



19  
20

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
" A R A G O N "**

**"PROBLEMATICA DE LOS ACEROS  
INOXIDABLES CON LOS PROCESOS  
MAS COMUNES DE SOLDADURA"**

**T E S I S**

Que para obtener el Título de:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P r e s e n t a :

**ARTURO GARCIA ROJAS**

Asesor: M. en C. Daniel Aldama Avalos

San Juan de Aragón, Edo. de Méx. 1996.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**A MIS PADRES:**

**CONCEPCION ROJAS ANGELES  
ENRIQUE GARCIA MENDEZ**

**CON TODO MI CARINO, ADMIRACION  
Y RESPETO. PORQUE SIEMPRE  
SERAN EL APOYO E INSPIRACION  
PARA LOGRAR TODO LO ANHELADO  
EN LA VIDA.**

**A MIS HERMANOS:**

**ENRIQUE,  
BLANCA LILIA,  
CLEMENTE,  
ANA MARIA,  
MARIA ESTHER,  
MARIA DE LOURDES.**

**POR SU CARINO Y APOYO  
INCONDICIONAL EN TODO MOMENTO.**

**A MI ABUELITA:**

**ANDREA ANGELES PEREZ.**

**AL M. EN C. DANIEL ALDAMA AVALOS**

**MI MAS SINCERO AGRADECIMIENTO POR SU INCALCULABLE  
ASESORIA, SU AYUDA, SU TIEMPO Y SUS CONOCIMIENTOS.**

**A LOS INGENIEROS DE CISA:**

**ALEJANDRO LICONA DOMINGUEZ.  
JAIME MARQUEZ SILVA.  
ALFREDO APARICIO.**

**A MIS GRANDES AMIGOS:**

**ALEJANDRO MARTINEZ PORRAS.  
ARMANDO UGALDE SIXTOS.  
HUGO A. OLEA JACINTO.  
JAVIER CASTAÑEDA DELGADO.**

**UN INFINITO AGRADECIMIENTO A MI QUERIDA ESCUELA:**

**U.N.A.M. E.N.E.P. ARAGON**

## INDICE

INTRODUCCION .....	1
<b>I. PROCESOS DE SOLDADURA EN ACEROS INOXIDABLES</b>	
1.1 Principios Generales .....	3
1.2 Soldadura Moderna .....	6
1.3 Procesos de Soldadura en Aceros Inoxidables .....	11
1.3.1 Soldadura por Arco con Electrodo Metálico Recubierto (SMAW) ..	12
1.3.2 Soldadura por Arco con Electrodo de Tungsteno Protegido con Gas Inerte (GTAW) .....	17
1.3.3 Soldadura por Arco Metálico Protegido con Gas Inerte (GMAW) ..	21
1.3.4 Soldadura por Arco Sumergido (SAW) .....	25
1.3.5 Soldadura por Arco de Plasma (PAW) .....	28
1.3.6 Soldadura por Hidrógeno Atómico (AHW) .....	34
1.3.7 Soldadura por Electroescoria (ESW) .....	35
1.3.8 Soldadura por Resistencia (RW) .....	38
1.3.8.1 Soldadura de Resistencia por Puntos (RSW) .....	41
1.3.8.2 Soldadura de Costura por Resistencia (RSEW) .....	43
1.3.8.3 Soldadura por Flash a tope .....	44
1.3.8.4 Soldadura por Percusión (PEW) .....	45
1.3.8.5 Soldadura por Presión (DFW) .....	46
1.3.8.6 Soldadura de Tubos por Resistencia .....	47
1.3.9 Soldadura con Gas Combustible (OFW) .....	47
1.3.10 Soldadura por Haz de Electrones (EBW) .....	48
1.3.11 Soldadura por Rayo Laser (LBW) .....	52
1.3.12 Soldadura Ultrasónica (USW) .....	54
1.3.13 Diseño de Uniones .....	55

<b>II. SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS INOXIDABLES</b>	
2.1 Características de la Soldadura de los Aceros Inoxidables	
Ferríticos .....	61
2.2 Características de la Soldadura de los Aceros Inoxidables	
Martensíticos .....	64
2.3 Características de la Soldadura de los Aceros Inoxidables	
Austeníticos .....	67
<b>III. DEFECTOS DE SOLDADURA EN ACEROS INOXIDABLES</b>	
3.1 Defectos de Soldadura .....	75
3.2 Ensayos No Destructivos .....	88
3.2.1 Inspección Visual .....	90
3.2.2 Inspección por Líquidos Penetrantes .....	92
3.2.3 Inspección Radiográfica .....	97
3.2.4 Inspección por Ultrasonido .....	110
3.3 Macroataque y su Importancia .....	118
3.4 Metalografía y su Importancia .....	120
<b>IV. CALIFICACION DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA</b>	
4.1 Precalificación de Procedimientos .....	126
4.2 Desarrollo de la Calificación de Procedimientos .....	127
4.3 Recalificación de Procedimientos de Soldadura .....	133
4.4 Utilización en Producción de Procedimientos Calificados de	
Soldadura .....	134
4.4.1 Parametros o Variables Contenidas en un WPS .....	135
4.4.2 WPS's Utilizados en Producción en Diferentes Equipos	
de Soldadura .....	137
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	147
<b>ANEXO</b> .....	153
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	163

## INTRODUCTION

## INTRODUCCION

El hecho de soldar aceros inoxidable implica el cuidado y control de los parametros que intervienen en un proceso específico, el contenido de elementos de aleación le proporcionan ciertas características ventajosas en comparación con otro tipo de metales, sin embargo, implica que los métodos de unión sean más complejos, ya que si no se tiene cuidado se pueden alterar sus propiedades, lo cual traería como consecuencia la falla de la unión.

En este trabajo de tesis se presentan procesos utilizados para soldar aceros inoxidable, lo cual tiene como objetivo conocer los parametros que intervienen en cada uno de éstos, su importancia y resultados a partir de combinaciones de metales base y de aporte.

Este trabajo está dividido en cinco capítulos, los cuales abarcan el estudio tanto teórico de los procesos de soldadura y aspectos prácticos, así como el control de la calidad aplicable a las uniones soldadas, en especial a las de los aceros inoxidable.

En el Capítulo I se da una breve reseña histórica de la evolución de la soldadura, se presenta la carta maestra de los métodos de soldadura, así como una investigación teórica de las características de los procesos comúnmente utilizados para soldar aceros inoxidable, en este capítulo también se presenta el diseño de juntas para uniones soldadas para determinado proceso.

En el Capítulo II se explican las características que intervienen al soldar un determinado grado y tipo de acero

inoxidable, así como los resultados esperados y tratamientos térmicos pre y postsoldadura. También se explica el comportamiento estructural de estos aceros durante el proceso calentamiento-enfriamiento a que están sujetos durante la acción de soldar.

El Capítulo III presenta los Ensayos No Destructivos que determinan la calidad de la unión soldada. Este capítulo reviste gran importancia, ya que el control de la calidad en la soldadura de aceros inoxidables determina que las uniones sean seguras, que no representen riesgos y cumplan con los requerimientos establecidos.

La utilización de procedimientos de soldadura son muy importantes ya que de éstos depende, en gran medida, que la unión soldada presente las características físicas y químicas deseadas, por tal motivo es muy importante el proceso de calificación de procedimientos de soldadura, el cual se hace a partir de metales base y de aporte iguales a los que serán utilizados en producción, y ensayando los posibles parámetros que proporcionen uniones de calidad. El desarrollo de la calificación de procedimientos de soldadura se presenta en el capítulo IV, y también se muestran los diferentes ensayos físicos o destructivos aplicables para este propósito.

En el Capítulo V se dan, de acuerdo con la experiencia propia y la asesoría de personas capacitadas en el área de la soldadura de producción de aceros inoxidables, algunas recomendaciones para hacer más fácil la obtención de soldaduras de calidad.

El contenido de este trabajo de tesis pretende mostrar el desarrollo que implica la utilización de un procedimiento de soldadura calificado, y por tal motivo controlado, que evite la proliferación de problemas durante su utilización en producción.

También se presentan los defectos que se pueden encontrar al momento de realizar inspecciones mediante Ensayos No Destructivos, y en general, la problemática existente al soldar aceros inoxidables.

**CAPITULO UNO**

**" PROCESOS DE SOLDADURA EN "  
ACEROS INOXIDABLES**

## CAPITULO UNO

### "PROCESOS DE SOLDADURA EN ACEROS INOXIDABLES"

#### 1.1 PRINCIPIOS GENERALES.

Los aceros inoxidables están formados por aleaciones de hierro-cromo y en algunos tipos de hierro-cromo-níquel, debido a su alto contenido de cromo y níquel presentan una alta resistencia a la corrosión en medios acuosos que podrían contener elementos agresivos de origen orgánico o mineral, además de poseer resistencia a la corrosión a altas temperaturas.

De su contenido de cromo obtienen sus propiedades esenciales, ya que cuando contienen más de 12% se elimina completamente la corrosión, mientras que con contenidos menores de 12% se inhibe pero no se elimina la corrosión.

De acuerdo con el Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI, American Institute for Steel and Iron), los aceros inoxidables se clasifican de la siguiente forma.

Serie 200	Cromo-Níquel-Manganeso.
Serie 300	Cromo-Níquel.
Serie 400	Cromo Puro
	A) Martensíticos.
	B) Ferríticos.
Serie 500	Cromo-Molibdeno.

Los aceros inoxidable de mayor utilización en la industria son los de la serie 300.

Los aceros de la serie 400 son conocidos como inoxidable al Cromo Puro, ya que no cuentan con Níquel, se dividen en dos grupos que son:

- Cromo Puro Ferrítico: Son aquellos que contienen hasta un 30% de cromo y 0.20% de carbono.
- Cromo Puro Martensítico: Son aquellos que contienen hasta un 18% de cromo y hasta 1.20% de carbono.

Los aceros de la serie 500 contienen 0.50% de Molibdeno y de 4 a 6% de cromo.

La soldadura es una operación consistente en reunir dos o más piezas constitutivas de un conjunto, utilizando o no un material de aporte, cuya temperatura de fusión es de la misma magnitud que el metal base, asegurando la continuidad entre las partes que se unen, mediante caldeo, mediante presión o mediante caldeo y presión.

En la soldadura antigua de forja como en la soldadura moderna se necesita que los metales a unir sean elevados cerca de la temperatura de fusión. Todos los metales son soldables, pero se necesita que tanto el procedimiento como la técnica sean adecuados. El grado de soldabilidad de un acero depende de su composición, estructura y propiedades, es decir, existe una estrecha relación entre la metalurgia y la soldabilidad de los metales.

Las investigaciones realizadas en el campo de la soldadura a lo largo de la historia, han desarrollado varios procesos, los cuales se clasifican en tres grandes grupos.

1.-SOLDADURA DE ARCO. Este es el proceso más utilizado, ya que puede ser económico y versátil. La Soldadura por Arco de Carbón es de los procesos más primitivos dentro de la soldadura moderna, le sigue el de Soldadura por Arco Metálico Revestido, luego se necesitó

mayor protección en el depósito o cordón para evitar defectos, por tal motivo se desarrollo el proceso de soldadura por arco de tungsteno y gas inerte de protección de electrodo no consumible, el de soldadura de arco metálico y gas inerte emplea un electrodo-material de aporte de alimentación continua, existen más procesos de soldadura por arco, como son el de arco sumergido y por arco de plasma entre otros.

2.-SOLDADURA CON GAS COMBUSTIBLE. El calor para este proceso se produce por una llama, la cual es el producto de la combustión de un gas combustible o carburante con el oxígeno o aire como comburente. Los gases combustibles más comunes son acetileno, gas natural, propano, butano, hidrógeno y metil acetileno propadieno. La combinación de acetileno y oxígeno presentan la mayor temperatura en este tipo de procesos, que es de 3480 °C (6300 °F) en el cono aproximadamente. La combustión de estos gases con el oxígeno producen bióxido de carbono y agua, los cuales son perjudiciales para algunos tipos de metales.

Debido a que los gases son hidrocarburos, es decir, compuestos de hidrogeno y carbono, también son dañinos para algunos metales como el titanio.

Con un equipo de soldadura con gas combustible se pueden hacer cortes a la llama, esto se logra cuando el metal a cortar se calienta al rojo vivo con el soplete, para luego hacer pasar una corriente de oxígeno a presión hacia el metal, logrando así un corte por la acción del chorro o corriente de oxígeno.

3.-SOLDADURA POR RESISTENCIA. El calor necesario para este proceso se genera por la resistencia al paso de corriente del metal base, la cual se encuentra bajo presión mecánica por dos electrodos de cobre. La presión de los electrodos hacia la pieza de trabajo provoca que al momento de que el metal llega al punto de fusión su estructura cristalina se refine y con esto la unión tiene características físicas iguales o superiores al metal base. La soldadura por resistencia abarca procesos como los siguientes:

A) SOLDADURA POR PUNTOS. Este es el proceso más sencillo, consiste en prensar dos o más piezas de metal laminado entre dos electrodos de cobre (o aleación de cobre), hacer pasar una corriente eléctrica y debido a la presión y a la fusión del metal, provocar la unión.

B) SOLDADURA DE COSTURA POR RODAMIENTOS. En este proceso los electrodos son ruedas, entre éstas se alimenta el metal a soldar produciéndose una unión continua, también puede ser una rueda y un electrodo de barra, dependiendo del tipo de ensamble que se deberá soldar.

C) SOLDADURA DE ARCO CON PRESION. El calor se genera al sujetar las piezas a unir cerca de sus extremos por medio de electrodos o mordazas, se aproximan las piezas hasta iniciar un arco eléctrico, pero evitando el contacto, cuando el metal llega aproximadamente a la temperatura de fusión, se unen con un movimiento súbito.

D) SOLDADURA A TOPE CON RECALCADO. Este proceso es muy parecido al de soldadura de arco con presión, sólo que en éste la presión entre piezas de trabajo se mantiene durante todo el proceso, desde antes del calentamiento y hasta terminada la unión.

E) SOLDADURA POR PERCUSION. El calor se genera por medio de un arco producido por una descarga rápida de energía eléctrica, se le aplica una fuerza percusiva durante o después de la descarga, se hace golpear una pieza contra la otra provocando la expulsión del metal fundido y se completa la unión.

