorrido configurado.

### **6.2.5 Antorcha o Pistola para Soldar** [1,2]

En la soldadura automática la antorcha dirige el alambre hacia el arco y transfiere la corriente de soldadura al alambre cuando éste sale de la antorcha.

La antorcha está normalmente fijada al alimentador del alambre y al mecanismo de avance. Usualmente una tolva para fundente también va fijada (o está adyacente) a la antorcha. En las operaciones semi-automáticas se usa una pistola para soldar y un juego de cables, con el fin de transmitir el alambre y la corriente de soldadura al arco y para proporcionar el fundente en la zona de la soldadura. Puede colocarse una pequeña tolva para fundente en la pistola, la cual dispensa el fundente sobre el área de soldadura, de acuerdo a la forma como se manipula la pistola. En otro sistema el fundente es alimentado a través de un conducto hacia la pistola (desde la tolva) y es así dispensado hacia la zona de la soldadura. Las pistolas semi-automáticas tienen usualmente un interruptor tipo gatillo para encender el arco.

### **6.2.6 Electrodo Continuo o Alambre** [1,2]

Los alambres que se usan para la soldadura por arco sumergido son usualmente cubiertos de cobre sólido y desnudo (excepto para los recubrimientos protectores delgados sobre una superficie). El alambre contiene desoxidantes que ayudan en la limpieza y barrido del metal de soldadura, para

producir una soldadura de calidad. También pueden incluirse elementos para aleación en la composición del alambre. La composición del alambre y el tipo de fundente debe hacer juego con los requerimientos del metal desnudo, con la finalidad de proporcionar una soldadura de calidad. Los alambres se encuentran disponibles en tamaños de 1/16" (1.6 mm.) o 1/4" (6.4 mm.) de diámetro. El alambre está usualmente disponible en bobinas de 50 -100 Lb.

Los alambres sólidos de baja aleación, usados para la soldadura por arco sumergido, también se clasifican de acuerdo a la composición química del alambre (según ha sido fabricado). Las excepciones a esto son las especificaciones de los alambres compuestos, las cuales se basan en la composición química de una muestra fundida. A veces los alambres de acero de baja aleación tienen una letra "C" a continuación de la letra "E" en la clasificación, lo cual indica que el electrodo continuo es un alambre compuesto (esto significa que es un alambre tubular). Las clasificaciones de los alambres de acero inoxidable, níquel y aleación de níquel son las mismas que aquellas usadas en la soldadura MIG, TIG y arco plasma.

### **6.2.7 Fundentes** <sup>[1,2]</sup>

Los fundentes usados en la soldadura por arco sumergido constan de un compuesto mineral granular, una parte del cual se funde en conjunto durante la soldadura, con la finalidad de formar una escoria que cubre la soldadura.

Los fundentes se usan con diversos fines, tales como:

- 1) Para proteger de la atmósfera el depósito fundido de soldadura, por la formación de escoria.

- 2) Para depositar el metal de soldadura con las propiedades deseadas, químicas o mecánicas (o ambas).
- 3) Para depositar un cordón de soldadura de la forma deseada en la junta a soldarse.
- 4) Para depositar un cordón de soldadura que satisfaga los requerimientos anteriores al menor costo posible.

Además de los fines anteriores, algunos fundentes contienen desoxidantes adicionales o elementos para aleación, que se añadirán al depósito fundido de soldadura. Los fundentes son empaquetados en tambores o bolsas.

Los fundentes son producidos según diferentes métodos de fabricación. Existen tres tipos de fundentes que se usan: fundidos, ligados y aglomerados. Los fundentes fueron fabricados inicialmente como compuestos fundidos y ligados, pero ahora los tres tipos diferentes son comunes.



## 7.

# PROCESOS DE SOLDADURA POR RESISTENCIA <sup>[2]</sup>

La soldadura por resistencia (RW) es un grupo de procesos de soldadura que produce la coalescencia de las superficies a unir con el calor obtenido a partir de la resistencia del trabajo al flujo de la corriente de soldadura en un circuito en el cual el trabajo es una parte y por medio de la aplicación de presión.

Los procesos de soldadura por resistencia difieren de la soldadura por arco en que se usa presión, pero no se usa metal de aporte o fundentes. Hay cuatro factores implícitos al hacer una soldadura por resistencia. Estos son:

1. La cantidad de corriente que pasa a través del trabajo.
2. La presión que el electrodo transfiere al trabajo.
3. El tiempo durante el cual la corriente fluye a través del trabajo.
4. El área de la punta del electrodo que está en contacto con el trabajo.

Se genera calor por el paso de la corriente eléctrica a través de un circuito de resistencia.

La cantidad máxima de calor se genera en el punto de resistencia máxima, el cual está en la superficie entre las partes que se están soldando.

La corriente alta, hasta de 100 000 A a un voltaje bajo, genera un calor suficiente en este punto de resistencia para que el metal alcance un estado plástico. La fuerza aplicada antes, durante, y después del flujo de corriente, forja juntamente con las partes calentadas para que tenga lugar la coalescencia.

Se requiere de presión a través de la totalidad del ciclo de soldadura para asegurar un circuito eléctrico continuo.

La cantidad de corriente empleada y el tiempo están relacionados con el consumo de calor requerido para superar las pérdidas de calor y aumentar la temperatura del metal.

## **7.1 SOLDADURA POR RESISTENCIA DE PUNTOS [2]**

La soldadura por resistencia por puntos (RSW) es un proceso de soldadura que produce coalescencia de metales en las superficies traslapadas de una unión a través del calor obtenido de la resistencia hacia el flujo de la corriente de soldadura que se aplica a las piezas de trabajo a partir de electrodos que sirven para concentrar la corriente de soldadura y la presión en el área de trabajo. El tamaño y la forma de los trabajos soldados por puntos formados individualmente se determinan principalmente por la magnitud y el contorno de los electrodos. La soldadura por puntos es el más popular de los procesos de soldadura por resistencia y se describe con mayor detalle. Los conceptos básicos pertenecientes al equipo, controles, electrodos, aplicación de presión, y la mecanización, son generalmente iguales para los demás procesos.

Un sistema de soldadura por puntos figura 7.1 necesita por lo menos los componentes siguientes:

- Un transformador de soldadura para el suministro de corriente.
- Un medio de aplicación de presión.
- Un controlador/contactador.
- Puntas de electrodos para conducir la corriente de soldadura al trabajo.

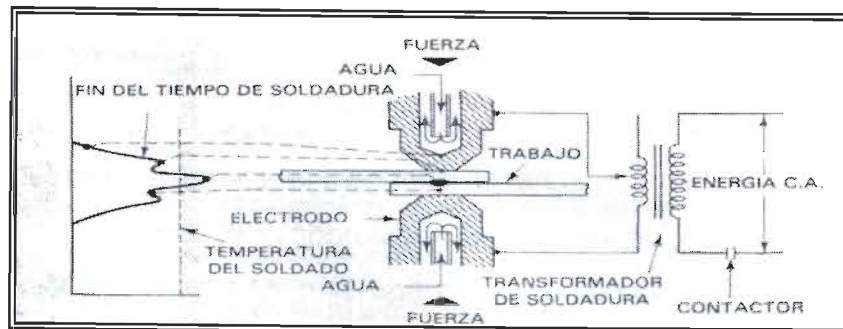


Figura 7.1 Diagrama proceso de soldadura RSW

Las máquinas de soldadura se diseñan de modo que incluyan la totalidad de estas funciones, y van desde las máquinas pequeñas hasta las más grandes y extremadamente complejas.

### 7.1.1 Máquinas Soldadoras por Puntos

Las máquinas soldadoras por puntos pueden considerarse en dos categorías: las máquinas de un solo punto o de punto individual y las máquinas de punto múltiple. Las máquinas de punto individual pueden ser relativamente simples y económicas. La más sencilla se opera manualmente y se evalúa a 2 kVA con una corriente de corto circuito de 6000 A y es capaz de soldar un

acero al carbono con calibre 20 y aún más delgado. Las máquinas de este tipo se usan para mantenimiento, para reparación de carrocerías de automóvil y para otras operaciones de naturaleza ligera.

Las máquinas más populares son las soldadoras de punto individual ya sea del tipo de asta, de brazo movable, o de prensa. Las máquinas del tipo de asta tienen un brazo con electrodo superior movable o pivote, el cual se ve activado por la energía física del operador, por aire o por energía hidráulica. Se usan para una amplia variedad de trabajos, pero están restringidas a 50 kVA y se usan también para medidas más delgadas.

Para el caso de requerimientos más pesados, se usan las máquinas del tipo de prensa. Este tipo de máquina, normalmente se evalúa a 50 kVA y más. En la máquina del tipo de prensa, el electrodo superior se mueve deslizándose. La presión y el movimiento se proporcionan al electrodo superior por medio de presión hidráulica o neumática, o se operan por medio de motor. Las máquinas soldadoras por resistencia de prensa se usan para soldar materiales de calibre mediano hasta la medida más gruesa. Tanto las máquinas de prensa como de brazo movable incluyen un transformador de soldadura. El transformador debe estar estrechamente acoplado con el electrodo superior o el inferior.

El circuito de control está generalmente en una casilla separada montada sobre la parte lateral de la máquina. Para todas las máquinas excepto las más pequeñas, se usa agua para enfriar los electrodos. La Resistance Welder Manufacturers Association (RWMA) ha estandarizado y clasificado las soldadoras estándar por puntos.

Una máquina soldadora por resistencia evaluada de acuerdo con las normas de la RWMA tendría un ciclo de trabajo del 50%. Por consiguiente, una máquina RWMA de 30-kVA proporciona 30 kVA durante 30 segundos de cada minuto, operando continuamente sin sobrecalentamiento.

Las máquinas no evaluadas de acuerdo con los estándares RWMA pueden construirse en base a un ciclo de trabajo más bajo, evaluado a un nivel tan pequeño como del 10 al 30%, y se sobrecalentarán a ciclos de trabajo más altos a menos de que se use a un nivel de energía reducido.

El manual de soldadura de resistencia también proporciona el tamaño de máquina soldadora requerida para soldar diferentes metales y espesores de metal.

Cuando el trabajo es demasiado voluminoso como para transportarse hasta la máquina soldadora, se puede usar una maquina soldadora portátil por puntos.

La máquina portátil se mueve desde un sitio o mueble de soldadura hasta otro, y un gatillo instalado sobre la pistola activa el ciclo de soldadura. Las unidades portátiles normalmente se operan por aire o por presión hidráulica.

Hay dos tipos de pistolas portátiles de soldadura. En un caso, el transformador de soldadura está separado de la pistola; la pistola de soldadura tiene su propio mecanismo de presión.

La portabilidad de este tipo de máquina está limitada por los cables gruesos conectados entre la pistola y el transformador.

Los cables son por lo general coaxiales, para evitar un movimiento debido a fuerzas magnéticas. En las máquinas más pequeñas, el transformador está incluido como una parte de la pistola.

### 7.1.2 Tipos de Uniones [1,2]

El tipo de unión que se usa con mayor frecuencia para la soldadura de punteo es la unión de traslape tiene un requerimiento mínimo, el cual se basa en el tamaño del empalme, que a su vez se relaciona con el tamaño del electrodo. La distancia que va desde la línea del centro del empalme hasta el filo de la hoja, conocida como distancia del filo, debe ser por lo menos de 1 1/2 veces al espesor del empalme. La separación entre las hojas que se están soldando no debe exceder del 10% de la hoja más delgada. También pueden realizarse uniones de extremo con los procesos de soldadura por resistencia.

Esta es la única unión para el soldado instantáneo de extremo y para el soldado por inversión. Sin embargo, la soldadura de alta frecuencia puede también lograr uniones de extremo en forma de T. La soldadura en forma de T se usa para hacer pequeñas vigas en las plantas de soldadura por resistencia de alta frecuencia. Otra unión, conocida como unión en forma de labio, es la unión en forma de pestaña. La amplitud de la pestaña debe ser suficiente para permitir la soldadura por puntos.

Es importante el espaciamiento de la soldadura por puntos y el de los soldados de costura con rodillo. Si los empalmes se traslapan, la unión es hermética. Si no, el agua puede escapar entre las rendijas. El manual de soldadura por resistencia también proporciona el tamaño de las máquinas soldadoras que se requieren para soldar diferentes metales y espesores de metal.

### 7.1.3 Calidad de la Soldadura por Puntos [2]

Es de esperarse que todo empalme soldado de resistencia por punto resulte perfecto.

La prueba que se ha usado para ello ha consistido en tratar de separar las partes. Si el empalme se separa del metal base, será una soldadura por puntos de buena calidad. Si falla de alguna otra manera, será una soldadura de baja calidad. Muchas especificaciones requieren que se hagan pruebas destructivas después de un número prescrito de trabajos y, mientras tanto, que se controle la energía consumida, la corriente de soldadura y la presión. Para asegurar un producto de buena calidad, muchos usuarios hacen dos veces el mismo número de soldadura por puntos especificados, suponiendo así que se pudieran haber producido algunas soldaduras de calidad inferior.

Este procedimiento es costoso; por consiguiente, se usan medidores de control automático los cuales apagan el equipo cuando cualquiera de los parámetros se excede los valores específicos. Otro método para asegurarse de la calidad es un sistema adaptador de control de soldadura el cual usa dispositivos sensores de tipo especial. Estos sistemas se basan en el movimiento del electrodo durante el ciclo de soldadura para controlar el crecimiento de la palacrana del soldado, o un cambio en la soldadura de resistencia o en el límite de expulsión. Los controles de adaptación modificarán los parámetros de soldadura para corregir los problemas de soldado. Los trabajos soldados de alta calidad requieren de un mantenimiento continuo del contorno de la punta del electrodo.

La punta o la boquilla deben enderezarse a menudo para que mantengan la forma adecuada. Esto debe hacerse con más frecuencia cuando se sueldan materiales altamente conductivos o revestidos.

## **7.2 SOLDADURA POR PROYECCION [2]**

Dentro de la manufactura del depósito para el calentador de agua es también muy importante el proceso por resistencia PW (Projection Welding) para la

unión de distintas piezas. El soldado por proyección (PW) es un proceso de soldadura de resistencia el cual produce coalescencia por el calentamiento obtenido a partir de la resistencia hacia el flujo de la corriente de soldadura. Los trabajos soldados resultantes se localizan en puntos predeterminados por medio de proyecciones, relieves o intersecciones. La localización del calor se obtiene por medio de una proyección o relieve sobre una o ambas partes que se están soldando. Dentro de la manufactura del recipiente para el calentador de agua se utiliza este proceso para la unión de los coples en distintas ubicaciones tanto en la parte superior como en los costados, estas piezas son utilizadas para el paso del agua por el recipiente entrada y salida así como también para su drenado.



Figura 7.2 Máquinas de soldadura de proyección utilizadas para la unión de los coples en la planta calentadores Cinsa.

Hay varios tipos de proyecciones:

1. Tipo de botón o de domo, generalmente redondo
2. Alargadas



3. Anulares
4. En forma de hombro
5. Soldadura interalámbrica
6. Proyección de radio.

La principal ventaja de la soldadura de proyección es que se incrementa la duración del electrodo debido a que se usan superficies de contacto más grandes.

Una aplicación muy común de la soldadura de proyección es el uso de tuercas especiales que tienen proyecciones sobre la porción de la parte que se va a soldar al montaje.

Estas se manufacturan con las proyecciones y ayudan a obtener uniones de buena calidad para las partes que se están soldando.

También es utilizado para la unión de piezas estampadas forjadas o maquinadas a otra pieza. Las dimensiones de la proyección deben diseñarse de modo adecuado puesto que la altura y el área tienen dimensiones óptimas para soldarse a espesores específicos de hojas de metal.

### **7.2.1 Tipos de Uniones [2]**

Las soldaduras de proyección pueden servir para producir uniones de traslape y el número y forma de las proyecciones dependen de los requerimientos de resistencia mecánica de la unión.

## 7.2.2 Diseño de Proyecciones [2]

En lámina las proyecciones se hacen por troquelado a diferencia de las proyecciones en partes de metal sólido que se forman por maquinado o forjado.

El propósito de una proyección es localizar el calor y la posición en un lugar específico de la unión.

Un diseño de proyección para lámina debe cumplir con lo siguiente:

- Rigidez para soportar la fuerza inicial del electrodo.
- Tener la masa suficiente para calentar un punto en la otra superficie.
- Colapsarse si expulsión del metal.
- Ser fáciles de formar y no ser cizallados parcialmente en la lámina.
- Causar poca distorsión en la pieza durante la formación o la soldadura.