## 1.2 SOLDADURA MODERNA.

El proceso más antiguo de soldadura fue el forjado, consistía en calentar las piezas de hierro en una fragua u horno hasta que se ablandaba el metal, se colocaban uno encima del otro y se fusionaban

mediante el golpeo con un martillo, en la actualidad se usa sólo con fines puramente artesanales.

En 1877 se efectuaron las primeras soldaduras por presión, las cuales consistían en unir piezas de poco espesor sin calentarlas, pues se lograban unir al aplicar una alta presión en las piezas delgadas, limpias y colocadas a traslape.

En 1885 los alemanes Berardos y Ozczewky utilizaron el arco de carbón para la fusión localizada de aceros.

En 1891 se desarrolló la soldadura por arco, al unir dos placas mediante un alambre desnudo de acero, a través del cual se logro establecer un arco eléctrico.

En 1901 se logró desarrollar la construcción del primer soplete industrial, sin embargo, la llama de oxiacetileno, se venia desarrollando casi sesenta años antes, en 1837.

En 1924 se descubre la soldadura con hidrógeno atómico y que consiste en establecer un arco eléctrico entre dos electrodos de carbón haciendo pasar gas hidrógeno a través del arco, diez años después, en 1934 se logran obtener aplicaciones industriales casi generales de los electrodos revestidos, esto, debido a las composiciones químicas de los revestimientos que beneficiaron al metal de aporte para lograr mejores uniones.

En 1935 se empiezan a usar gases inertes para proteger al arco eléctrico, primero se utilizó el hidrógeno y posteriormente se utilizó el argón.

En 1936 se construyó en Estados Unidos la primera máquina automática con electrodo de flujo continuo. Con este método se lograron variadas combinaciones, pues los electrodos pueden ser desde microalambres hasta electrodos de 5 centímetros de diámetro, pueden utilizarse medios de protección como fundente en polvo, en

pasta o gases inertes.

En 1938 se introducen los controles electrónicos en las máquinas soldadoras por resistencia eléctrica, los primeros fabricantes de éstas fueron General Electric y Westinghouse.

La soldadura moderna de los metales, al igual que la soldadura antigua de forja, logra uniones de metales por fusión, así, la unión presenta igual o mayor resistencia que el metal base.

Según se puede ver en la tabla 1.1 existen aproximadamente noventa procesos de soldadura, divididos en diferentes tipos, todos son eficientes para alguna operación específica de soldadura, sin embargo, sólo alrededor de cuarenta procesos se pueden utilizar de forma eficiente para soldar aceros inoxidable, estos procesos tienen una utilización recomendada de acuerdo al tipo de acero inoxidable y sus características como espesor, tipo de junta, selección del metal de aporte y tratamiento térmico.

Los procesos de soldadura en general se subdividen en ocho grupos básicos, que son:

1. Soldadura por arco.
2. Soldadura de estado sólido.
3. Soldadura por resistencia eléctrica.
4. Soldadura con gases combustibles.
5. Soldadura fuerte.
6. Soldadura blanda.
7. Otras soldaduras.
8. Procesos relacionados 

{	Rocío térmico.	{	Con oxígeno.
{	Corte Térmico	{	Por arco.
			Otros cortes.

En la página nueve se presenta la tabla 1.1 Carta Maestra de Soldadura y Procesos Relacionados, la cual ha sido elaborada por la

American Welding Society (AWS) y enumera todos los procesos de soldadura existentes todavía en la industria.

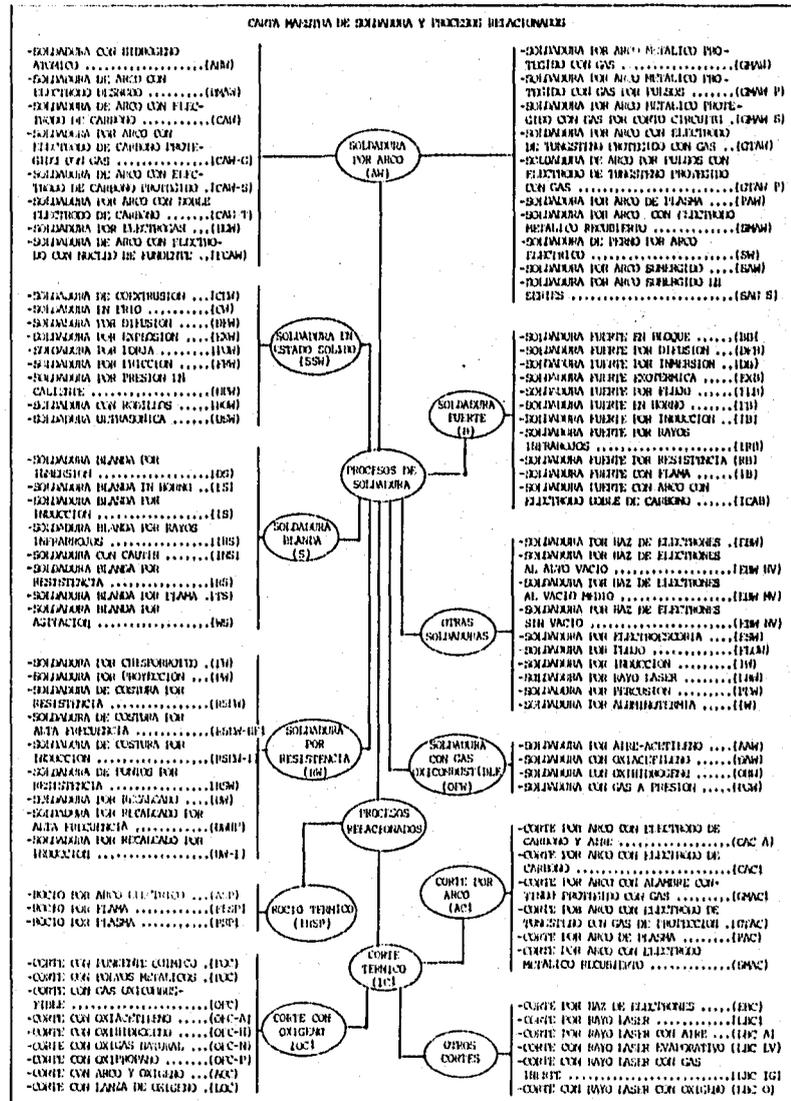


Tabla 1.1 CARTA MAESTRA DE SOLDADURA (5)

Algunos de estos procesos tienden a ser remplazados por otros que han demostrado ser más eficientes y que han sido desarrollados para no afectar demasiado las propiedades de la soldadura y del metal base, y así proporcionar una unión de calidad que a su vez provoca que el metal de aporte sea ligado íntimamente al metal base, de esta manera se logra una continuidad en los metales ya soldados y por lo tanto se obtienen piezas íntegras de gran tamaño.

En la soldadura de aceros inoxidable se necesitan cuidados estrictos que puedan asegurar tanto el éxito de la unión como la seguridad de que la pieza soldada resistirá el trabajo a que será expuesta, por tal motivo, los procesos que se emplean con mayor frecuencia en la industria son los siguientes:

- 1.-Soldadura por Arco con Electrodo de Tungsteno Protegido con Gas Inerte (GTAW, Gas Tungsten Arc Welding).
- 2.-Soldadura por Arco Metálico Protegido con Gas Inerte (GMAW, Gas Metal Arc Welding).
- 3.-Soldadura por Arco Metálico Revestido (SMAW, Shielded Metal Arc Welding).
- 4.-Soldadura por Oxiacetileno (OAW, Oxiacetilene Welding).
- 5.-Soldadura por Arco Sumergido (SAW, Submerged Arc Welding).
- 6.-Soldadura por Arco de Plasma (PAW, Plasma Arc Welding).
- 7.-Soldadura por Resistencia (RW, Resistance Welding).
- 8.-Soldadura por percusión (PEW, Percussion Welding).
- 9.-Soldadura por Presión (HPW, High Pressure Welding).
- 10.-Soldadura con Hidrógeno Atómico (AHW, Atomic Hydrogen Welding).
- 11.-Soldadura por Electroescoria (ESW, Electroslag Welding).
- 12.-Soldadura por Haz de electrones (EBW, Electron Beam Welding).
- 13.-Soldadura por Rayo Laser (LBW, Laser Beam Welding).
- 14.-Soldadura Ultrasónica (USW, Ultra Sonic Welding).

Cada uno de estos procesos puede tener una aplicación definida de acuerdo al tipo de acero inoxidable, al tipo de maquinaria disponible y a la economía para realizar un trabajo.

Mayor importancia revisten estos procesos si se toma en cuenta que los trabajos industriales con acero inoxidable tienen una aplicación específica y normalizada, pues se les utiliza como piezas sujetas a altas temperaturas, depósitos a presión, contenedores para ácidos corrosivos, en la industria nuclear, aeronáutica, etc.

### **1.3 PROCESOS DE SOLDADURA EN ACEROS INOXIDABLES.**

Todos los aceros inoxidables pueden ser soldados por varios procesos, pero, debido a sus variaciones en composición, propiedades físicas y mecánicas, no poseen el mismo grado de soldabilidad.

La soldabilidad de ciertos aceros inoxidables limita la aplicación de procesos de soldadura, es decir, no todos pueden ser debidamente soldados con los mismos procesos.

Los grados austeníticos poseen excelente soldabilidad y permiten la aplicación de casi todos los procesos de soldadura, además se obtienen juntas soldadas que se caracterizan por un alto grado de tenacidad. El coeficiente de expansión térmica es un 50% mayor y la conductividad térmica es apenas una tercera parte comparados con los aceros al carbono.

Los grados ferríticos pueden ser soldados por todos los procesos clásicos, sin embargo, el calor producido al momento de realizar una soldadura provoca un engrosamiento muy rápido del grano en la Zona Afectada por el Calor (ZAC), no se pueden regenerar debido a que no posee punto de transformación, y por lo tanto las uniones tienden a ser demasiado frágiles.

Al enfriarse después de soldados los grados martensíticos, se endurecen por templeado, es decir, se forma martensita. Debido a esto aumenta la tendencia a la fisuración por falta de ductilidad, lo cual es provocado por el relativamente alto contenido de carbono, de 0.15 a 1.2%, para evitar el templeado es recomendable realizar un precalentamiento y un postcalentamiento.

### 1.3.1 SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO METALICO REVESTIDO (SMAW)

El calor para este proceso es generado por un arco establecido entre el electrodo consumible y la pieza de trabajo. El electrodo, el pocillo de soldadura, el arco y las áreas adyacentes al punto de depósito en la pieza de trabajo, son protegidas de la contaminación atmosférica por medio de una protección gaseosa obtenida de la combustión y descomposición de la cubierta fundente del electrodo. Una protección adicional es proporcionada por la escoria resultante del electrodo, como se muestra en la fig. 1.1.

Con este proceso la soldadura de aceros inoxidable ferríticos y martensíticos es similar a soldar aceros al carbón. También se requiere de un precalentamiento y un tratamiento térmico postsoldadura, con el fin de prevenir la formación de grietas. Los austeníticos deben ser soldados en forma recocida debido a que tienen un coeficiente de expansión más grande que los ferríticos y martensíticos, y por lo tanto presentan mayor tendencia a distorsiones y torceduras.

Este proceso se utiliza para soldar cualquier tipo de acero inoxidable mayor de 1 mm de espesor<sup>(1)</sup>. Se pueden soldar todos los grados y espesores de acero inoxidable con este proceso<sup>(2)</sup>.

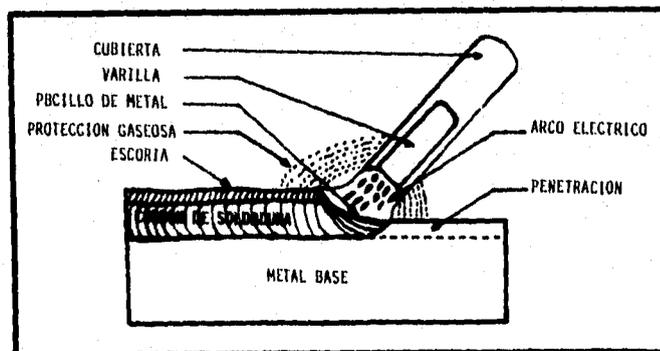


Fig. 1.1 DETALLE DEL PROCESO SMAW.

Con este proceso de soldadura se puede soldar en todas posiciones (plana, horizontal, vertical y sobrecabeza), como se muestra en la fig. 1.2. Este proceso es rápido ya que no se requiere de una preparación tan estricta como en los procesos GTAW o GMAW, provoca pocas deformaciones, el equipo es poco complejo, portátil, de bajo costo, se puede soldar en interiores o exteriores y se usa para casi cualquier tipo de junta. <sup>(1)</sup>

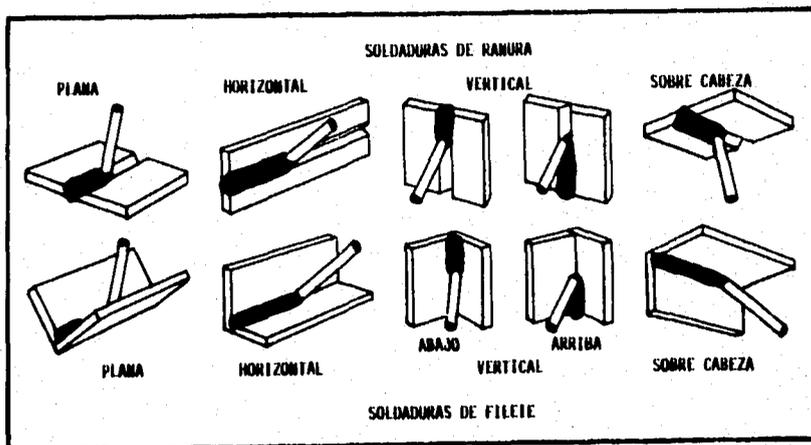


Fig. 1.2 POSICIONES USUALES PARA SOLDADURA.

Mediante la variación de componentes químicos del revestimiento se pueden producir electrodos no estandarizados que producen soldaduras excepcionales, es decir, se pueden mejorar las propiedades químicas y metalúrgicas de la soldadura, siempre y cuando este control sea estricto, sin embargo, la calidad del depósito de soldadura depende grandemente de la técnica y habilidad del soldador.

El revestimiento de los electrodos para aceros inoxidable tiene tres cometidos: <sup>(1)</sup>

- 1.-Proteger al metal fundido del contacto con el aire y evitar así la oxidación del cromo.
- 2.-Contribuir a la calidad metalúrgica de la unión y a su

resistencia a la corrosión.