## 8.

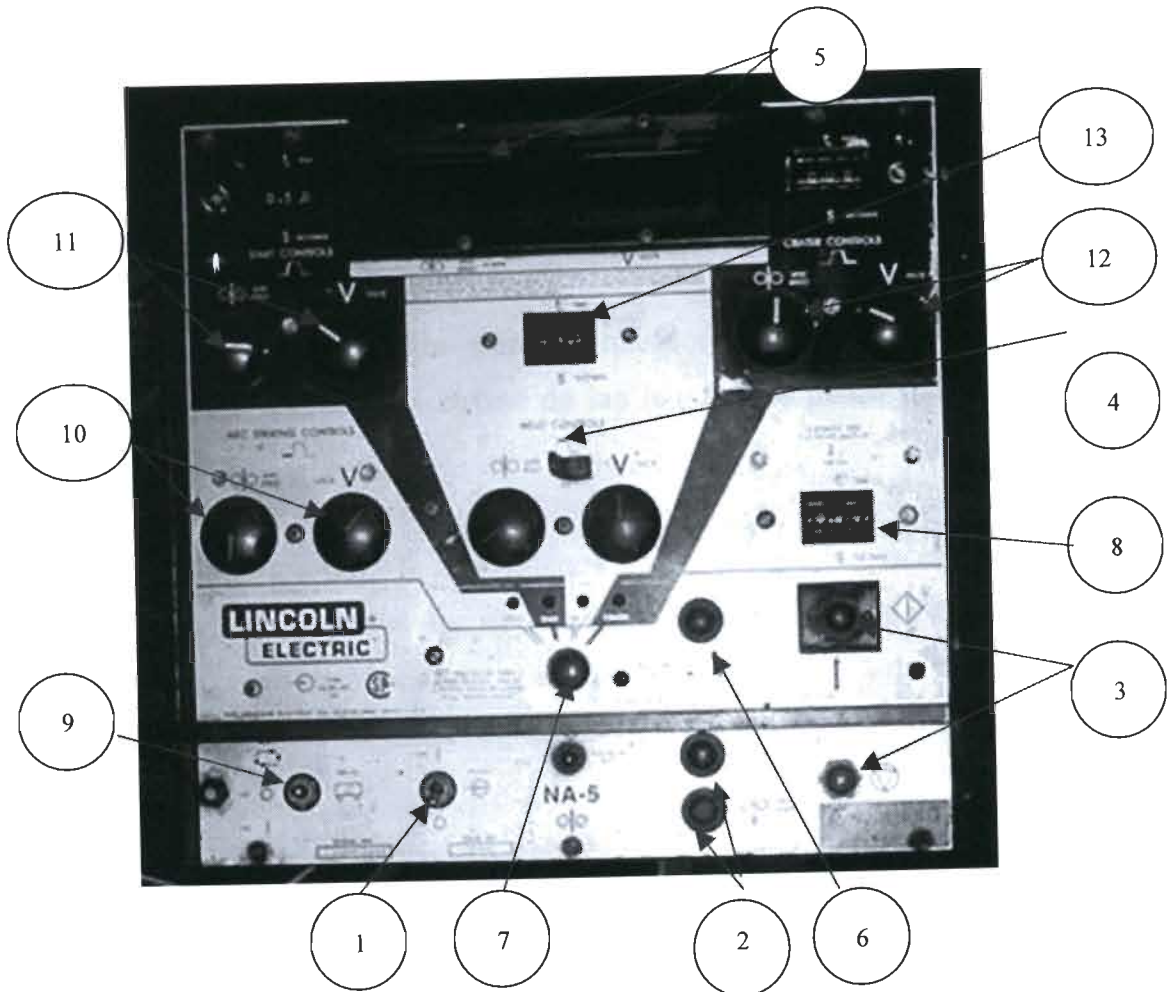
# PARAMETROS A CONTROLAR EN EL PROCESO GMAW

Como parte fundamental del control de proceso de soldadura en la manufactura del tanque para los calentadores se tiene la correcta operación de equipo y maquinaria, así como también el establecimiento y control de las distintas variables como son:

- Selección del metal de aporte.
- Mezcla de gas.
- Extensión del electrodo (stickout).
- Ángulo de avance y de trabajo.
- Amperaje.
- Voltaje.
- Velocidad de alambre.

Los cuales pueden afectar las características de la soldadura como penetración, alto, ancho del cordón, velocidad de depósito el buen control de las variables nos deben de garantizar el cumplimiento de las especificaciones de calidad para este propósito se utiliza un sistema automático denominado NA-5 marca Lincoln mostrada en la figura 8.1 , este panel de control ubicado en

la maquina de soldar, es el dispositivo mediante el cual se pueden establecer los valores de algunos de los parámetros los cuales van a estar operando durante el ciclo de soldado, el tipo y botoneras del panel dependen del modelo y tipo de maquina sin embargo los principales parámetros se presentan a continuación.



1. Encender el sistema
2. Botón para bajar / subir el alambre
3. Activar el ciclo de soldar
4. Perillas para regular los parámetros en weld
5. Pantalla de valores de parámetros (amperaje-voltaje).
6. Botón de lectura de valores
7. Perilla para ver o cambiar valores

8. Tiempo de retroceso de alambre y salida de gas
9. Botón para movimiento de carro
10. Perillas para regular los parámetros en striking
11. Perillas para regular los parámetros en start
12. Perillas para regular los parámetros en cráter
13. Tiempo de ciclo de soldadura.

### **8.1 Controles de formación de arco (striking)**

Establece la velocidad de alambre hasta que la corriente de soldadura empieza a fluir y controla el voltaje de las fuentes de poder para la formación del arco óptimo.

Normalmente los parámetros óptimos de control de formación de arco para la mayoría de los procesos son de 4 a 5 voltios más altos que la programación de voltaje de modo de soldadura, y constituye del 40 al 50% de la programación de la velocidad de alimentación del alambre en modo de soldadura.

### **8.2 Controles de arranque (Start)**

Establece la corriente y voltaje de arranque por un periodo ajustable. Este control se recomienda para aplicaciones donde la penetración, el tamaño del cordón y otras características deben controlarse cuidadosamente en el arranque.

### 8.3 Controles de soldadura (weld)

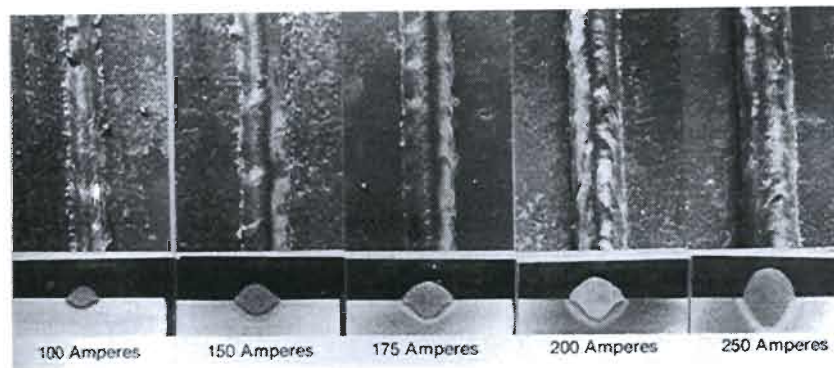
Controla el voltaje y la velocidad del alambre durante la aplicación de la soldadura alrededor de la circunferencia del tanque.

### 8.4 Controles de cráter

Establece la corriente y el voltajes final por un periodo ajustable, esta opción se recomienda para aplicaciones donde el tamaño del cordón final debe controlarse, aplicaciones donde el cráter debe llenarse, rotondas y cualquier otra soldadura donde el final de superpone al inicio.

### 8.5 Amperaje [1,2]

La corriente usada tiene un gran efecto en el deposito de soldadura su tamaño, forma velocidad y penetración, en el sistema de voltaje constante, la corriente es controlada por el botón de suministro de alambre al incrementar el suministro de alambre se incrementa la corriente. Cuando todas las otras variables de la soldadura se mantienen constantes, mientras se aumente la corriente de la soldadura aumentarán la profundidad y anchura de la penetración de la soldadura y el tamaño del cordón de la soldadura.



**Figura 8.2** Efecto del incremento de la corriente en la apariencia y formación del cordón soldados a 21 volts, velocidad de 15"/min , tamaño del electrodo 0.035" gas CO2 stickout de 3/8"

## 8.6 Voltaje [1,2]

El voltaje es determinado por la distancia entre el electrodo y el material de trabajo, el electrodo es requerido para la aplicación dependiendo del tamaño del electrodo, tipo de gas, posición, diseño de la junta y espesor del metal base, cuando el resto de las variables son constantes y el voltaje del arco se aumenta el cordón es ancho y plano, la penetración aumenta con un voltaje óptimo. Al bajar la longitud del arco produce un cordón con mayor convexidad, un voltaje de arco muy bajo puede producir porosidad y traslapes en la cara como se muestra en la figura 8.3

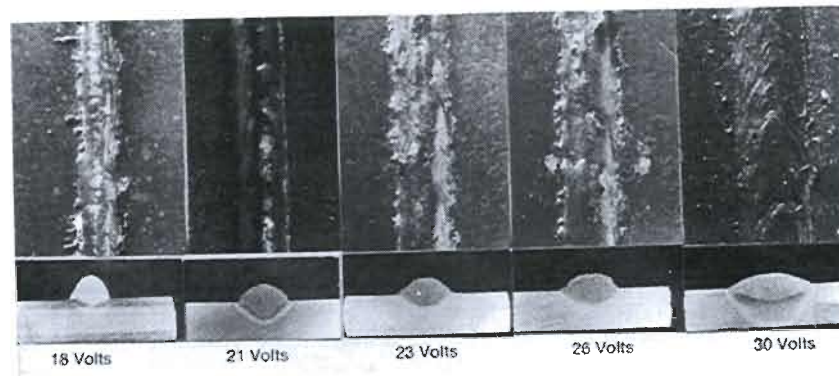


Figura 8.3 Efecto del voltaje del arco en el cordón y formación del mismo, condiciones de soldadura: corriente 175 amp velocidad 15"/min, tamaño del electrodo 0.035" gas CO<sub>2</sub> stick out de 3/8"

## 8.7 Velocidad de avance [1,2]

La velocidad es controlada por la misma maquina, el aumento o disminución de la velocidad tendrá un efecto en la cantidad de penetración de la soldadura, cuando el metal tiende a ir ligeramente adelantado al arco, reduce la penetración y produce un cordón ancho, al reducir la velocidad se debe aumentar la altura del cordón, una excesiva lentitud en la velocidad puede causar amontonamiento de la soldadura y traslaparlo en las caras, además de un calor excesivo en la placa lo que creara una gran zona afectada por el calor.

En la figura 8.4 se muéstrale efecto de la velocidad en el cordón de soldadura.

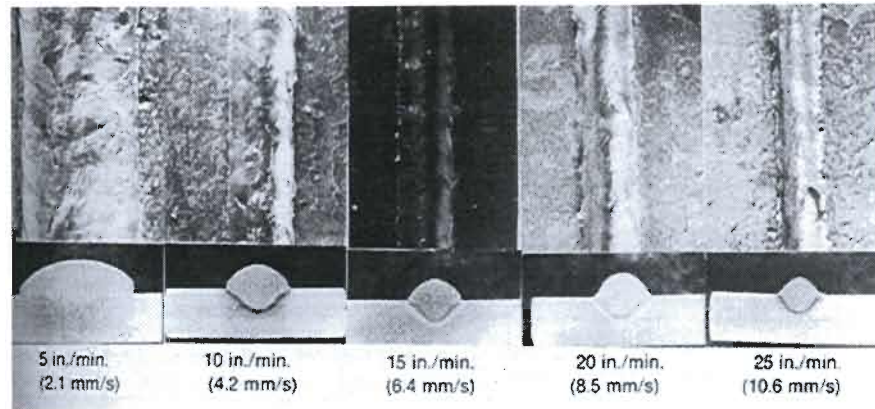


Figura 8.4 Efecto de la velocidad en la apariencia del cordón, condiciones de soldadura: corriente 175 amp voltaje 21, tamaño del electrodo 0.035" gas CO2 stick out de 3/8"

### 8.8 Extensión del electrodo (Stick out) [5]

Es la distancia entre la punta del tubo de contacto y la punta del electrodo como se muestra en la figura 6.5 al incrementar la distancia la resistencia eléctrica del electrodo aumenta e incrementa el calor del electrodo.

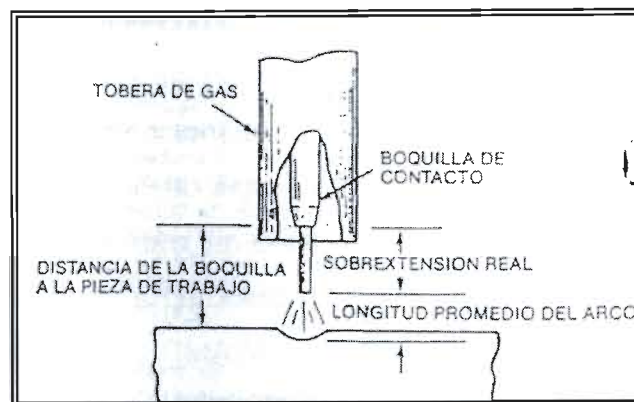


Figura 8.5 Extensión del electrodo (stick out).



La medición debe ser hecha desde la punta del electrodo a la superficie de trabajo esta distancia normalmente se usa porque es mas fácil medirla que la extensión del electrodo real, aumentando la extensión del electrodo reducirá la cantidad de penetración, una excesiva extensión del electrodo produce un exceso de metal de la soldadura depositado con bajo calor, esto produce una pobre forma del cordón de soldadura y poca penetración, si la distancia del tubo de contacto a la pieza se incrementa el arco y tiende a ser menos estable, una gran longitud de la extensión del electrodo también producirá una proporción de deposito mayor.

### **8.9 Metal de aporte** [1,2]

Uno de los componentes más importantes del proceso de soldadura GMAW, lo constituye sin duda el alambre de aporte por aplicar, a continuación se enlistan los aspectos a considerar para una adecuada selección:

- El electrodo debe depositar soldaduras que cumplan con las propiedades mecánicas y químicas requeridas en la unión para un adecuado desempeño de la unión soldada.
- El electrodo debe adaptarse a las circunstancias únicas a las asociadas con la aplicación particular.
- El electrodo debe cumplir las expectativas del soldador en términos de control del arco y del perfil del cordón de soldadura.
- El electrodo seleccionado debe ser en términos globales de costo el más barato. Esto no significa que el electrodo mas barato nos de el proceso mas barato, en ocasiones un electrodo mas caro en términos globales resulta en proceso mas barato.
- Como el proceso GMAW se compone de dos partes consumibles, se deben considerar ambos Gas y electrodo.

### 8.9.1 Alambre Tipo ER 70S 6

El electrodo seleccionado para el proceso de soldadura del calentador es el ER 70S 6 que cumple con:

- Composición química
- Propiedades mecánicas
- Alambre sólido
- Requerimientos de empaque

Sus características son :

Contiene altos niveles de Silicio y Manganeso como desoxidantes, y es el más recomendable para materiales con escamas de laminado de moderado a alto. Puede utilizarse para cordones sencillos o múltiples.

También, debido a su alto contenido de desoxidantes, la fluidez del cordón se incrementa dando como resultado un excelente perfil y penetración.

#### Propiedades Mecánicas.

##### MECHANICAL PROPERTIES REQUIREMENTS

AWS Classification	Tensile Strength ksi (MPa)	Yield Strength ksi (MPa)	Elongation (%)	Charpy V-Notch, ft-lbs (J)	
				@ 0°F (-18°C)	@ -20°F (-29°C)
ER70S-2	72 (500)	60 (420)	22	Not Required	20 (27)
ER70S-3	72 (500)	60 (420)	22	20 (27)	Not Required
ER70S-4	72 (500)	60 (420)	22	Not Required	Not Required
ER70S-6	72 (500)	60 (420)	22	Not Required	20 (27)
ER70S-7	72 (500)	60 (420)	22	Not Required	20 (27)
ER70S-G	72 (500)	60 (420)	22	Not Required	Not Required

NOTE: Mechanical properties as determined from an all-weld metal specimen. Single values are minimum levels.

## Composición Química

### CHEMICAL COMPOSITION REQUIREMENTS

AWS Classification	%C	%Mn	%Si	%S	%P	%Cu	%Ti	%Zr	%Al
ER70S-2	0.07	0.90 - 1.40	0.40 - 0.70	0.025	0.035	0.50	0.05 - 0.15	0.02 - 0.12	0.05 - 0.15
ER70S-3	0.06 - 0.15	0.90 - 1.40	0.45 - 0.70	0.025	0.035	0.50	—	—	—
ER70S-4	0.07 - 0.15	1.00 - 1.50	0.65 - 0.85	0.025	0.035	0.50	—	—	—
ER70S-6	0.07 - 0.15	1.40 - 1.85	0.80 - 1.15	0.025	0.035	0.50	—	—	—
ER70S-7	0.07 - 0.15	1.50 - 2.00 <sup>(1)</sup>	0.50 - 0.80	—	—	—	—	—	—

<sup>(1)</sup> Maximum Mn may exceed 2.0%. If it does, the maximum C must be reduced 0.01% for each 0.05% increase in Mn or part thereof.

## 8.10 Gas de protección

Como se mencionó en el párrafo anterior, el otro componente a considerar para lograr un proceso de calidad, competitivo y seguro; se debe seleccionar el gas de protección adecuado.

La correcta selección del gas de protección para una aplicación específica es crítica en la calidad final de la soldadura.

El criterio para la selección incluye lo siguiente:

- Aleación del alambre de aporte.
- Propiedades mecánicas deseadas en el cordón de soldadura.
- Espesor del metal base y tipo de junta.
- Condiciones del metal base – la presencia de escamas, corrosión, pinturas o aceite.
- El modo de transferencia de metal del proceso GMAW.
- La posición de soldeo.
- Condiciones de unión.
- Perfil de penetración deseado.
- Apariencia deseada del cordón de soldadura.
- Costo

### 8.10.1 Tipos de gases

Los más utilizados son el Argón y el Helio para proteger el cordón de metal líquido. El grado de inerte, indica que químicamente no reaccionan con el metal líquido. Sin embargo para convertirse en un gas conductor, el gas debe ionizarse. Cada gas requiere diferente cantidad de energía para ionizarse. La energía de ionización para el Argón es de 15.7 eV. Por otro lado el Helio es de 24.5 eV; esa es la razón por la que iniciar un arco eléctrico con Argón es más fácil que con Helio.

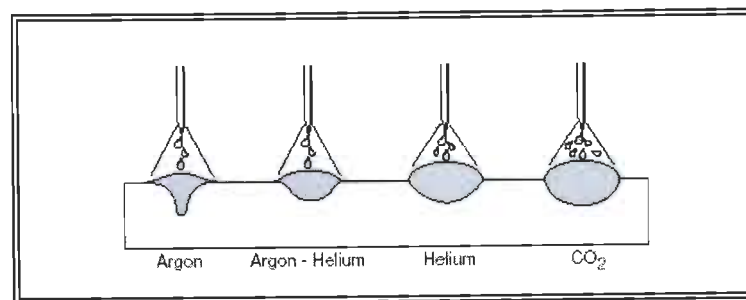


Figura 8.6 : Perfil y Penetración para varios gases de protección.