3.-Contribuye a la estabilización del arco.

Los electrodos pueden ser: <sup>(2)</sup>

- A) De la misma composición que el metal base y un contenido limitado de aleantes.
- B) De acero inoxidable con los aleantes necesarios para enriquecer la composición del metal base.
- C) De alambre de acero de bajo carbono, con todos los aleantes necesarios para lograr un depósito que tenga la composición requerida.

Existen dos tipos de revestimiento, básicos y ácidos.

**BASICOS.** Sólo se usan con corriente continua y generalmente con polaridad inversa. Los minerales contenidos en este tipo de revestimiento son: CaO, MgO y Na<sub>2</sub>O, los cuales forman una escoria básica con alta capacidad de refinamiento, es decir, pueden remover impurezas del metal fundido.

Además se le agregan fluoruros con el fin de disminuir el punto de fusión de la escoria.

**ACIDOS.** Pueden usarse tanto en corriente alterna (CA) como en corriente continua (CD). El rutilo (TiO<sub>2</sub>, Bióxido de Titanio) es un óxido ácido que proporciona una escoria con el nivel de alcalinidad (PH) requerido, también es un excelente ionizador, es decir, proporciona un arco estable tanto en CA como en CD. A veces se dificulta su empleo debido a su escoria y metal más fluidos. <sup>(1)</sup>

Se debe tener la precaución de utilizar los electrodos que no tengan dañada su capa de fundente, ya que no se estaría asegurando la protección adecuada con electrodos dañados, provocando que el oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera puedan provocar una excesiva porosidad y baja ductilidad de la unión.

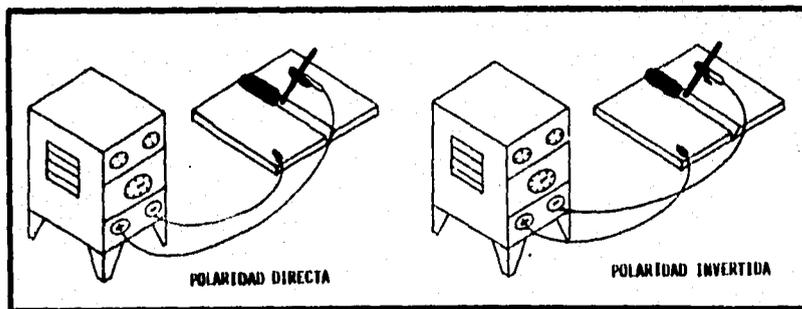
Cuando los electrodos se encuentran almacenados en lugares

húmedos, se pueden secar antes de su utilización a 100°C durante una hora para electrodos de rutilo y a 350°C durante dos horas para electrodos básicos. En la tabla 1.2 se presentan las posibles combinaciones de metales base y de aporte.

MET BASE	304	304L	304H	309	316	316L	317	321	347
A. CARBON	309	309	309	309	309	309	309	309	309
304	308	308L	308	309	316	316L	317	347	347
304L	308L	308L	308L	309L	316L	316L	317L	347	347
304H	308	308L	308H	309	316	316L	317	347	347
309	309	309L	309	309	316	316L	317	347	347
316	316	316L	316	316	316	316L	317	347	347
316L	316L	316L	316L	316L	316L	316L	317L	347	347
317	317	317L	317	317	317	317L	317	347	347
321	347	347	347	347	347	347	347	347	347
347	347	347	347	347	347	347	347	347	347

**Tabla 1.2 SELECCION DE ELECTRODOS PARA COMBINACIONES DE METALES BASE AUSTENITICOS. (19)**

Para soldar aceros inoxidable se recomienda utilizar Corriente Directa (CD) con electrodo positivo, así como mantener una corta longitud de arco para evitar pérdidas de cromo (oxidación) y la recolección de nitrógeno (poros). En la fig. 1.3 se presentan los tipos de flujo de corriente.



**Fig. 1.3 TIPOS DE FLUJO DE CORRIENTE.**

Se recomienda elegir una intensidad de corriente 20% más baja que para la soldadura de aceros al carbono de igual espesor, debido

a que los aceros inoxidables tienen una conductividad térmica más baja, y una temperatura de fusión ligeramente baja, del orden de 1350 a 1440 °C, y de entre 1470 a 1525 para los aceros al carbón. (1)(19)

Si se sueldan piezas pequeñas, se utiliza un montaje de cobre cerca de la línea de soldadura, y cuando es posible se puntea con intervalos de 25 a 30 mm. El cebado del arco se puede realizar sobre un trozo de chapa inoxidable colocada cerca de los bordes que van a soldarse. Para interrumpir el arco, se aproxima el electrodo al baño de metal, se reduce la longitud de arco terminal, se retraza volviendo sobre el cordón que se acaba de soldar y se levanta para extinguir el arco.

Este proceso tiene cuatro desventajas que son: (3)

- 1.-La habilidad para producir una soldadura perfecta debe ser mayor que con los procesos con protección de gas inerte.
- 2.-Es difícil observar la soldadura durante el proceso, debido a la cubierta de escoria.
- 3.-La capa de escoria puede ser una fuente de inclusiones.
- 4.-La escoria debe ser removida después de cada pasada.

La separación entre los bordes que deben soldarse y la forma de estos depende del espesor de los elementos, como se muestra en la siguiente tabla. (1)

ESPESOR (mm)	SEPARACION EN LA BASE (mm)	CHAFLANES		
		FORMA	ANGULO (GRADOS)	PARTE RECTA (MM)
1.5	-	-	-	-
2.0	0.8	-	-	-
3.0	1.5	-	-	-
5 a 10	1.5 a 2.0	V	60	1.0 a 1.5
11 a 20	1.5 a 2.0	U	15	1.5 a 3.0
11 a 20	1.5 a 2.0	X	60	1.5
21 y MAS	1.5 a 3.0	DOBLE U	15	1.5 a 3.0

Tabla 1.3 REGULACIONES TIPO PARA SOLDADURA DE CHAPAS. (1)

### 1.3.2 SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO DE TUNGSTENO Y GAS INERTE DE PROTECCION (GTAW).

La soldadura con arco de tungsteno y gas inerte de protección, es un proceso de soldadura por arco, en el cual el calor es generado entre un electrodo no consumible y la pieza de trabajo. El electrodo, el pocillo de metal fundido, el arco y las zonas adyacentes de la pieza de trabajo están protegidas de la contaminación atmosférica por una protección gaseosa, la cual es suministrada por un flujo de gas inerte generalmente, éstos pueden ser argón, helio o mezcla de ambos y pueden ser usados también como gases de respaldo.

Se utiliza el argón como gas de protección debido a que provoca un arco más frío, se puede mezclar 80% de argón y 20% de helio para producir un arco caliente y obtener mayor velocidad de soldadura, esto también se logra con 95% argón y 5% hidrógeno. Sin embargo se prefiere el argón puro para soldar aceros inoxidable, ya que las combinaciones pueden afectar la soldabilidad de los metales. <sup>(2)</sup>

Es preferido el argón por las siguientes cuatro razones: <sup>(3)</sup>

- 1.-Proporciona mejor protección a bajas velocidades de flujo.
- 2.-Produce un bajo impacto de calor y tal vez mejor posibilidad de fusión en secciones delgadas.
- 3.-Es muy poco afectado por las variaciones del arco.
- 4.-Es menos caro que el helio.

Delattre <sup>(1)</sup> dice lo siguiente acerca de los gases de protección para soldadura GTAW.

- 1.-La utilización del argón es mejor debido a que produce una muy pequeña caída de potencial y por lo tanto se puede trabajar a tensiones bajas.
- 2.-Se le agrega 5, 10 ó 25% de hidrógeno para producir un flujo de calor más intenso.

- 3.-Se puede mezclar 99% de argón y 1% de oxígeno para mejorar la estabilidad del arco.
- 4.-Para los aceros inoxidables endurecidos por precipitación se recomienda agregar 20% de nitrógeno para mejorar notablemente la ductilidad.
- 5.-El gasto de gas de protección será de 5 a 6 litros por minuto, en promedio.

Cuando se utilizan espesores mayores de 1/16" (1.59 mm) se utiliza helio como gas de protección, debido al gran impacto de calor y gran penetración.

Al terminar un cordón se recomienda mantener el flujo de argón durante 5 a 10 segundos después de la extinción del arco, para proteger al metal durante el enfriamiento. Los elementos que constituyen un equipo de soldadura GTAW se muestran en la fig. 1.4.

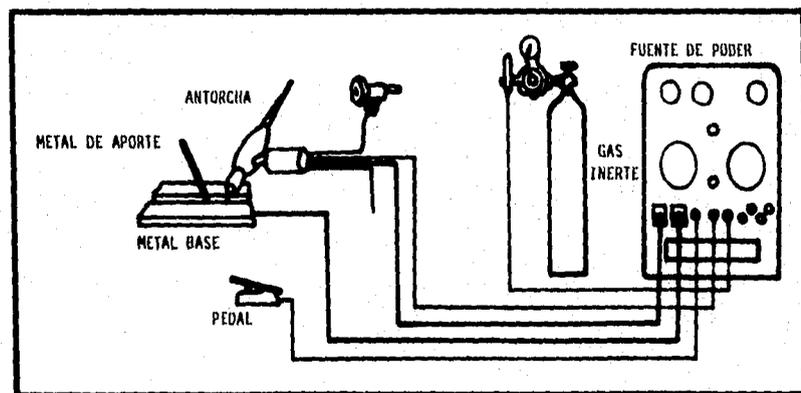


Fig. 1.4 DETALLE DEL PROCESO DE SOLDADURA GTAW.

El proceso de soldadura GTAW es recomendado para espesores mayores de 1/4" (6.35 mm)<sup>(3)</sup>, ASM<sup>(4)</sup> no lo recomienda para más de 1/2" (12.7 mm), en cambio Delattre<sup>(1)</sup> dice que se utiliza para

soldar chapas de hasta 1.0" (25.4 mm), pero su aplicación clásica oscila entre 0.10 y 3 mm de espesor.

El proceso GTAW es utilizado en todas posiciones, plana, horizontal, vertical y sobrecabeza, sin embargo es preferible no emplearlo para soldadura posicional. (2)

Se recomienda el uso de un electrodo con proporción de 97.5% de tungsteno y entre 1.7 y 2.2% de torio, cuya designación es EWTh-2, el cual provee ventajas como estabilizar el arco y excelente calidad emisiva. (5)

El electrodo puede contener zirconio o torio proporcionando las mismas características. (1)

Se debe tener la precaución de que el electrodo de tungsteno no se ponga en contacto con el metal base ya que se pueden formar inclusiones de tungsteno reduciendo la ductilidad de la unión. A continuación se presenta una tabla que contiene electrodos de tungsteno para soldadura GTAW que presenta la AWS en la norma AWS A5.12-92.

CLASIFICACION AWS	TUNGSTENO % MIN	TORIO %	ZIRCONIO %	OTROS % MAX
EWp	99.50	-	-	0.5
EWTh-1	98.50	0.8-1.2	-	0.5
EWTh-2	97.50	1.7-2.2	-	0.5
EWTh-3	98.95	0.35-0.55	-	0.5
EWZr	99.20	-	0.15-0.40	0.5

Tabla 1.3 CLASIFICACION Y LIMITES DE COMPOSICION DE ELECTRODOS PARA SOLDADURA GTAW. (4)

Para soldar acero inoxidable se recomienda la corriente directa electrodo positivo (polaridad directa), ya que proporciona una buena penetración y fusión.

El metal de aporte debe ser compatible con el metal base, debido a que no es revestido no existe la posibilidad de inclusiones no

metálicas y la recolección de contaminantes es extremadamente baja, deberán protegerse de la contaminación de grasa, aceite, polvo de acero, virutas, polvo, etc. Se recomienda el uso de los grados L de metal de aporte.

Los metales de aporte para GTAW están normalizados por la American Welding Society (AWS) en la norma AWS A5.9-92. A continuación se presenta la tabla de composición y clasificación de metales de aporte para soldar aceros inoxidables por cualquier proceso. Cabe señalar que el metal de aporte puede presentar los sufijos E (Electrode) y/o R (Rod), lo cual indica que se puede utilizar como electrodo o como varilla de aporte, además tanto el metal base como el de aporte deben ser compatibles.

TIPO	C % MAX	Cr % MIN	Ni % MIN	Mo % MIN	Nb % MIN
<b>AUSTENITICOS</b>					
301	0.07	19	9	-	-
304	0.07	19	9	-	-
304L	0.03	19	9	-	-
309	0.07	26	13	-	-
310	0.07	26	20	-	-
316	0.07	19	13	2.5-3.0	-
316L	0.03	19	13	3.0	-
321	0.07	20	9	-	10 C
<b>FERRITICOS</b>					
405	0.07	13	-	-	10 C
430	0.07	18	-	-	-
446	0.07	25	-	-	-
<b>MARTENSITICOS</b>					
410	0.12	13/14	-	-	-
420	0.12	13/14	-	-	-

**Tabla 1.5 CLASIFICACION Y LIMITES DE COMPOSICION PARA METALES DE APORTE PARA SOLDAR POR EL PROCESO GTAW. (4)**

Debido a que el metal de aporte no atraviesa el arco, no altera la composición del depósito de soldadura.

El proceso GTAW se utiliza donde se requiere calidad en el trabajo, como ocurre en la industria aeroespacial, nuclear, aeroná-

tica, etc., para soldar espesores mayores de 2 mm se prefiere el proceso automático de GTAW, tabla 1.6.

ESPESOR (mm)	INTENSIDAD (A)	SOLDADURA MANUAL			SOLDADURA AUTOMÁTICA	
		DIAMETRO ELECTRODO (mm)	DIAMETRO ALAMBRE (mm)	GASTO ARGON (lt/min)	INTENSIDAD (A)	AVANCE (cm/mm)
0.4	25	1	-	3	40	80
0.8	40	1	-	4	60	70
1.0	70	1	-	4	80	70
1.5	90	1.6	-	4	115	60
3.0	125	2	2	5	140	50
5.0	200	3	3	5	-	-
10.0	400	4	4	6	-	-

Tabla 1.6 REGULACIONES TIPO PARA SOLDADURA GTAW DE CHAPAS. (1)

### 1.3.3 SOLDADURA POR ARCO METÁLICO PROTEGIDO CON GAS (GMAW).

El calor para este proceso es generado por un arco establecido entre el electrodo consumible y la pieza de trabajo. El electrodo, el pocillo de metal fundido, el arco y las áreas adyacentes están protegidas de la acción contaminante de la atmósfera por medio de un flujo de gas inerte o mezcla de éstos. En la fig. 1.5 se muestran los elementos que componen el proceso GMAW de soldadura. No se recomienda utilizar argón puro para protección, porque puede provocar socavado, falta de fusión y mal acabado.

Es recomendable una mezcla de 98 ó 99% de argón y 1 ó 2% de oxígeno. (2)(4)

Se prefiere argón o helio más de 1 a 5% de oxígeno. (1)

Se utiliza al menos 97.5% argón o helio más oxígeno o CO<sub>2</sub>. (3)

El oxígeno aumenta la estabilidad del arco, la fluidez del depósito de soldadura y la penetración. Se agrega bióxido de carbono en un 2.5% para transferencia por corto circuito.

ADAI<sup>(2)</sup> nos dice que la adición de bióxido de carbono provoca corrosión intergranular. Esto es razonable debido a que podría reaccionar el carbono del gas, precipitarse y por lo tanto producir corrosión.

Un exceso de gas de protección crea turbulencia y entrada de aire a la zona de soldadura, lo cual provoca oxidación, recolección de nitrógeno, salpicaduras y porosidad, en cambio un insuficiente suministro de gas provoca soldaduras inadecuadas.

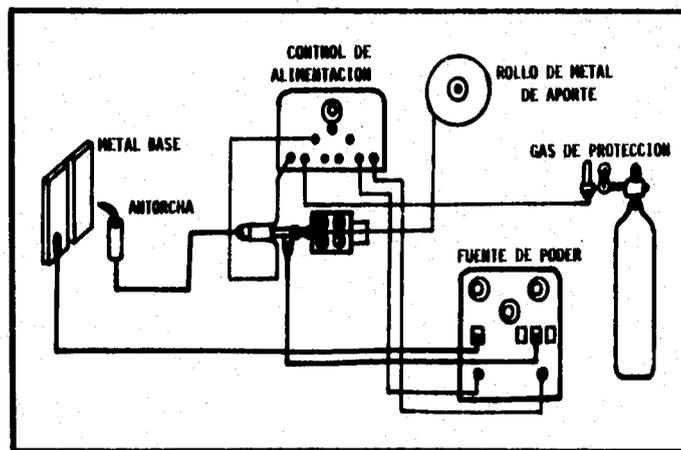


Fig. 1.5 DETALLE DEL PROCESO DE SOLDADURA GMAW.

El diámetro de los metales de aporte para el proceso GMAW es generalmente de entre 0.030" (0.76 mm) y 3/32" (2.4 mm), pero pueden ser más delgados o más gruesos, según la aplicación del proceso. Si el electrodo contiene silicio producirá una mayor fluidez, evitará la falta de fusión y no atrapará los gases de protección.

Antes de llevar a cabo la operación de soldadura por GMAW, se recomienda hacer un punteado, el cual tiene como finalidad el sujetar la piezas que serán unidas y así evitar la distorsión debida al calor generado por el mismo proceso de soldadura.

Existen tres tipos de transferencia de metal de aporte, los cuales son: A) Fina lluvia (de Espray); B) Globular (Gota gruesa) y; C) Corto Circuito.<sup>(4)</sup> Mientras que para Delattre<sup>(1)</sup> sólo existen dos tipos, fina lluvia y gota gruesa o arco pulsado, fig. 1.6.

#### A) TRANSFERENCIA POR FINA LLUVIA.

La transferencia de metal de aporte por fina lluvia se da en forma axial al electrodo hacia el pocillo de metal fundido por medio de un flujo de finas gotas, una gota sigue a la otra, pero no hay contacto entre ellas hasta llegar al depósito. Este tipo de transferencia es bueno para soldar chapas de 3 mm y hasta 25 mm, se usa de preferencia helio con 1 a 5% de oxígeno, no se debe utilizar anhídrido carbónico porque provoca fisuras a pesar de favorecer la penetración y se recomienda corriente continua electrodo positivo.

#### B) TRANSFERENCIA GLOBULAR.

La transferencia globular ocurre a bajas densidades de corriente, se caracteriza por la formación de gotas relativamente grandes de metal fundido, por la acción de la gravedad y del arco caen en el pocillo de metal fundido. Debido a las densidades de corriente se pueden soldar chapas muy delgadas.

Se utiliza una mezcla de argón y de 1 a 5% de oxígeno o argón más bióxido de carbono sólo para los grados ferríticos y martensíticos, además se usa corriente continua polaridad inversa.<sup>(1)</sup>

#### C) TRANSFERENCIA POR CORTO CIRCUITO.

La transferencia por corto circuito está bien adaptada para soldar secciones delgadas, debido a que el calor generado es bajo muy pocas veces es usado para soldar secciones gruesas. Este tipo de transferencia se da en tres pasos, éstos son:

- 1.-Una gota se empieza a formar en la punta del electrodo.
- 2.-La gota avanza hacia el metal base y entran en contacto produciendo un corto circuito.

3.-Se interrumpe el corto circuito cuando la gota abandona el electrodo para depositarse en la unión, mientras esto ocurre se empieza a formar otra gota en el electrodo.

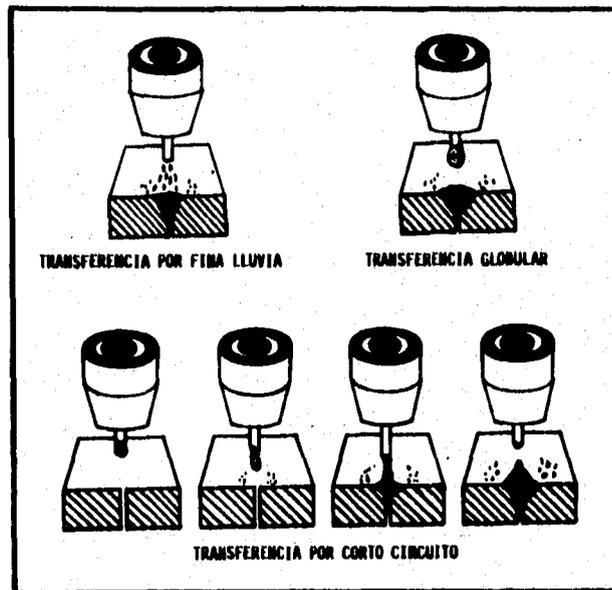


Fig. 1.6 MODOS DE TRANSFERENCIA DE METAL DE APORTE PARA GMAW.

El proceso de soldadura GMAW tiene seis ventajas que hacen de éste el mejor, entre los procesos de soldadura por arco.<sup>(4)</sup>

- 1.-La alimentación continua de metal de aporte proporciona tan largos periodos de soldadura como sea necesario.
- 2.-El proceso puede ser totalmente automático.
- 3.-El uso de gas de protección evita la formación de escoria y el cordón puede ser visto por el operador en todo momento.
- 4.-Se obtienen depósitos con bajo contenido de hidrógeno.
- 5.-Se pueden obtener grandes velocidades de depósito.

6.-Se puede soldar en todas posiciones, por lo tanto es el más versátil de los procesos de soldadura por arco.

Sin embargo, cuenta también con tres desventajas, que son:

- 1.-El equipo es más costoso que para otros procesos y es menos portable.
- 2.-El mínimo espesor para soldar aceros inoxidable es de 1/16", pero con metales de aporte más delgados y un control de corriente adecuado, se pueden soldar metales tan delgados como de 0.020".
- 3.-El cordón de soldadura se enfría más rápido debido a que no hay escoria, lo cual podría provocar fisuras.

#### **1.3.4 SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO (SAW).**

El calor necesario para este proceso es establecido por un arco generado entre un electrodo metálico desnudo consumible y la pieza de trabajo. El arco es protegido por una capa de fundente granular, el cual cubre el metal fundido y el metal base cerca de la unión, además protege la soldadura de la contaminación atmosférica, fig. 1.7.

El proceso de soldadura por arco sumergido se puede utilizar en forma automática o semiautomática y sólo se puede soldar en posición horizontal.

Este proceso se encuentra restringido a los grados L y estabilizados o austeníticos, esto con objeto de evitar la sensibilización debida a la precipitación de carburos de cromo.<sup>(2)</sup>

Existen dos tipos de fundentes, ácidos y básicos. Los ácidos contienen sílice, existe la posibilidad de fisuración en caliente debida al silicio y de inclusiones debido al manganeso. Los básicos son los que más se prefieren para soldar aceros inoxidable, son aluminocálcicos y contienen flúor que disminuye el punto de fusión

de la escoria y por lo tanto para tener una menor pérdida de cromo. Se le puede agregar óxido de magnesio u óxido de zirconio para favorecer la remoción de escoria.<sup>(1)</sup>

El fundente puede contener cromo, níquel, molibdeno y columbio, si carece de estos elementos se le considera como fundente neutro.<sup>(4)</sup>

Los fundentes recomendables para soldar aceros inoxidable deben contener polvo de hierro-cromo para compensar las pérdida por el arco, contiene además un alto nivel de silicatos para que la escoria sea rápidamente removida, se recomienda que la anchura de la unión sea mayor que su profundidad.<sup>(2)</sup>

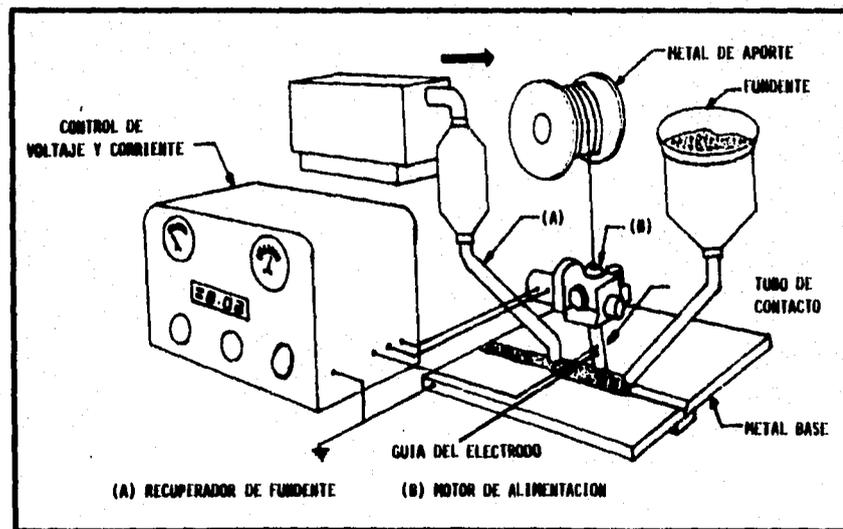


Fig. 1.7 DETALLE DEL PROCESO DE SOLDADURA SAM.

No se necesita mucho cuidado en cuanto a la preparación de la unión, sólo se tendrá cuidado de remover el óxido, en el caso de que la placa a soldar haya sido cortada por fusión.

Debido a la gran generación de calor, se logra una mayor penetración con este proceso, normalmente se utiliza corriente directa para baja intensidad de corriente y corriente alterna para altas intensidades, se consideran como corrientes altas las mayores a 1000 amperes.<sup>(2)</sup>

La intensidad de corriente se determina en función del diámetro del electrodo que será utilizado. A continuación se presenta una tabla que contiene los rangos de corriente utilizados para metales de aporte en soldaduras por arco sumergido de aceros inoxidables, la cual es presentada por la AWS.

ELECTRODO Ø plg.	CORRIENTE (Amp)	ELECTRODO Ø plg.	CORRIENTE (Amp)
0.045	100-350	3/16	400-1300
1/16	115-500	7/32	500-1400
5/64	125-600	1/4	600-1600
3/32	150-700	5/16	1000-2500
1/8	220-1000	3/8	1500-4000
5/32	340-1100		

Tabla 1.7 RANGOS DE CORRIENTE UTILIZADOS PARA DIFERENTES DIAMETROS DE ELECTRODOS PARA SOLDADURA SAW.

La composición de los metales de aporte está en función de las características de ductilidad y composición deseada de la unión. Es preferible la utilización de grados L de metales de aporte, esto debido al nivel de calor utilizado ya que podrían provocarse fracturas con otro tipo de metales de aporte. Cuando el depósito es puramente austenítico o controlado con 4% de ferrita, es considerable el riesgo de microfisuras. Los metales de aporte para este proceso son los mismos que para otros procesos y se encuentran normalizados por la AWS en la norma AWS A5.9-92. <sup>(4)(5)</sup>

Longitudes grandes de arco y velocidades lentas pueden provocar recolección de silicio y fracturas en caliente como consecuencia.

Las ventajas y desventajas para el proceso de soldadura por arco sumergido son las siguientes.

#### **VENTAJAS.**

- 1.-El operador no requiere protección.
- 2.-Puede utilizar altas velocidades y altos grados de depósito.
- 3.-Puede usarse este proceso en superficies planas o para soldar tubos.
- 4.-Puede utilizarse para casi todos los espesores.
- 5.-El depósito de soldadura es de calidad, generalmente.

#### **DESVENTAJAS.**

- 1.-La contaminación del fundente puede provocar porosidad en el depósito.
- 2.-Forma escoria, la cual debe ser removida.
- 3.-El proceso debe ser plano u horizontal, para evitar la caída del fundente.
- 4.-El enfriamiento de la soldadura es lento y puede afectar al tamaño de grano.

Según ASM<sup>(4)</sup> este proceso no es apropiado para espesores menores de 3/16" (4.75 mm), porque se pueden perforar. En cambio Delattre<sup>(1)</sup> nos dice que se pueden soldar chapas desde 2 mm y más.

#### **1.3.5 SOLDADURA POR ARCO DE PLASMA (PAM).**

Los plasmas son gases compuestos por partículas cargadas, por tal motivo muestran propiedades que no presentan los gases ordinarios ya que sus partículas son eléctricamente neutras. Los plasmas son muy buenos conductores de la electricidad, a veces son mejores que los más eficientes conductores metálicos.