Sin embargo una práctica común es utilizar mezcla de gases para lograr una combinación apropiada de características mecánicas y de perfil de soldadura a costos más competitivos.

Las mezclas más comunes son Argón + Helio, Argón + CO<sub>2</sub>, o Argón + Oxígeno.

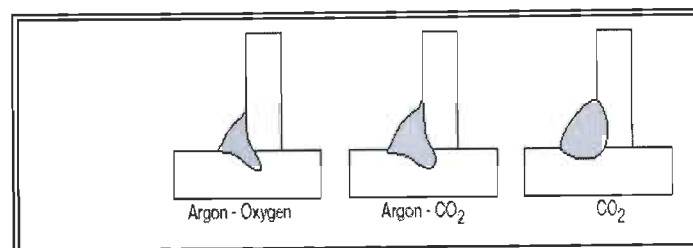


Figura 8.7 Efecto del Oxígeno y del CO<sub>2</sub> adicionado al Argón de protección.

### 8.10.2 Argón + CO<sub>2</sub>

Es la mezcla más común para soldar aceros al carbón por proceso GMAW. Los cuatro modelos típicos de transferencia de metal para el proceso GMAW se logran con esta mezcla.

Mezcla 90% Argón + 10% CO<sub>2</sub>. para aplicaciones Axial Spray o GMAW – P en aceros al Carbón. La penetración es más amplia pero con menor profundidad que la que presenta las mezclas Argón + Oxígeno.

### 8.11 Ángulos del electrodo

La posición del electrodo con respecto a la junta a soldar afecta la forma de la capa de soldadura y la cantidad de penetración.

Al cambiar el ángulo del electrodo de 90° a un ángulo de arrastre equivalente a 25° de la vertical, donde la penetración máxima se obtiene, el ángulo de avance anterior empezara reduciendo la penetración y no se recomienda porque aumenta la oportunidad de traslapar, el ángulo de arrastre produce un estrecho cordón de soldadura mas convexa así como un arco mas estable con menos salpicaduras, un ángulo de arrastre se usa normalmente en aceros.

Los ángulos de avance de los electrodos son aproximadamente de 5° a 15° son usados normalmente en todas las posiciones con un buen control de charco de la soldadura fundida.

El ángulo de trabajo debe ser aproximadamente 45° de la placa.

En la figura 8.8 se muestran los ángulos de avance y de trabajo.

En la figura 8.9 se muestra el efecto de la dirección del ángulo.

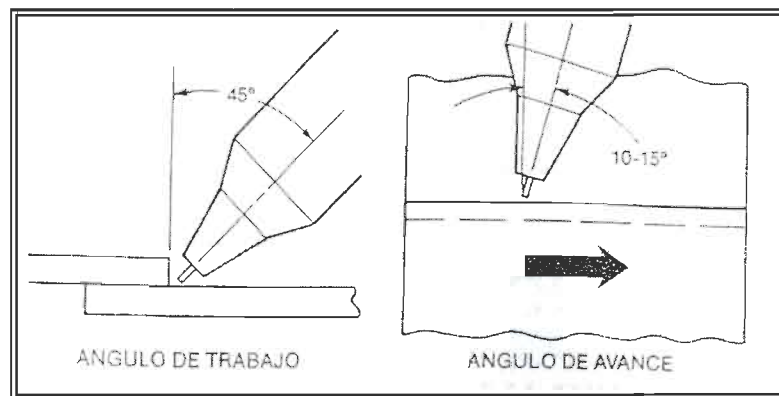


Figura 8.8 Angulo de avance y ángulo de trabajo.

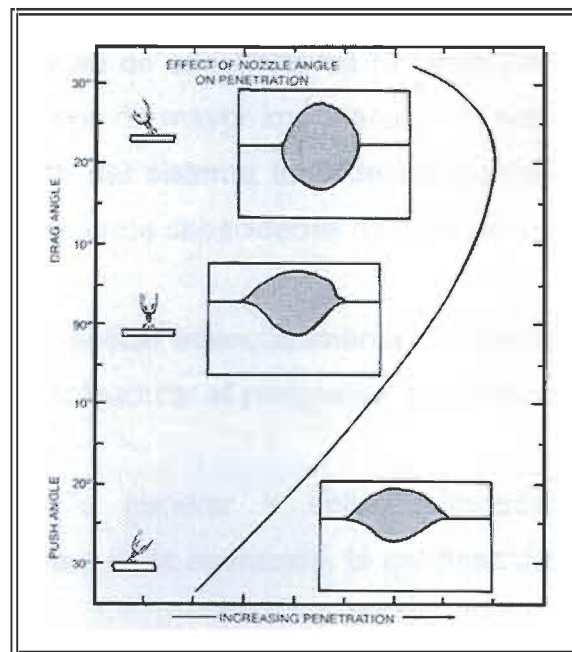


Figura 8.9 Efecto del ángulo de avance en la penetración y forma del cordón.

## 9.

# CALIDAD EN LA SOLDADURA Y SUS DISCONTINUIDADES

La demanda de productos más confiables, la tecnología cada vez más compleja, y la necesidad de conservar los recursos hace que la calidad de las soldaduras cada día sea de mayor importancia. Un sistema de manufactura de soldadura como parte del sistema total de fabricación producirá artículos de buena calidad estableciendo capacidades de ingeniería para:

- Seleccionar, aplicar adecuadamente e inspeccionar los procesos y los equipos de soldadura: **el programa de control de calidad.**
- Seleccionar o generar y aplicar procedimientos calificados de soldadura para cada operación: **la calificación del procedimiento de soldadura.**
- Dirigir, adiestrar y calificar al personal soldador que produce las construcciones soldadas: **la calificación del soldador.**

El sistema de fabricación proporciona el apoyo gerencial a través de planes de acción y de la autoridad delegada. El sistema comprende la documentación que establece los diseños, las técnicas de manufactura y los métodos de control de calidad.

La calidad de la soldadura de cualquier producto se debe juzgar con respecto a una norma la cual debe basarse en el servicio esperado del producto. Debe haber un equilibrio entre los requisitos de servicio y la consecuencia de una falla, y los factores económicos.

Para muchos productos, en varias industrias, los requisitos de la calidad de las soldaduras están controlados por los reglamentos y especificaciones aplicables. Sin embargo, cuando no se aplican códigos o especificaciones, el fabricante debe mantener una alta calidad en sus productos para sobrevivir.

El éxito para mantener un equilibrio entre la alta calidad y bajo costo se decide en el campo y en el mercado, donde la calidad y el precio determinan si continua el éxito del fabricante.

### **9.1 Programa de control de calidad**

Para ciertas clases de trabajo están bien establecidos los requisitos de control de calidad. Estos requisitos hacen necesario redactar un programa de control de calidad. El programa debe asegurar una calidad adecuada desde el diseño, adquisición, fabricación y el embarque final.

El programa debe definir autoridad y responsabilidad para cada parte del trabajo. El programa para asegurar la calidad debe comprender lo siguiente:



**Organización.** Se debe establecer claramente la organización para la calidad. Debe definir y mostrar diagramas de responsabilidad y de autoridad, y la libertad organizacional para identificar y evaluar problemas de calidad. El personal de control de calidad no debe reportar al personal de producción.

**Programa de aseguramiento de la calidad.** El fabricante debe llevar a cabo una revisión de los requisitos necesarios de calidad en el producto. Se deben identificar los distintos factores, como controles especializados, procesos, equipo de prueba y conocimientos para asegurar la calidad del producto. Este programa se debe documentar mediante planes de acción por escrito, procedimientos e instrucciones.

**Control en el diseño.** El control en el diseño debe permitir verificar la adecuación del diseño mediante prueba de operación y revisión independiente. Debe incluir la calificación y prueba de prototipos, y debe apegarse a las especificaciones. Hay que establecer medidas que aseguren que las especificaciones de diseño y requisitos reglamentarios se trasladen correctamente a los dibujos, procedimientos e instrucciones.

**Control de documentos de adquisición.** El programa necesita que las especificaciones se hagan por escrito para cada parte comprada y que la especificación asegure la calidad del producto final. Estas especificaciones también necesitan de programas para asegurar la calidad de parte de los proveedores.

**Instrucciones, procedimientos y dibujos.** El programa de calidad debe asegurar que todo trabajo que afecte la calidad sea prescrito en instrucciones claras y completas, documentadas, de un tipo adecuado para el trabajo. Se debe vigilar que se cumplan bien las instrucciones.

**Control de documentos.** El programa de calidad debe comprender un procedimiento para mantener la totalidad y la corrección de dibujos e instrucciones, y que muestre datos, control, punto efectivo, etc. Estos dibujos, procedimientos e instrucciones deben mantenerse y su continuidad se debe explicar mediante avisos de cambio.