Se puede hacer un plasma ionizando un gas ordinario, esto es, convirtiendolo en partículas cargadas, por medio de una descarga eléctrica. Cada átomo de gas ordinario consiste de un núcleo cargado positivamente, rodeado por una nube de electrones con carga negativa, y por lo tanto su carga eléctrica neta es cero, pero si se coloca en un fuerte campo eléctrico, puede arrancarse de sus átomos unos cuantos electrones, de esta manera cada átomo afectado adquirira carga positiva y se convertirá en un ion. Los electrones separados, que estan cargados negativamente, tendran libertad para desplazarse, y al ganar energía a medida que los acelera el campo eléctrico chocarán con otros átomos, ionizandolos y liberando así aun más electrones, que a su vez se aceleran y liberarán todavía más electrones y así sucesivamente. Esto se denomina proceso en cascada, mediante él se desarrolla una descarga eléctrica, y en estas circunstancias puede fluir una corriente eléctrica a través del gas, que anteriormente era un aislante. En una descarga poderosa el proceso en cascada puede ionizar por completo un gas, que se convertirá en plasma.

Otra forma de crear un plasma consiste en calentar un gas en algún tipo de recipiente que soporte altísimas temperaturas, a medida que asciende la temperatura, aumenta la energía cinética de todas las partículas gaseosas, que chocan entre si con mayor frecuencia y más violentamente. Si se pudiera obtener una temperatura suficientemente alta, las colisiones serían tan violentas que se arrancarían todos los electrones de sus núcleos atómicos, lo que daría por resultado un estado de ionización completo. Las temperaturas para alcanzar este tipo de ionización por medio del calor puede ser de decenas de miles de grados centígrados, por lo menos. Por tal razón es mucho muy difícil producir plasmas por este tipo de ionización a temperaturas inferiores al punto de fusión de los recipientes que resisten mejor al calor.

Sin embargo, la física plasmática se interesa por el comportamiento de los plasmas que se encuentran altamente ionizados a temperaturas ultraelevadas, del orden de millones de grados

centígrados. A estas temperaturas tan elevadas, la materia sólo existe en estado plasmático, el cual se puede considerar como el cuarto estado de la materia, distinto de los sólidos, líquidos y gases ordinarios.

Las masas incandescentes de gran escala llamadas estrellas no son otra cosa que plasmas, incluso dentro de la astronomía se estima que el 99% de la materia del universo existe en estado plasmático.

Para la soldadura un plasma consiste de electrones libres, iones positivos y átomos neutros, el calor generado va de 10,000 a 24,000 grados centígrados.

La soldadura por arco de plasma es un proceso en el cual el calor es producido por un arco entre el electrodo de tungsteno no consumible y la pieza de trabajo, o entre el mismo electrodo de tungsteno y un orificio reductor localizado en la boquilla, que a su vez esta construida de material refractario, lo cual le proporciona una alta resistencia al calor.

Se utiliza este proceso para soldar en todas posiciones, sólo dependiendo de si se usa una ranura o no en el metal base.

Se pueden soldar piezas metálicas tan delgadas como 0.003" ó 0.001", esto se logra debido a la gran estabilidad y control del arco de plasma y de una modalidad que utiliza menor energía y que es conocida como microplasma.

Existen dos tipos de arco, estos son: A) Transferido, donde el arco es establecido entre el electrodo y la pieza de trabajo, esta modalidad de arco es utilizado en el proceso GTAW de soldadura, y; B) No transferido, utilizado en el proceso de soldadura por arco de plasma, donde el arco es establecido entre el electrodo y la parte inferior de la tobera, el calor es liberado hacia la pieza de trabajo sólo por el plasma caliente. Ver fig. 1.8.

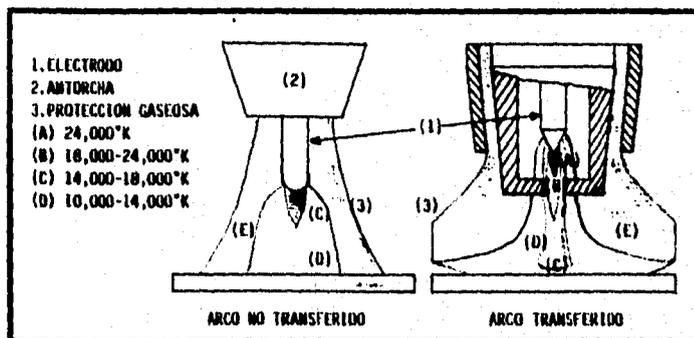


Fig. 1.8 COMPARACION ENTRE ARCO TRANSFERIDO Y NO TRANSFERIDO.

La distancia que debe haber entre el orificio de la antorcha o tobera de plasma y la pieza de trabajo puede ser de 3/16".

Es recomendable utilizar mezclas como gases de protección, las cuales pueden ser de 95% argón y 5% hidrógeno, incluso puede ser utilizado el helio. La utilización de determinado gas inerte de protección se basa en el espesor del metal que será soldado, como se muestra en la siguiente tabla. (4)

ORIFICIO 0 plg.	CORRIENTE (AMP)	FLUJO DE GAS (PCM)
0.030	1-25	0.5
0.052	20-55	1.0
0.086	40-100	1.5

Tabla 1.8 CONDICIONES TÍPICAS DE OPERACION PARA SOLDADURA PAM DE ACEROS INOXIDABLES. (4)

Este proceso de soldadura con arco de plasma es rápido y limpio, debido a la concentración no afecta en gran medida a la zona adyacente a la soldadura.

Los electrodos utilizados para este proceso son de tungsteno, los cuales tienen una composición y clasificación idéntica que en el proceso de soldadura con arco de tungsteno y gas inerte.

El uso de los metales de aporte depende de si es necesario o no. Estos están disponibles en forma de varilla de cualquier composición, debido a que se pueden hacer soldaduras de juntas a tope sin necesidad de metales de aporte, en caso de que la junta sea biselada en V, se tiene una gran ventaja respecto al proceso con arco de tungsteno, ya que se requiere de un biselado menos profundo, como se muestra en la siguiente figura.

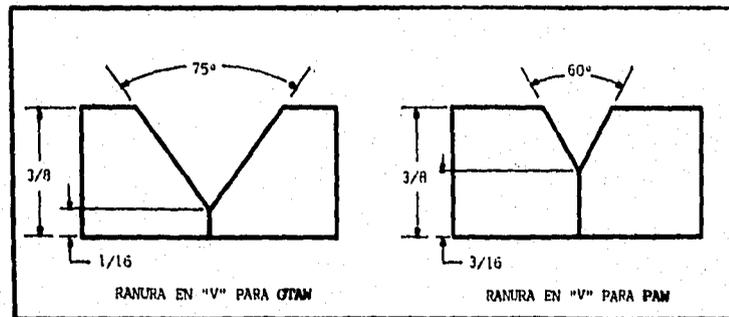


Fig. 1.9 COMPARACION DE RANURAS PARA GTAW Y PLASMA.

Por lo regular se utilizan juntas a tope para soldar con plasma, debido a su gran penetración y otras características mostradas en la siguiente comparación entre soldaduras GTAW y plasma.

	GTAW	PLASMA
Preparación de la superficie:	Ranura en V	Ninguna
Número de pasadas para:		
Fusión:	Una	Una
Depósito completo:	Dos	Una
Velocidad (pulg/min):	4	10
Tiempo de arco para soldar 100 plg. de metal (min):	75	20

Tabla 1.9 COMPARACION ENTRE REGULACIONES PARA GTAW Y PLASMA. (7)

La densidad de corriente utilizada es muy variada, debido a que depende del espesor del metal que será soldado y del diámetro del electrodo que se utilizará para llevar a cabo el proceso, como ejemplo se puede decir que en ocasiones se utilizan corrientes tan pequeñas como 1.0 e incluso 0.1 amperes, lo cual es muy raro.

En la tabla siguiente se muestran los rangos típicos de corriente para soldadura de plasma con electrodos de tungsteno.

ELECTRODO Ø plg.	CORRIENTE (CDPD) amp.	ELECTRODO Ø plg.	CORRIENTE (CDPD) amp.
0.010	15 o más	3/32	150-250
0.020	5-20	1/8	250-400
0.040	15-80	5/32	400-500
1/16	70-150		

Tabla 1.10 RANGOS TÍPICOS DE CORRIENTE PARA SOLDADURA PAM Y ELECTRODOS DE TUNGSTENO.

La limpieza y la preparación de las superficies a unir es la misma que para soldar con GTAW, aunque frecuentemente no se necesita ranurar para soldar con plasma. Las superficies deben estar desengrasadas, limpias mediante químicos, enjuagadas y secas, antes de soldarse.

Un soplete de plasma está constituido por un electrodo, generalmente hecho de una aleación de tungsteno, el cuerpo y una punta. La boquilla utilizada para soldar está refrigerada por medio de una circulación forzada de agua. El gas para la producción del plasma se envía por la parte inferior del soplete, el arco se hace saltar por medio de un dispositivo de alta frecuencia entre el electrodo y la punta del soplete y luego se transfiere entre el electrodo y la pieza.

El gas para la producción del plasma, para soldar aceros inoxidables se recomienda sea argón puro y mezclas de argón e hidrógeno para la protección. El consumo del argón puro varía de

0.5 a 7 dm<sup>3</sup>/min, mientras el consumo para protección es de 2 a 20 dm<sup>3</sup>/min. La alimentación eléctrica se realiza en corriente continua con polaridad directa y la tensión en el generador en vacío debe ser de 70 a 75 V, mientras la tensión de carga será de 24 a 32 Volts. (16)

Los parametros fundamentales de la soldadura de plasma son: (16)

- A) La corriente de soldadura, comprendida de 150 a 300 Amp, para abarcar el campo de espesores de 3 a 88 mm. Esta intensidad de corriente también está ligada al tipo de gas utilizado para generar plasma y los valores más elevados se emplean en el caso del argón puro, mientras que los más bajos se utilizan con las mezclas de argón-hidrógeno.
- B) El caudal de gas para plasma depende del tipo utilizado, con caudales de 1 a 2.5 DCM (Decímetros Cúbicos por Minuto) a una presión de alimentación de 2.5 Kgf/cm<sup>2</sup>, pueden efectuarse soldaduras con espesores de 3 a 8 mm.
- C) La velocidad de avance de la soldadura puede ser muy elevada, pero conviene limitarla para evitar la formación de incisiones e inclusiones de gas.

#### 1.3.6 SOLDADURA CON HIDROGENO ATOMICO (AHW).

En este proceso el arco salta entre dos electrodos de tungsteno, en una atmósfera de hidrógeno. Este gas se disocia en hidrógeno monoatómico a la temperatura del arco, luego vuelve al estado molecular liberando en medio reductor las calorías necesarias para la fusión del metal que se deba soldar.

Esta técnica permite un trabajo suave, el cual es aplicable a chapas muy delgadas, de espesor inferior a 0.10 mm, también se pueden realizar soldaduras lisas que sólo exijan un sencillo acabado. Este proceso de soldadura ha sido prácticamente sustituido por el proceso GTAW, sin embargo, aún sigue siendo adecuado para

soldar chapas delgadas de acero inoxidable, pero en la actualidad es muy poco usado.

La preparación de la unión es análoga al usado para la soldadura por GTAW. Se requiere tener protección al reverso, ésto se logra ya sea con un soporte de cobre o mediante un flujo gaseoso de hidrógeno o argón, ésto con el fin de evitar una posible contaminación de la atmósfera.

La presión de hidrógeno para el proceso se regula a una presión de 200 a 300 milibares, lo cual es baja y permite soldar piezas delgadas sin mucho problema. (1)

El metal de aporte es el mismo que se utiliza en el proceso GTAW.

Las intensidades de corriente son, en general, mucho más bajas que las utilizadas en otros procesos y dependen del espesor del material que será soldado. A continuación se presentan ejemplos de estas relaciones corriente-espesor.

12 amperes para 0.5 mm de espesor  
20 amperes para 1.0 mm de espesor  
50 amperes para 6.0 mm de espesor

### **1.3.7 SOLDADURA POR ELECTROESCORIA (ESW).**

El dispositivo de soldadura lleva uno o varios electrodos fusibles que atraviesan entre los bordes a soldar un lecho de fundente electroconductor. El arco cebado entre la pieza que va a soldarse y el electrodo funden el fundente y forma por encima del baño de metal un baño de escoria. Cuando este baño alcanza una cierta profundidad (entre 1 y 2 minutos) el arco se desvanece y la corriente de soldadura se transmite unicamente por la escoria. Ver fig. 1.10.

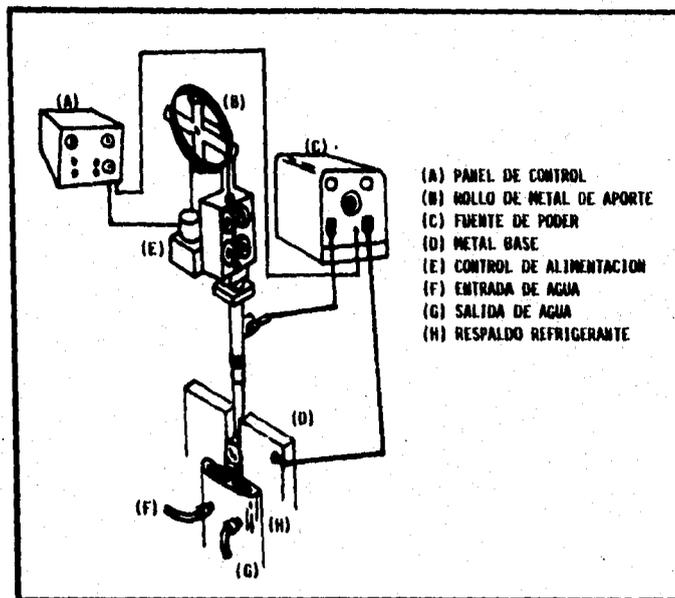


Fig. 1.10 DETALLE DEL PROCESO DE SOLDADURA ESM.

Este proceso de soldadura tiene la ventaja de permitir la unión, en una sola pasada, de chapas gruesas de acero inoxidable de cualquier espesor, incluso de hasta 40 mm (1.57 plg)<sup>(1)</sup>, y de 1.25 plg (32.0 mm) hasta 36.0 plg (915 mm)<sup>(7)</sup>.

Su aplicación a la soldadura de aceros inoxidables está poco extendida ya que es muy raro encontrar uniones de piezas muy gruesas en estos aceros. Por el contrario se utiliza con éxito para la soldadura de soporte de aceros al carbono de chapas recubiertas de inoxidable y también para recargues.