**Control del equipo, material y servicios comprados.** El programa debe incluir un sistema de control para compra a vendedores calificados. Esto significa que los proveedores deben tener programas semejantes de calidad para producir sus artículos. Hay que hacer una lista de los productos aprobados y sólo incluir en ella a proveedores que cumplan con los programas de calidad adecuados y que fabriquen partes de alta calidad.

El programa necesita de sistemas de inspección a la recepción, de modo que las partes compradas puedan revisarse comparándolas con las especificaciones.

La materia prima, las refacciones compradas, etc., se deben revisar mediante instrumentos, procedimientos de laboratorio, etc., para asegurar que los productos satisfagan las especificaciones.

**Identificación y control de materiales.** El programa debe permitir la identificación de todas las partes, materiales, componentes, etc., desde la recepción, y a través de todos los procesos hasta el artículo final. Los registros deben permitir la localización de todos los materiales, componentes, etc. Se debe establecer una lista de verificación para que se puedan revisar todas las características y para anotar que se han recibido los informes de las pruebas, se han revisado y se han aprobado.

**Control de procesos especiales.** El programa de control de calidad debe asegurar que todas las operaciones de manufactura, incluyendo la soldadura,

se lleven a cabo bajo condiciones controladas. Estas condiciones controladas implican el seguir instrucciones de trabajo por escrito, dibujos, equipo especial, etc. Además, implica que se den instrucciones, con espacios para informar los resultados de la inspección por parte del fabricante y del inspector, incluyendo la fecha y sus iniciales.

**Inspección.** El programa para asegurar la calidad debe incluir un sistema de inspección y pruebas para todos los productos. Dichas pruebas deben simular el servicio del producto y hay que registrar si el producto es adecuado y cumple con esas especificaciones.

**Control de prueba.** El programa debe asegurar que todas las pruebas se lleven a cabo de acuerdo con las instrucciones escritas. Las instrucciones deben incluir los requisitos y los límites de aceptación. Los resultados de prueba se deben documentar y evaluar para asegurar que se satisfagan los requisitos de prueba.

**Control de equipo de medición y prueba.** El programa debe incluir métodos para mantener la exactitud de los calibres, dispositivos de prueba, medidores y demás dispositivos de precisión, que muestre que estén calibrados contra patrones certificados de medida, en una base periódica.

**Manejo, almacenamiento y entrega.** El programa debe incluir instrucciones adecuadas para el manejo, almacenamiento, conservación, empaque, embarque, etc., para que el producto esté protegido desde que se fabrica hasta que se usa.

**Prueba de inspección y estado operacional.** El programa debe abarcar métodos de identificación de partes para determinar su estado en lo concerniente a inspección y aprobación.

**Materiales, partes o componentes que no se ajustan a las especificaciones.** Debe haber un procedimiento establecido para mantener un sistema efectivo y positivo de control del material que no pase las pruebas. Puede comprender y especificar un reprocesamiento; sin embargo, se deben mantener registros de ese trabajo.

**Acciones correctivas.** El programa de calidad debe establecer métodos de modificaciones rápidas de cualquier condición que sea adversa para la calidad, incluyendo el diseño, la adquisición, la fabricación, la prueba, etc. El programa también debe comprender métodos para superar defectos, tomar acciones correctivas para producir una parte que satisfaga la calidad deseada.

**Registros para asegurar la calidad.** El programa necesita que se cuente con registros, incluyendo todos los datos esenciales para la operación económica y efectiva del programa de control de calidad. Los registros deben ser completos y confiables, e incluir mediciones, inspecciones, observaciones, etc., y dichos registros deben estar disponibles para su revisión.

**Costo en relación con la calidad.** El programa debe permitir el mantenimiento y uso de datos de costo para identificar el costo del programa y para la prevención y corrección de los defectos encontrados.

**Herramientas de producción y equipo de prueba.** Se pueden usar varios artículos de herramientas, incluyendo sistemas de fijación, plantillas, patrones, etc., para fines de inspección, siempre que a intervalos periódicos se compruebe su exactitud.

**Auditorias.** El programa debe incluir un sistema de auditorias planeadas y periódicas para verificar que se cumplan con todos los aspectos del programa para asegurar la calidad. La auditoria la debe llevar a cabo personal extraño a las áreas que se vayan a inspeccionar.

Las auditorias se deben llevar por escrito y revisarlas, así como corregir cualquier deficiencia que se encuentre. La lista anterior es un esquema simplificado de los requisitos de un programa para asegurar la calidad necesaria para productos críticos. A medida que pasa el tiempo, y que continúan los requisitos de una mayor calidad, se pueden necesitar programas semejantes para otros productos.

## 9.2 Inspección

El examen visual es una técnica de prueba o método de evaluación, no destructiva. Con mucho es la más popular y la que más se emplea. Es el método de inspección menos costoso y extremadamente efectivo.

El inspector de soldadura puede usar el examen visual durante todo el ciclo de producción de una construcción soldada. Es un método efectivo de control de calidad que asegura la conformidad con el procedimiento y también detectara errores durante las primeras etapas, además de estos exámenes visuales se realizan las pruebas de fugas las cuales se pueden llevar a cabo de muchos modos distintos.

Se pueden usar sólo cuando la construcción soldada se destine a almacenamiento de líquidos que es el caso del depósito del calentador o de gases.

La prueba más común de fugas y que se realiza para este tipo de depósitos es la prueba de las burbujas de jabón, que se aplica a las uniones externas con una presión de aire en el interior. Otra manera es usar líquidos en el interior y mantenerlos a alta presión durante un largo periodo. La misma prueba puede utilizar un vacío. Se usan halógenos gaseosos con medidores sensibles para su detección, para inspeccionar las partes de producción.

No se deben emplear gases tóxicos o inflamables, o aire para pruebas de presión interna.

La presión interna almacenará energía, y si la parte falla, puede causar una explosión que originará daños corporales. En lugar de esto se sugiere utilizar líquidos por el interior, o hacer la prueba dentro de una cámara de seguridad.

### **9.3 Defectos de soldadura** [2,3,4]

El problema de los defectos de soldadura se ha complicado mucho en los últimos años, en parte debido a que se usan una gran variedad de nombres y definiciones para un solo fin. Por ejemplo, un defecto de soldadura es sinónimo de discontinuidad, el término preferido.

Discontinuidad es una interrupción de la estructura típica de un material, como por ejemplo una falta de homogeneidad en sus características mecánicas, metalúrgicas o físicas.

Una discontinuidad no necesariamente es un defecto, ya que un defecto es una discontinuidad o discontinuidades que por naturaleza o por efecto acumulado hacen que una parte o un producto no sea capaz de satisfacer las normas o especificaciones mínimas de aceptación. Esta palabra implica una posibilidad de rechazo.

Una soldadura defectuosa viene a ser entonces una soldadura que contenga uno o más defectos. Para nuestros fines, consideraremos a los defectos como cualquier cosa indeseable en una soldadura. Puede o no ser causa de rechazo o de reparación. Esto casi siempre es un asunto que se deja a las especificaciones o códigos de que se trate.

Es importante que aprendamos a reconocer los distintos tipos de defectos de soldadura, así como saber lo suficiente sobre ellos para poderlos reconocer, arreglarlos y evitarlos.

Más adelante se incluye una recopilación de fotografías y dibujos de los probables defectos que puedan surgir en las soldaduras de las uniones del tanque para el calentador de agua.

Los diferentes defectos que se pueden presentar, la descripción de cada uno en particular, o algún problema, y una indicación de cómo o qué causó el problema, así como la acción que debe tomarse para corregirlo.

En esta recopilación hemos tratado de indicar la responsabilidad para cada uno de los defectos. La descomposición es amplia, pero indicará si es debida al soldador, esto es, si es un-problema de técnica de soldadura, si fue mal diseñada, esto es, si es un problema de planos o de diseño.

### 9.3.1 Falta de penetración [2,3,4]

#### Causa

1. Velocidad de avance demasiado rápida.
2. Corriente para soldar demasiado baja.
3. Pobre diseño y/o preparación de la junta.
4. Diámetro del electrodo demasiado grande.
5. Tipo equivocado de electrodo.
6. Longitud del arco excesivamente larga.

#### Solución

1. Disminuya la velocidad de avance.
2. Aumente la corriente para soldar.
3. Aumente la abertura de la raíz o disminuya la superficie de la raíz.
4. Use un electrodo más pequeño.
5. Use un electrodo con características de penetración más profundas.
6. Reduzca la longitud del arco.

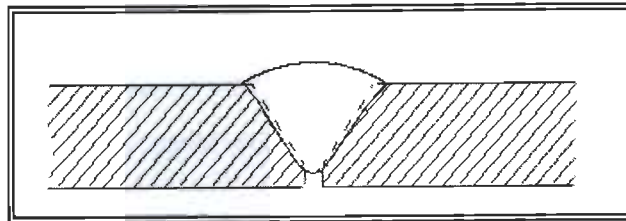


Figura 9.1 Falta de penetración



### 9.3.2 Inclusiones [2,3,4]

Existen 2 tipos básicos de inclusiones que son inclusiones de escoria e inclusiones de oxido.

#### Causa

1. Remoción incompleta de la escoria entre los pasos.
2. Velocidad de avance errática.
3. Movimiento oscilatorio demasiado ancho.
4. Electrodo demasiado grande.
5. Se permite a la escoria avanzar delante del arco.
6. Chisporroteo.

#### Solución

1. Remueva completamente la escoria entre los pasos.
2. Use una velocidad de avance uniforme.
3. Reduzca el ancho en la técnica de oscilación.
- 4.
5. Use un electrodo de tamaño más pequeño para un mejor acceso a la junta.
6. Aumente la velocidad de avance o cambie el ángulo del electrodo o reduzca la longitud del arco.
7. Utilizar una corriente adecuada.

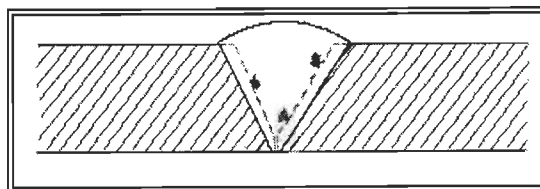


Figura 9.2 Inclusiones

### 9.3.3 Soldaduras Agrietadas [2,3,4]

Las grietas en frío ocurren cuando la soldadura ha solidificado por completo y son causadas por lo general por hidrógeno, esfuerzos residuales en la junta y rápido enfriamiento.

#### Causa

1. Tamaño insuficiente de la soldadura.
2. Sujeción excesiva de la junta.
3. Pobre diseño y/o preparación de la junta.
4. El metal de aporte no hace juego con el metal base.
5. Rápida tasa de enfriamiento.
6. La superficie del metal base está cubierta con aceite, grasa, humedad, moho, suciedad o costras de laminado, etc.

#### Solución

1. Ajuste el tamaño de la soldadura al espesor de la pieza.
2. Reduzca la sujeción de la junta por medio de un diseño. adecuado.
3. Seleccione el diseño adecuado a la junta.
4. Use un metal de aporte más dúctil.
5. Reduzca la tasa de enfriamiento por medio del precalentamiento.
6. Limpie adecuadamente el metal base antes de soldar



Figura 9.3 Soldadura agrietada

### 9.3.4 Socavados [2,3,4]

Son causados en la junta en el pie y pueden resultar en grietas.

#### Causa

1. Excesiva corriente.
2. Voltaje del arco muy alto.
3. Excesiva velocidad de avance y el metal de aporte no alcanza a llenar.
4. Velocidad de aporte del alambre errada.
5. Demasiada velocidad de oscilación.
6. Angulo incorrecto del electrodo especialmente en soldaduras.
7. horizontales y verticales.

#### Solución

1. Disminución de corriente.
2. Ajuste correcto de voltaje disminuirlo.
3. Disminución de la velocidad de avance para el correcto llenado del metal de aporte.
4. Ajuste correcto velocidad de aporte del alambre.
5. Disminución de la velocidad de oscilación.
6. Ajuste correcto del ángulo del electrodo.

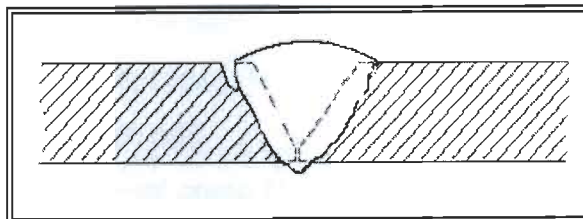


Figura 9.4 Socavados

### 9.3.5 Porosidad [2,3,4]

La porosidad son burbujas de gas atrapado en el metal de soldadura que pueden ser pequeñas, agrupadas o aisladas en todo lo largo de la soldadura, estas discontinuidades en la superficie pueden ser causadas por lo siguiente:

#### Causa

1. Gas de protección inadecuado.
2. Gas de protección insuficiente.
3. Contaminación del gas de protección.
4. Excesiva corriente.
5. Excesiva extensión del electrodo.
6. Excesiva velocidad de avance causa solidificación del charco antes de que el gas escape.
7. Grasa, aceite o mezclas de suciedades en el metal de aporte y metal base.
8. Corrientes de aire sobre la zona de soldadura que perturben la protección de gas.
9. Diámetro interno de la tobera reducida por la acumulación de salpicaduras.
10. Flujómetro roto.
11. Conexiones de mangueras sueltas.
12. Ángulos de trabajo inapropiados.
13. Velocidad de avance demasiado rápida.
14. Electrodo fuera de centro respecto a la boquilla.
15. Voltaje demasiado alto.
16. Impurezas del metal como fósforo y azufre.

## Solución

1. Seleccionar la mejor mezcla de gases..
2. Aumentar flujo de gas y eliminar posibles fugas de la mezcla.
3. Verificar pureza de la mezcla de gases.
4. Disminuir corriente.
5. Ajustar extensión del electrodo a un rango entre  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ " .
6. Ajustar Velocidad de avance de acuerdo a lo especificado.
7. Eliminar rastros de Grasa, aceite o mezclas de suciedades en el metal de aporte y metal base.
8. Colocar mamparas para la protección de la zona de soldadura.
9. Limpiar con más frecuencia la tobera y utilizar liquido para evitar las salpicaduras.
10. Reemplazar flujómetro.
11. Apretar correctamente mangueras o reemplazar.
12. Ajustar ángulos de trabajo.
13. Disminuir velocidad de avance.
14. Ajustar tubo de contacto, tobera y alambre.
15. Disminuir voltaje.

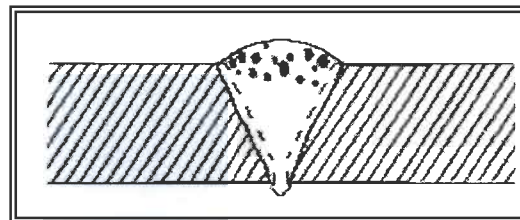


Figura 9.5 Porosidad

### 9.3.6 Porosidad Tipo Túnel [5]

Su nombre se debe a que es una burbuja de gas alargado causada usualmente por azufre en el acero, este defecto puede causar la baja en la resistencia de la soldadura.

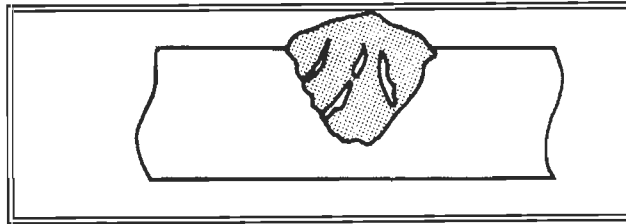


Figura 9.6 Porosidad tipo túnel

### 9.3.7 Excesivas Salpicaduras [2,3,4]

#### Causa

1. Soplo del arco.
2. Corriente para soldar demasiado alta.
3. Longitud del arco demasiado larga.
4. Electrodo húmedo, sucio o dañado.
5. Stick out demasiado alto.
6. Electrodo incorrecto.

#### Solución

1. Intente reducir el efecto del soplido del arco.
2. Reduzca la corriente para soldar.
3. Reduzca la longitud del arco.
4. Conserve y guarde adecuadamente el electrodo.
5. Ajustar stick out a lo establecido.
6. Determinar mejor electrodo para el proceso.

### 9.3.8 Distorsión [2,3,4]

#### Causa

1. Errada preparación de la junta.
2. Ensamblado inadecuado del tanque.
3. Tanque y tapas ovaladas.
4. Excesivo tamaño de la soldadura.
5. Desajuste de la maquina.
6. Desgaste de equipo para ensamblar.
7. Excentricidad entre puntos de referencia del ensamblado.

#### Solución

1. Diseñar preparación adecuada de la junta.
2. Ensamblar correctamente partes que componen el tanque.
3. Garantizar en los procesos anteriores la correcta formación de los componentes.
4. Aplicación de soldadura adecuada.
5. Ajuste de puntos críticos de la maquina.
6. Determinar vida útil de las partes expuestas al desgaste y programar cambio.
7. Garantizar concentricidad entre puntos de referencia del ensamblado.

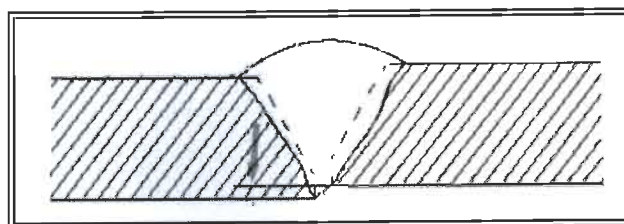


Figura 9.7 Distorsion

### 9.3.9 Falta de fusión [2,3,4]

#### Causa

1. Inadecuada velocidad de avance
2. Corriente para soldar demasiado larga
3. Diámetro del electrodo demasiado grande
4. Soplido magnético del arco
5. Ángulo errado del electrodo

#### Solución

1. Reduzca la velocidad de avance
2. Aumente la corriente para soldar
3. Reduzca el diámetro del electrodo
4. Reduzca los efectos del soplido magnético del arco
5. Use ángulos adecuados para el electrodo.