Existen dos sistemas o modalidades de soldadura por electroescoria, estos son:

- 1.-El electrodo consumible se alimenta a través de un tubo no consumible, el cual requiere que el cabezal de soldadura haga un recorrido vertical.
- 2.-El otro proceso se denomina Tubo Guía Consumible, en el cual el metal de aporte se suministra por medio de su miembro guía, lo cual evita que el cabezal de soldadura haga viajes verticales.

No es necesaria una preparación esmerada de los bordes que van a soldarse.

Se pueden realizar uniones en horizontal o vertical, solamente.

Como el enfriamiento de las zonas sometidas al efecto térmico es lento, tendremos un notable agrandamiento del grano en la ZAC y, en el caso de los tipos austeníticos (tan sensible a este fenómeno) se tendrá una importante precipitación de carburos. Por tal razón se recomienda utilizar este proceso en tipos con muy bajo carbono o estabilizados.<sup>(1)</sup>

Como metal de aporte se utilizará normalmente alambre de 2,5 a 3,0 mm de diámetro, o electrodos de sección rectangular, del mismo tipo que el metal base o aleados.

El fundente es importante, más por sus características físicas que como generador de elementos de aleación en el cordón, pues se requiere que el fundente posea una alta conductividad eléctrica. Para soldar aceros inoxidable se utiliza un fundente que no tenga óxidos, para que en ningún momento se pueda ver afectado el depósito.

A continuación se presenta una regulación tipo para soldadura vertical de un acero inoxidable austenítico 304, con bajo contenido de carbono (0,08%). Ver tabla 1.11.

	ESPESOR (mm)	
	70	110
Número de electrodos .....	1	2
Separación de bordes (mm).....	30	30
Tensión (Volts).....	40	35
Profundidad del baño (mm).....	60	45
Velocidad del devanado electrodo (m/h).....	1.5	0.85
Velocidad de oscilación electrodo (m/h).....	60	60

Tabla 1.11 REGULACION TIPO PARA SOLDADURA POR ELECTOESCORIA. (1)

### 1.3.8 SOLDADURA POR RESISTENCIA (RW).

El calor necesario para la soldadura por resistencia se obtiene al hacer pasar altas intensidades de corriente por dos ( o más) electrodos, ruletas o mordazas, que sujetan las piezas a soldar. La resistividad de los metales a soldar provoca un calentamiento localizado y mediante la presión que ejercen los electrodos se logra una unión de buenas características físicas, como por ejemplo buena resistencia a la tensión.

El proceso está restringido a los métodos por puntos y cordón continuo para soldar aceros inoxidable. Se prefiere soldar por resistencia grados ferríticos debido a la reducida zona caliente, la cual no afecta al crecimiento del grano. (2)

Se requiere de un transformador de más baja capacidad que los utilizados para soldar cualquier otro metal. Se puede utilizar una maquina soldadora monofásica de corriente alterna, un rectificador trifásico o un convertidor de frecuencia, todo en función de la necesidad de lograr soldaduras excepcionales de producción o de mantenimiento.

Existen cuatro factores que afectan la soldadura por resistencia de aceros inoxidable, estos son: (4)

**RESISTIVIDAD ELECTRICA.** Los aceros inoxidable tienen una mayor resistencia eléctrica que los aceros al carbón, por lo tanto se genera más calor en los inoxidables a un mismo nivel de corriente, por tal motivo se requiere menor corriente o menor tiempo de soldadura que en los aceros al carbón.

Debido a que la resistividad eléctrica de los aceros inoxidables es de 67 mOHM\*cm y de 10 mOHM\*cm en los aceros al carbón, el calor se concentra mucho más en los aceros inoxidables, y por lo tanto se requiere de menor corriente para lograr una soldadura, o en su caso, se necesita de un menor tiempo que en los aceros al carbón para alcanzar la temperatura de fusión con la misma magnitud de corriente. Ver tabla 1.12.

**CONDUCTIVIDAD ELECTRICA.** Los aceros inoxidables tienen una menor conductividad térmica que los aceros al carbón. El calor es conducido lentamente y por lo tanto debe aplicarse menor corriente para que sea menor calor el que logre llevar al metal hasta la temperatura de fusión. Ver tabla 1.12.

**TEMPERATURA DE FUSION.** En los aceros inoxidables austeníticos es de entre 2500°F (1356 °C) y 2650°F (1440 °C), en martensíticos y ferríticos es de entre 2550°F (1385 °C) y 2650°F (1440 °C), sin embargo en los aceros al carbón es de entre 2700°F (1468 °C) y 2800°F (1524 °C). Ver tabla 1.12.

Debido a que la conductividad térmica en los inoxidables es de 14 BTU/hrft F en promedio y 31 BTU/hrft F en los aceros al carbón, se requiere una menor cantidad de calor para llegar al punto de fusión, es decir, se puede llegar al punto de fusión con una menor corriente que la utilizada en los aceros al carbón.

**COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA.** En los aceros inoxidables austeníticos es casi 15% mayor que en los aceros al carbón, sin embargo los cambios dimensionales y la baja difusión del calor en los austeníticos ocasionan tensiones térmicas que a su vez provocan distorsiones. En los martensíticos y ferríticos es de 6 a 11% menor que en los aceros al carbón. Ver tabla 1.12.

TIPO	COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA m/plg/plg°F			CONDUCTIVIDAD TERMICA BTU/hrft²°F		RESISTIVIDAD ELECTRICA	TEMPERATURA DE FUSION
	212°F	600°F	1000°F	212°F	930°F	mOHM*cm	°F
<b>AUSTENITICOS</b>							
301	9.4	9.6	10.1	9.4	12.4	72	2550-2590
304	9.6	9.9	10.2	9.4	12.4	72	2550-2650
316	8.8	9.0	9.7	9.4	12.4	74	2500-2550
321	9.2	9.6	10.3	9.3	12.8	72	2550-2600
347	9.2	9.6	10.3	9.3	12.8	73	2550-2600
<b>MARTENSITICOS</b>							
410	5.5	6.3	6.4	14.4	16.6	57	2700-2790
414	5.8	6.1	6.7	14.4	16.6	70	2600-2700
431	5.7	6.7	-	11.7	-	72	-
440	5.7	-	-	14.0	-	60	2500-2700
<b>FERRITICOS</b>							
405	6.0	6.4	6.7	15.6	-	60	2700-2790
430	5.8	6.1	6.3	15.1	15.2	60	2600-2750
444	5.6	5.9	6.3	15.5	-	62	-
446	5.8	6.0	6.2	12.1	14.1	67	2600-2750
<b>ACEROS AL CARBON (PROMEDIO)</b>			7.1	-	31.0	10	2700-2800

Tabla 1.12 PROPIEDADES FISICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES. (4)

Para lograr buenas uniones de aceros inoxidable, se necesitan mayores presiones que en los aceros al carbón, ya que se asegura un mejor enfriamiento y buenas características mecánicas.

Existen tres procesos básicos de soldadura por resistencia, los cuales son: 1) Por puntos; 2) Por cordón continuo, y; 3) Por flash a tope. Sin embargo, se agrega soldadura de tubos por resistencia y soldadura por presión. (1)

En la tabla siguiente se presentan regulaciones recomendadas para soldadura por resistencia de chapas de acero inoxidable, cabe hacer notar que las intensidades de corriente utilizadas son, en general, muy altas, ya que como se observa en dicha tabla, se necesitan aproximadamente 17,000 amperes para lograr soldar por resistencia dos chapas de 3.00 mm de espesor.

ESPESOR DE LA CHAPA SUPERIOR (MAS GRUESA) (mm)	FUERZA MINIMA APLICADA (KgF)	VELOCIDAD MAXIMA (cm/min)		INTENSIDAD APROXIMADA APLICADA KA
		2E	4E	
0.15	140	150	170	4.0
0.30	210	122	140	5.6
0.50	320	140	140	7.9
0.60	385	127	119	9.2
0.80	460	127	119	10.6
1.00	600	119	114	13.0
1.50	780	101	104	14.7
2.00	1050	101	104	16.5
3.00	1400	94	94	17.0

E = espesor de la chapa más gruesa

Tabla 1.13 REGULACIONES RECOMENDADAS PARA SOLDADURA POR RESISTENCIA. (1)

### 1.3.8.1 SOLDADURA DE RESISTENCIA POR PUNTOS (RBW).

Pueden soldarse chapas inoxidables de hasta 10 ó 12 mm en triple espesor (3 chapas juntas), sin embargo, normalmente se sueldan chapas de 0.10 a 5 mm en 3 y 2 espesores. (1)

El proceso de soldadura de resistencia por puntos sólo se aplica a chapas de menos de 3 mm de espesor. (2)(8)

La eficiencia de la unión es de 90%, mientras que en las uniones remachadas es de 60%, según lo demuestran los ensayos no destructivos de desabrochado, de tracción y ensayos micrográficos. (1)

Se requiere una corriente de 2000 amperes para chapas de 0.006" y de hasta 22500 para chapas de 0.250". La RWMA (Resistance Welders Manufacturers Association) recomienda los electrodos aleados, prefiriendo el Cu-Co-Be (Cobre-Cobalto-Berilio), los de Cu-W (cobre-Tungsteno) se usan sólo si existe un gran desgaste de los electrodos de Cu-Co-Be. Los electrodos de Cu-Cr (Cobre-Cromo) no son recomendables debido a su poca dureza. Los extremos pueden ser bombeados o

truncocónicos, fig. 1.11, estos últimos son preferidos para altas intensidades y evitar proyección de chispas.

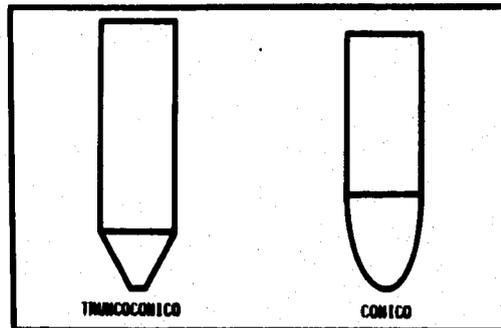


Fig. 1.11 ELECTRODOS CÓNICOS Y TRUNCOCÓNICOS.

La distancia entre puntos varía según el espesor de la chapa, puede ser de  $3/16$ " para chapas de  $0.006$ ",  $1.0$ " para chapas de  $0.062$ ", de  $2.375$ " para chapas de  $0.250$ ", etc., esto de acuerdo al criterio de los diseñadores.

Para lograr una unión exitosa en la soldadura de resistencia por puntos, es muy importante la preparación de la superficie, se debe eliminar cualquier objeto o sustancia que pueda interferir en el paso de la corriente entre los electrodos y el metal base. Para limpiar las piezas se utiliza tricloroetilo o una mezcla de partes iguales de alcohol etílico, benceno y acetona para desengrasar, y ácido nítrico más ácido fluorhídrico para decapar.<sup>(1)</sup>

Para controlar los tiempos e intensidades de corriente se recomienda utilizar máquinas de control electrónico, con movimiento vertical rectilíneo del electrodo para grandes y medianos espesores, y para controlar la presión se sugiere utilizar accionamientos neumáticos.

### 1.3.8.2 SOLDADURA DE RESISTENCIA POR RULETAS, RODILLOS, CORDON CONTINUO O COSTURA (RSEW).

Este proceso es rentable soldando desde papel metálico de acero inoxidable de 0.025 mm de espesor y de 0.10 mm hasta dos chapas de 3.5 mm.

Los electrodos son de disco o ruleta, en Estados Unidos son fabricados por la RWMA. Se recomienda que los electrodos sean fabricados de Cu-Co-Be con una dureza de entre 95 y 100 Rockwell B.

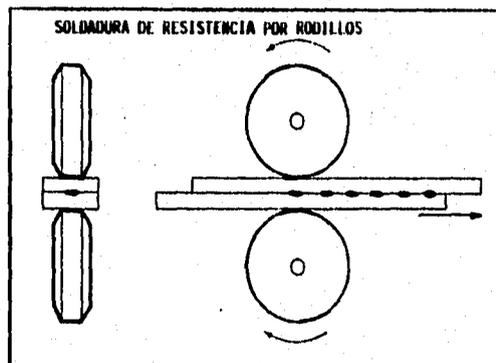


Fig. 1.12 ESQUEMA DE SOLDADURA DE RESISTENCIA POR RULETAS.

Se requieren intensidades de corriente más elevadas que para la soldadura por puntos, esta corriente no debe ser continua, sino en pulsaciones, con el fin de originar puntos traslapados, sin dejar de obtener un cordón continuo, fig. 1.12.

Las piezas se deben mantener limpias, ser cuidadosamente sujetadas y asegurar un ajuste correcto y uniforme durante el proceso de soldadura.

### 1.3.8.3 SOLDADURA POR FLASH A TOPE.

Los elementos a soldar se soportan a presión uno contra el otro, mediante mordazas-electrodo, se hace pasar una corriente de baja tensión y gran intensidad para producir una fusión localizada en la zona de contacto de las piezas donde se hará la unión. Al inicio se presionan los elementos lo suficiente para evitar la formación de arcos eléctricos, una vez alcanzada la temperatura de fusión se presionan bastante fuerte para expulsar los óxidos de la unión y ejercer un efecto de forjado. Debido a la alta temperatura, corto tiempo y deformación plástica, las propiedades de la junta son muy buenas, fig. 1.13.

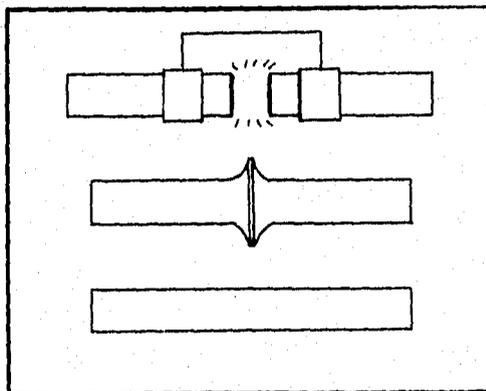


Fig. 1.13 ESQUEMA DE SOLDADURA POR FLASH O CHISPEO.

Es recomendable este proceso de soldadura para los tipos I de aceros inoxidable austeníticos, ya que el tiempo de soldadura es relativamente prolongado y puede afectar a los otros grados de aceros inoxidable.<sup>(2)</sup>

Se utiliza para soldar barras o tubos con espesores de 4 mm y hasta 50 mm. La presión aplicada será de 30 Kgf/mm<sup>2</sup>, la intensidad será 15% inferior a la necesaria para soldar acero al carbón y la presión de 10 a 15% mayor.<sup>(1)</sup>

Con este proceso se suelda alambre, barras y eslabones de cadena, cuyas superficies deberán estar limpias, decapadas y enderezadas. Se recomienda soldar tubos o barras con un espesor mínimo de 0.8 mm. Tiene la ventaja de que el proceso va acompañado de un forjado y no altera en gran medida el crecimiento de grano en los aceros inoxidables ferríticos.

Algunas ventajas de este proceso son:

- 1.-Gran rapidez de ejecución.
- 2.-Menor consumo de energía eléctrica debido al calentamiento localizado.
- 3.-Mejor aspecto de unión.
- 4.-Excelente calidad de unión.
- 5.-Preparación simplificada de las superficies de la unión.
- 6.-Posibilidad de soldar metales de diferente resistividad.
- 7.-Se pueden soldar piezas de secciones diferentes.

#### **1.3.8.4 SOLDADURA POR PERCUSION (PEW).**

El calor necesario para la fusión se provoca con gran rapidez mediante un arco alimentado por una descarga de energía eléctrica acumulada en un banco de condensadores.

Se sueldan a tope secciones que no pasen de 300 a 350 mm<sup>2</sup> aproximadamente, la ZAC no sobrepasa los 0.25 mm de profundidad. Este proceso permite la soldadura de aceros inoxidables sin modificar sensiblemente sus características, lo cual evita un tratamiento térmico posterior, permite la unión de acero inoxidable con metales diferentes, se pueden soldar tubos o barras y elementos tubulares a paredes planas.

El calor se genera por medio de un arco producido por una descarga rápida de energía eléctrica, se le aplica una fuerza

percusiva durante o después de la descarga, se hace golpear una de las piezas contra la otra, se provoca la expulsión de metal fundido con el golpeo y se completa la unión soldada.

#### 1.3.8.5 SOLDADURA POR PRESION (DFW).

También se conoce como soldadura por difusión, el calentamiento para este proceso puede ser por medio de inducción, pero cualquier fuente de calor se puede utilizar. Se calienta la barra a una temperatura aproximada de 1200°C (para el tipo 304) durante un tiempo menor a 5 minutos, después se ejerce una presión de 700 bars por medio de unas prensas hidráulicas, la cual proporciona una adecuada expulsión de óxidos. Este esfuerzo de compresión se aplica sobre un eje común de las piezas.

La unión se realiza por difusión y recristalización de los granos a lo largo de las superficies en contacto, bajo el efecto de la presión y de un calentamiento localizado. Se le considera como soldadura de estado sólido, ya que ningún punto alcanza la temperatura de fusión.

Se utiliza para unir aceros inoxidables martensíticos, debido a que el proceso calentamiento-enfriamiento es lento, lo cual disminuye el riesgo de fisuración. No se aplica a aceros inoxidables no estabilizados porque existe el riesgo de precipitación de carburos, ni a los ferríticos debido al agrandamiento excesivo del grano.

La soldadura por difusión se dá en tres pasos. En el primero se fuerzan a unirse las dos superficies mediante alta presión, el segundo ocurre cuando las superficies comprimidas permanecen juntas a temperaturas elevadas, los átomos se difunden a lo largo de los límites de grano hacia los huecos residuales, en el tercer paso debe ocurrir una difusión de volumen, la cual es comparativamente lenta. (10)

#### **1.2.8.6 SOLDADURA DE TUBOS POR RESISTENCIA.**

Los bordes de los tubos a soldar deben estar enderezados, se acoplan por uno y otro lado de los bordes enfrentados, se llevan al punto de fusión y se aprietan vigorosamente, originando la expulsión de escoria. Se aplica este proceso para soldar tubos de 10 a 12 mm de diámetro y de 0.8 a 6 mm de espesor.

Por lo regular el calentamiento se realiza con corriente alterna, la frecuencia normal es convertida en alta frecuencia (entre 150 y 180 periodos) para aarealizar soldaduras de alta velocidad, de hasta 25 metros por minuto.

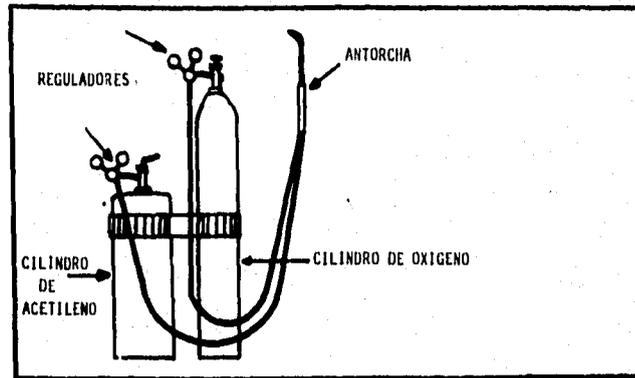
#### **1.3.9 SOLDADURA CON GAS COMBUSTIBLE (OFW).**

El calor para este proceso se produce por una llama, la cual es el producto de la combustión de un gas con oxígeno o aire. Los gases combustibles más comunes son el acetileno, hidrógeno, gas natural, propano, butano y metil acetileno propadieno. En la figura 1.14 se muestran los elementos constituyentes de este proceso de soldadura.

La combustión de acetileno y oxígeno presenta la mayor temperatura, en el cono la llama alcanza los 6300°F(3480°C).<sup>(7)</sup>

La combustión de estos gases con el oxígeno produce bióxido de carbono y agua, debido a que no se tiene protección extra, la unión puede presentar porosidades en los aceros inoxidable.

Este proceso de soldadura con gas oxicombustible está totalmente desplazado por otros procesos, tiene un rendimiento térmico mediocre ya que sólo una pequeña parte del calor producido se utiliza para fundir el metal, por lo tanto existe una gran zona afectada por el calor, además posee dificultad para mantener constante la composición de la flama.<sup>(1)</sup>



**Fig. 1.14 ELEMENTOS DEL PROCESO DE SOLDADURA OFW.**

Puede emplearse para soldar chapas inoxidable delgadas, de 1 mm y menos de espesor, para chapas de 0.08mm o menos se sueldan sobre bordes levantados a 1.5 mm aproximadamente sin metal de aporte.

Los metales de aporte deben contener entre 1 y 1.5% más cromo que el metal base, para compensar las grandes pérdidas de elementos de aleación que se tienen en este proceso.

Se recomienda utilizar una boquilla pequeña para ayudar, en lo posible a la concentración del calor, uno o dos números por debajo de la boquilla indicada para ser usada en los aceros al carbón del mismo espesor. <sup>(1)</sup>

### **1.3.10 SOLDADURA POR HAZ DE ELECTRONES (EBW).**

El calor necesario para la soldadura es provocado por el bombardeo de un denso haz de electrones de alta velocidad. La energía cinética de los electrones es transformada en calor debido al impacto con la pieza de trabajo. El disparador de los electrones tiene un cátodo, el cual es una pastilla de tungsteno o una cinta

plegada de tántalo, el cual alcanza una temperatura de hasta 4600°F (2540°C). Los electrones son reunidos y acelerados a alta velocidad por medio de campos eléctricos establecidos entre el ánodo, el cátodo y una rejilla, dándole forma de haz. Los haces son enfocados y colimados (paralelizados) haciéndolos pasar por una bobina electromagnética, fig. 1.15.

Los haces de electrones tienen una potencia de alrededor de 10,000,000 de watts por pulgada cuadrada, lo cual es suficiente para vaporizar cualquier metal. (4) (7)

El proceso se lleva a cabo en equipos de alto, medio o sin vacío, el más utilizado es el de medio vacío que trabaja con presiones de  $2 \times 10^{-1}$  a  $10^{-1}$  torr en la cámara de trabajo, mientras que en la cámara de disparo mantiene un vacío de  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  torr o menos.

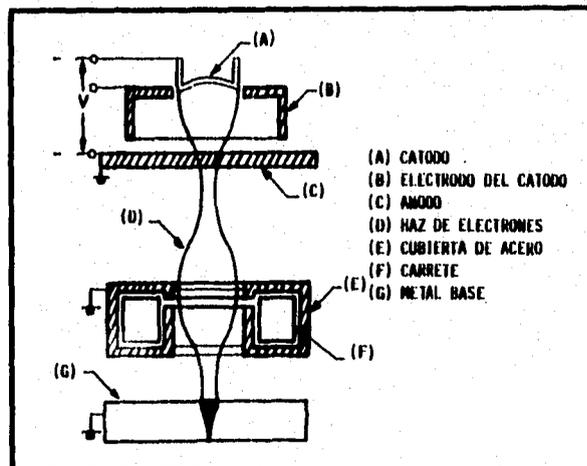


Fig. 1.15 DETALLE DEL PROCESO DE SOLDADURA EBW.

La tensión de aceleración de electrones es de entre 15 y 30 KV, necesarios para lograr una potencia de 7 KW aproximadamente en el cañon de disparo, lo cual se lleva a cabo en cámaras de vacío solamente, sin embargo, se han hecho ensayos a presión atmosférica con protección de argón, pero sólo son ensayos. (1)

Cuando el haz esta en contacto con el metal lo funde con un diámetro de entre 0.010 plg y 0.030 plg, según el enfoque y el tipo de junta empleados. De tal forma se pueden hacer soldaduras a tope de ensambles con una profundidad de 0.625" (15.875mm) y una concentración del haz de 0.065" (1.65 mm). Lo cual demuestra que se pueden realizar soldaduras por haz de electrones con una penetración muy grande.

El efecto de la soldadura por haz de electrones se dá por la combinación de tres efectos que ocurren al mismo tiempo: (4)

- 1.-El metal que está en el punto de contacto de la junta se vaporiza, luego se condensa formando metal fundido en el punto de salida de la ranura.
- 2.-El metal fundido en el punto de contacto fluye al punto de salida de la ranura.
- 3.-El metal continuamente fundido llena la ranura y se solidifica conforme avanza el haz de electrones.

Las superficies de la junta se maquinan para obtener una rugosidad de aproximadamente 120 micropulgadas, se limpian por métodos químicos o mecánicos poco antes de iniciar el proceso y no deben ser tocadas con las manos o herramientas.

Se pueden soldar láminas de 20 a 30 mm y hasta de 0.1 mm de espesor, se obtienen soldaduras de calidad incomparable, pero se encuentra limitado a la realización en vacío. Se han hecho soldaduras exitosas en oblicuo, uniones en T, uniones de tubos paralelos sobre una tangente común y en el interior de un volumen cerrado. (1)

Por lo general en la soldadura de chapas de acero inoxidable se hacen con una relación profundidad/anchura del cordón de 4 a 5, a continuación se presenta un cuadro con regulaciones tipo para chapas inoxidables austeníticas tipo 304.<sup>(8)</sup>

ESPESOR DE LA CHAPA (mm)	INTENSIDAD (mA)	TENSION (KV)	RELACION PROF-ANCHO
6	100	30	4
12	260	30	4
25	250	30	5

**Tabla 1.14 REGULACIONES TIPO PARA SOLDADURA DE CHAPAS POR HAZ DE ELECTRONES.**

Hay una secuencia, presentada por la ASM<sup>(4)</sup> para realizar soldaduras con haz de electrones, a continuación se presenta:

- 1.-Preparar la pieza de trabajo, los ensambles y los soportes para soldar, incluyendo limpieza, un precalentamiento y posible desmagnetización.
- 2.-Cargar la pieza de trabajo en los mecanismos de soporte que se encuentran en la cámara.
- 3.-Poner en marcha la bomba de vacío.
- 4.-Hacer un alineamiento preliminar de la junta sin enfocar el haz, después de apagar la bomba de vacío.
- 5.-Luego que la presión de la cámara ha sido reducida a  $10^{-4}$  torr, se enfoca el bloque emisor de tungsteno y se preparan los parametros del haz.
- 6.-Se realiza un alineamiento final de la junta en la posición de incidencia del haz.
- 7.-Se empieza a soldar, la soldadura se ejecuta usualmente en forma automática, pero se puede ejecutar manualmente.
- 8.-Se termina el ciclo de soldadura.
- 9.-Cuando la pieza de trabajo se ha enfriado lo suficiente, se deja entrar aire atmosférico a la cámara y se procede a quitar los soportes.

Los metales de aporte sólo serán usados cuando no existe la posibilidad de que las caras de los metales a unir queden juntas. Esto se lleva a cabo en los procesos sin vacío, fuera de la cámara.

### 1.3.11 SOLDADURA CON RAYO LASER (LBW).

El calor necesario para este proceso se genera al dirigir un haz de rayo láser sobre las piezas que se han de soldar, este haz se concentra y puede aplicarse en zonas donde se requiere que el diámetro sea muy reducido, de 0.030" e incluso de 0.001".<sup>(6)(7)</sup>

La soldadura con rayo láser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) se efectúa enfocando un haz de luz de xenón o neón a través de un rubí (fig. 1.16), el cual está compuesto de óxido de aluminio con una pequeña concentración de óxido de cromo en solución.

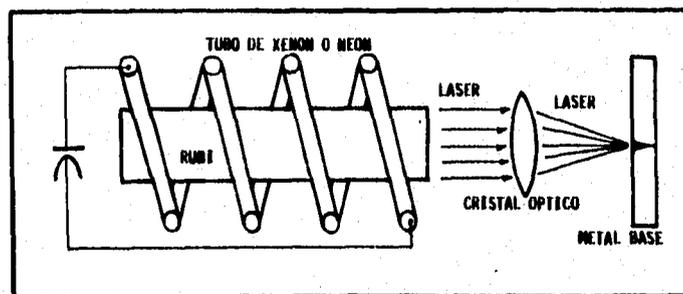


Fig. 1.16 DETALLE DEL PROCESO DE SOLDADURA LBW.

Durante la exposición, los átomos de óxido de cromo se excitan a niveles de alta energía provocando que el rubí emita una luz roja, la cual escapa por un extremo del cristal en forma de haz. Este haz se puede manipular mediante sistemas ópticos para producir un calentamiento localizado.<sup>(8)</sup>

Al manipular este haz con sistemas ópticos de reflexión para desviarlo, se tiene la ventaja de realizar uniones en lugares considerados como inaccesibles para otros procesos.