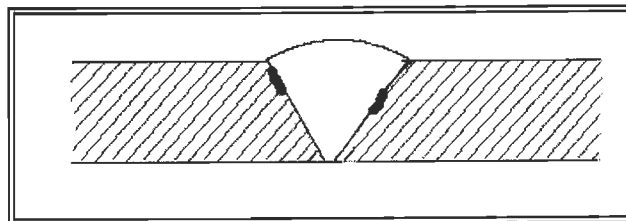


Figura 9.8 Distorsión



# 10.

## CASOS DE ESTUDIO

Dentro de la manufactura del recipiente para el calentador de agua se tiene como principal problema la pérdida de presión en el interior del tanque al realizarse la prueba neumática, observando diferentes defectos en los cordones de soldadura por lo que se opta por ajustar los distintos parámetros utilizados para la manufactura de este componente.

Se corre un lote de trescientos tanques, equivalente a tres horas de producción de una línea.

Se le realiza limpieza a las uniones a soldar antes de llegar a la estación de trabajo como:

- Eliminación de polvo producido por las granalladoras.
- Eliminación de escamas producidas por el horneado del proceso anterior.
- Se intenta retirar de las uniones el total de adherencias de esmalte producidas por el proceso anterior.
- La unión entre el depósito y la tapa se cierra manualmente no dejando pasar a la estación siguiente uniones deficientes.

- Se ajustan distintos mecanismos de cierre utilizados en las estaciones, sustituyendo los que presentaban deterioro.
- Se cambian cables de alimentación y de tierra dañados para garantizar la buena estabilidad del arco.
- Se eliminan fugas en las tuberías y en las mangueras de alimentación de la mezcla de gases.
- Se realiza limpieza a la tobera y difusor del mecanismo cada 10 piezas.
- Se mantiene stickout entre  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ "
- Se ajustan los parámetros en el NA-5 (Control automático) de la siguiente manera):

Para Soldadura aplicadas en tapas:

DIAMETRO/ CALBRE	STRIKE		START			WELD.			CRATER			ROTACION	VARIADOR
	AMP.	VOLT.	AMP.	VOLT.	TIME	AMP.	VOLT.	TIME	AMP.	VOLT.	TIME		
12" / 16	100 ± 10	27.0 ± 2	450 ± 10	26.0 ± 2	0.50	570 ± 50	25.0 ± 2	18.5 ± 2	680 ± 30	30.0 ± 2	1.70	18.3 seg.	5.7 HZ
12" / 14	100 ± 10	27.0 ± 2	450 ± 10	26.0 ± 2	0.50	600 ± 50	25.0 ± 2	18.5 ± 2	680 ± 30	30.0 ± 2	1.70	18.3 seg.	5.7 HZ
14" / 12	100 ± 10	27.0 ± 2	450 ± 10	26.0 ± 2	0.50	650 ± 50	25.0 ± 2	21.5 ± 2	700 ± 30	32.0 ± 2	1.70	22.6 seg.	5.0 HZ
16" / 10	100 ± 10	27.0 ± 2	450 ± 10	26.0 ± 2	0.50	650 ± 50	25.0 ± 2	25.4 ± 2	700 ± 30	32.0 ± 2	1.70	34.0 seg.	4.3 HZ

MEZCLADEGAS 90% ARGON 10% CO <sub>2</sub>	FLUJO DE GAS 50-60 CFH CFH (PIES CUBICOS POR HORA)	ALAMBRE-ELECTRODO Ø 1.2mm Clasificación de AWS ER70S6
--	--	--

Para Soldaduras aplicadas en tubo interior (salida gases)

DIAMETRO/ CALBRE	STRIKE		START			WELD			ROTACION	VARIADOR
	AMP.	VOLT.	AMP.	VOLT.	TIME	AMP.	VOLT.	TIME		
12" / 16	100	27.0	550	27.0 ± 2	0.50	570 ± 50	25.0 ± 2	9.1 ± 0.2	8.0 Seg.	50.0 HZ
12" / 14	100	27.0	550	27.0 ± 2	0.50	570 ± 50	25.0 ± 2	9.1 ± 0.2	8.0 Seg.	50.0 HZ
14" / 12	100	27.0	550	27.0 ± 2	0.50	570 ± 50	25.0 ± 2	10 ± 0.2	9.0 Seg.	44.0 HZ
16" / 10	100	27.0	550	27.0 ± 2	0.50	570 ± 50	25.0 ± 2	10.5 ± 0.2	10.0 Seg.	43.0 HZ

MEZCLA DE GAS	FLUJO DE GAS	ALAMBRE - ELECTRODO
90% ARGON 10% CO <sub>2</sub>	50-60 CFH	Ø 0.9 mm
	CFH (PIES CUBICOS POR HORA)	Clasificación de AWS ER 70S-6

# 11.

## CONCLUSIONES.

El principal problema que se presenta en la fabricación del recipiente para el calentador de agua son las fugas encontradas en las pruebas neumáticas observando como principal defecto la porosidad provocada principalmente por la suciedad existente del proceso anterior el esmalte y el horneado, el cual provoca escamas en la lámina perjudicando las uniones a soldar, otro de los principales problemas es la falta de unión uniforme entre las distintas piezas provocadas por el proceso de producción.

Al detectar que gran parte de los problemas referentes a las fugas se presentan a consecuencia de los procesos anteriores y al no poder eliminarlos por ser parte fundamental en la manufactura del recipiente para el calentador de agua se propone diseñar, fabricar y adaptar máquinas antes de las estaciones de aplicación de soldadura la cual nos ayude a eliminar la falta de unión entre las piezas a se soldadas y así nos garantice que las partes estén uniformemente unidas, esta máquina a su vez realizara una limpieza en las circunferencias de las tapas unidas al tanque eliminando por completo las escamas del laminado y el esmalte adherido en las uniones a soldar.

Como parte fundamental de este trabajo fue la determinación adecuada de los parámetros a controlar voltaje, amperaje, metal de aporte, mezcla de gases, stickout, ángulos de avance y de trabajo, velocidad de avance así como también se establecieron los parámetros óptimos del proceso de soldadura GMAW para la manufactura del recipiente a presión para el calentador de agua.

Las recomendaciones que se hacen para la manufactura del tanque son:

- Voltaje y amperaje se muestran en las tablas 1 y 2.
- Mezcla de gas 90% Argon 10% CO<sub>2</sub>.
- Flujo de gas en 50 CFH
- Electrodo tipo AWS ERS70-6 en un diámetro de 1.2mm para las tapas y de 0.9 mm para tubo salida de humos.
- Ángulo de trabajo de 45° y el ángulo de avance entre 10 y 15°
- Stickout de 1/2" a 3/4"
- Reducir la velocidad de avance al aplicar la soldadura en las tapas de 6hz a 5.7 hz o lo que es igual de 16 seg a 18.3 seg.
- Realizar limpieza a los consumibles como es la tobera y el difusor cada 10 o 15 piezas.
- Seguir programa de mantenimiento recomendado.

El seguir estas recomendaciones nos garantizara que el recipiente a presión para el calentador de agua sea fabricado con los estándares de calidad requeridos y así poder llegar eliminar gran parte de los defectos que se nos presentan en la fabricación de este recipiente y cumplir con el objetivo de reducción de un 5% a un 2%.

Con las pruebas realizadas ya se observo la disminución hasta un 2.3% en el total de fugas, por lo que ya se esta a un paso de lograrlo.

Al estar ya dentro de los objetivos los costos de fabricación disminuirán como también el retrabajo y el scrap y así la empresa será más productiva y competitiva fortaleciéndose como líder en la fabricación de calentadores de agua a nivel nacional.

La soldadura bajo las condiciones apropiadas y parámetros establecidos no deben presentar ningún tipo de problemas en cuanto a la calidad, en el momento en que perdemos el control de estos parámetros se pueden presentar problemas en la aplicación de la misma.

## 12.

# TRABAJOS FUTUROS

Se contempla hacer pruebas simulando las condiciones de fabricación del recipiente a presión para el calentador de agua, utilizando equipos de soldadura con la mas avanzada tecnología para poder disminuir las salpicaduras y el chisporroteo, que ocasionan diferentes problemas en el proceso después del porcelanizado en las estaciones de soldadura ya que se tiene que parar continuamente para realizar limpieza en las toberas por ensuciarse con facilidad y se tienen que limpiar con frecuencia al contemplar la nueva generación de máquinas antichisporroteo el proceso será mas productivo.

# 13.

## BIBLIOGRAFIA

- 1. Welding Handbook**  
Volumen 2 Welding Processes  
Eigth edition  
American Welding Society
- 2. Manual de Soldadura Moderna**  
Tomo 2 y 3  
Segunda edición  
Howard B. Cary
- 3. Gas Metal Arc Welding (GMAW)**  
Miller
- 4. Enseñanza Básica en Soldadura al Arco con Alambre Protegido por Gas**  
Hobart School of Welding Technology
- 5. Soldadura para Supervisores**  
Centro de Capacitación Entrenamiento y evaluación en Soldadura
- 6. Pressure Vessels**  
Seventh edition  
Robert Chuse y Bryce E. Carson, Sr.  
McGraw-Hill, Inc