El rayo láser se puede transmitir en la atmósfera o en presencia de otros gases sin sufrir alteraciones, por tal motivo se pueden realizar soldaduras sin necesidad de sistemas externos de seguridad, como podrían ser la utilización de gases inertes en el cordón de soldadura, etc.

No se requiere que los metales que serán soldados sean conductores de la electricidad, y por lo tanto no se requiere que haya contacto mecánico de ningún tipo entre el dispositivo de soldadura y las piezas a soldar.

El método de soldadura con rayo láser tiene la gran ventaja de emplearse para soldar hilos capilares y chapas muy delgadas, del orden de 0.001" de espesor, además se pueden llevar a cabo uniones de alambros con superficies planas o de elementos que requieren soldaduras de precisión, como ocurre en la industria aeroespacial o nuclear. En general este proceso tiene aplicación en donde otros procesos de soldadura no resulten apropiados, ya que se pueden obtener elevadas velocidades de soldadura, incluso en piezas de pequeñas dimensiones que sean producidas en grandes series.

A continuación se mencionan algunas aplicaciones características de la soldadura por rayo láser en aceros inoxidables.

- A) Soldadura de utensilios domésticos de gran serie.
- B) Soldadura a tope de tubos (con instalación de cabeza soldante y tubo rotatorio).
- C) Soldadura con espesores de hasta 10 mm, con velocidad del orden de 10 milímetros por segundo.
- D) Soldadura en posiciones que presentan dificultad o peligrosidad de acceso, como en reactores nucleares.

### 1.3.12 SOLDADURA ULTRASONICA (USW).

La American Welding Society (AWS) considera a la soldadura ultrasónica como soldadura en estado sólido, junto con procesos como soldadura por difusión, por explosión, por forja, etc.

El calor necesario para este proceso de soldadura se genera al someter la pieza de trabajo a frecuencias ultrasónicas de radio. La energía ultrasónica hace que se calienten los metales base al mismo tiempo que se mantienen juntas por medio de presión mecánica.

La aplicación de energía vibratoria de alta frecuencia va de 10,000 a 100,000 hertz, esta energía provoca un calentamiento debido al choque de las ondas sonoras con la pieza de trabajo, de esta manera se logra una unión de calidad y que es usada como soldadura de precisión, fig. 1.17.

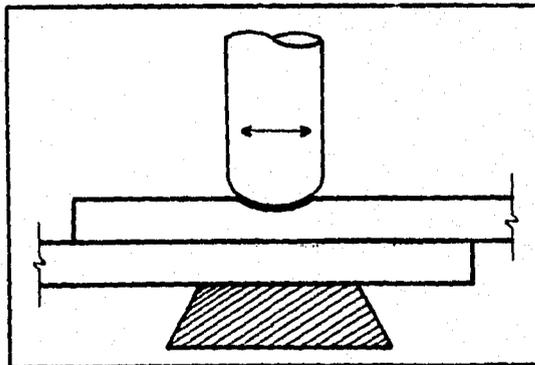


Fig. 1.17 DETALLE DEL PROCESO DE SOLDADURA USW.

El movimiento vibratorio es provocado por un transductor ultrasónico que puede ser magnetoestrictor o piezoeléctrico, pasa a través de los materiales a soldar y es reflejado por un sonotrodo.

El transductor ultrasónico provoca la desintegración de los óxidos con una deformación mínima en el punto de unión.

La soldadura ultrasónica de láminas delgadas de acero inoxidable se asemeja al proceso de indentación en frío. El movimiento vibratorio provocado por el transductor desintegra los óxidos con una menor deformación y adelgazamiento de la unión que el proceso de indentación en frío.

La acción vibratoria es, por lo común de 20,000 hertz o más, y puede elevar la temperatura de la unión hasta el punto de recristalización.<sup>(10)</sup>

Este proceso se utiliza principalmente para soldar láminas delgadas, del orden de 0.10" e incluso hasta de 0.00017", y tiene una gran aplicación en la industria electrónica, de empaquetado estéril, en la industria aeroespacial y en la industria de fabricaciones metálicas.<sup>(8)</sup>

### 1.3.13 DISEÑO DE UNIONES O JUNTAS.

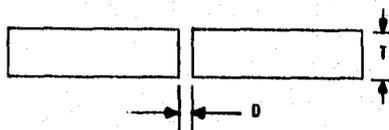
El tipo y la preparación de las uniones dependerá del proceso de soldadura, la posición de la misma y el espesor del material.

Los factores que determinan el éxito en el diseño de una unión soldada son:

- 1.-Evitar diseñar una junta soldada en la esquina de un componente, para evitar la concentración de esfuerzos.
- 2.-Evitar en lo posible la unión soldada de dos o más materiales diferentes.
- 3.-Evitar la unión soldada de componentes de diferentes espesores, y en caso necesario desvanecer uno de los extremos.

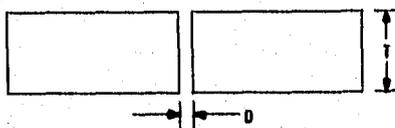
Las siguientes configuraciones de ranuras para soldadura de aceros inoxidables son las más comunes, y son utilizadas por diversos procesos de soldadura.

**UNION A TOPE (MATERIAL DELGADO)**



PROCESO	DIMENSIONES (mm)	OBSERVACIONES
SMAW	T = 1 - 3 D = 0 - 0	SE REQUIERE BARRA DE RESPALDO.
SAW	T = 2 - 4 D = 0	SE REQUIERE BARRA DE RESPALDO.
GTAW (Manual)	T = 1 - 3 D = 0 - 2	SE EFECTUA CON O SIN ALAMBRE DE APORTE, DEPENDIENDO DEL ANCHO DEL BOQUETE.
GTAW	T = 1,5 - 3 D = 0	SE EFECTUA CON O SIN ALAMBRE DE APORTE.
GMAW	T = 2 - 4	SE REQUIERE BARRA DE RESPALDO.

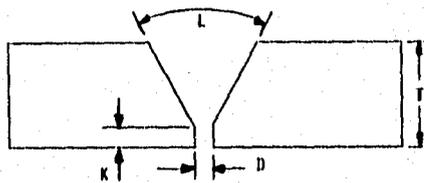
**UNION A TOPE (MATERIAL DE ESPESOR GRUESO)**



PROCESO	DIMENSIONES (mm)	OBSERVACIONES.
SMAW	T = 3 - 4 D = 0 - 2	
SAW	T = 4 - 8 D = 0 - 1	SE RECOMIENDA BARRA DE RESPALDO.

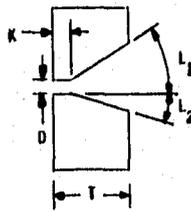
GTAW (Manual)	T = 3 - 5 D = 0 - 1	SE UTILIZA ALAMBRE DE APORTE.
GTAW	T = 3 - 6 D = 0	SE UTILIZA ALAMBRE DE APORTE.
GMAW	T = 4 - 8 D = 0 - 1	

UNION EN "V" SENCILLA



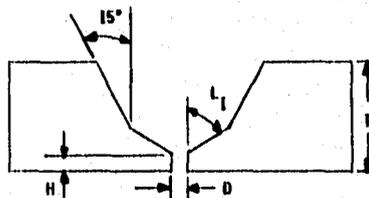
PROCESO	DIMENSIONES (mm)	OBSERVACIONES
GMAW	T = 3 - 12 D = 1 - 3 H = 0 - 2 L = 60°	SOLDADURA POR UNO O AMBOS LADOS.
SAW	T = 8 - 12 D = 0 - 2 H = 1.5 - 2 L = 60°	SOLDADURA POR UNO O AMBOS LADOS. SOLDADURA POR ARCO METALICO COMO GLOBULOS EN LA RAIZ COMO SOPORTE.
GTAW	T = 4 - 12 D = 0 - 0.3 H = 1.5 - 2 L = 90°	SOLDADURA POR UN SOLO LADO. USADA COMO SOLDADURA DE GLOBULOS EN LA RAIZ, CUANDO SE REQUIERE ESPECIAL- MENTE ALTA CALIDAD POR LO QUE RES- PECTA AL ACABADO DE LA SUPERFICIE. EL RELLENDO SE PUEDE EFECTUAR POR OTROS PROCESOS.
GMAW (Manual)	T = 4 - 12 D = 0 - 2 H = 2 - 3 L = 60°	SOLDADURA POR UNO O AMBOS LADOS.
GMAW	T = 8 - 12 D = 0 - 2 H = 0 - 2 L = 60°	SOLDADURA POR UNO O AMBOS LADOS. SOLDADURA POR ARCO METALICO COMO GLOBULOS DE RAIZ COMO SOPORTE.

**UNION EN "V" SENCILLA**  
**PARA SOLDADURA HORIZONTAL CON PIEZAS DE TRABAJO VERTICALES**

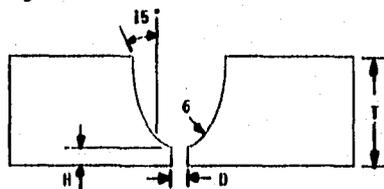


PROCESO	DIMENSIONES (mm)	OBSERVACIONES
SMAW/GMAW	T = 8 - 25 D = 1.5 - 3.5 H = 1 - 2.5 L <sub>1</sub> = 55° L <sub>2</sub> = 10°	LOS ANGULOS PUEDEN VARIAR RESPECTO DE LOS VALORES ESTABLECIDOS, PERO L <sub>1</sub> + L <sub>2</sub> SIEMPRE DEBERAN SER MAYOR O IGUAL A 60°.

**UNION EN "U"**

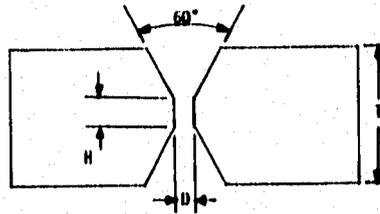


PROCESO	DIMENSIONES (mm)	OBSERVACIONES
SMAW/SAW	T = 12 - 20 D = 0 - 2 H = 2 - 3 L <sub>1</sub> = 30° - 45°	SOLDADURA POR UNO O AMBOS LADOS. SOLDADURA POR ARCO METALICO COMO GLOBULOS DE RAIZ COMO SOPORTE EN LA SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO.



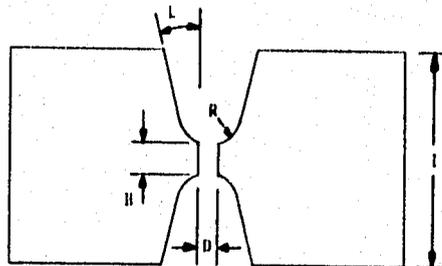
PROCESO	DIMENSIONES (mm)	OBSERVACIONES
GMAW	T = 12 - 20 D = 0 - 2 H = 2 - 3 R = 6	SOLDADURA POR UNO O AMBOS LADOS. SOLDADURA POR ARCO METALICO COMO GLOBULOS DE RAIZ COMO SOPORTE EN SOLDADURA GMAW.

UNION EN DOBLE "V"



PROCESO	DIMENSIONES (mm)	OBSERVACIONES
SMAW/SAW	T = 12 - 30 D = 1 - 3,5 H = 0 - 2	SOLDADURA POR ARCO METALICO COMO GLOBULOS DE RAIZ COMO SOPORTE EN SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO.
GTAW	T = 12 - 30 D = 0 - 2 H = 2 - 3	SOLDADURA POR ARCO METALICO COMO GLOBULOS DE RAIZ COMO SOPORTE EN SOLDADURA POR GTAW.

UNION EN DOBLE "U"



PROCESO	DIMENSIONES (mm)	OBSERVACIONES
SMAW	T = 30* o mayor D = 1 - 3 H = 0 - 2 R = 6 - 8 L = 10* - 15*	LA UNION PUEDE HACERSE CON FILOS EXTERIORES RECTOS (L=0*), CON UNA PROFUNDIDAD MENOR O IGUAL QUE EL ANCHO PARA MATERIALES CON ESPESOR MUCHO MAYOR DE 100 mm.

**CAPITULO DOS**

**" SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS "  
INOXIDABLES**

## CAPITULO DOS

### "SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS INOXIDABLES"

Los aceros inoxidable se sueldan en general fácilmente, utilizando las mismas técnicas que se utilizan al soldar aceros ordinarios, sólo haciendo pequeñas adaptaciones. (1)

Sin embargo, las características de soldabilidad entre los diferentes grados de aceros inoxidable, están determinados por su composición química (Tabla 2.1) y sus aspectos metalúrgicos, ya que mientras los grados martensíticos son magnéticos, los grados austeníticos no lo son, y los ferríticos dejan de ser magnéticos a altas temperaturas, lo cual indica que sus cantidades de elementos de aleación son muy variadas y por lo tanto poseen características propias.

TIPO	% CARBONO	% CROMO	% NIQUEL	% MANGANESO	% SILICIO	% FOSFORO	% AZUFRE	% OTROS
201	0.15	16.0-18.0	5.5-7.5	5.50-7.50	1.0	0.060	0.030	0.25 N
301	0.15	16.0-18.0	6.0-8.0	2.0	1.0	0.045	0.030	---
302	0.15	17.0-19.0	8.0-10.0	2.0	1.0	0.045	0.030	---
303	0.15	17.0-19.0	8.0-10.0	2.0	1.0	0.200	0.15 min	0.60 Mo opc.
304	0.08	18.0-20.0	8.0-10.0	2.0	1.0	0.045	0.030	0.10 N
304L	0.03	18.0-20.0	8.0-12.0	2.0	---	---	---	---
308	0.08	19.0-21.0	10.0-12.0	2.0	1.0	0.045	0.030	---
310	0.25	24.0-26.0	19.0-22.0	2.0	1.5	0.045	0.030	---
316	0.08	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0	1.0	0.045	0.030	(a)
316L	0.03	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0	0.75	0.045	0.030	(a)
321	0.08	17.0-19.0	9.0-12.0	2.0	1.0	0.045	0.030	(b)

Tabla 2.1 COMPOSICION DE ALGUNOS ACEROS INOXIDABLES. (4)

347	0.08	17.0-19.0	9.0-13.0	---	---	---	---	Nb (10xC)
20CB-3	0.07	19.0-21.0	32.0-38.0	2.0	1.0	0.045	0.035	(c)
2-13-5	0.06	20.5-23.5	11.5-13.5	4.0-6.0	1.0	0.040	0.030	(d)
409	0.08	10.5-11.8	---	1.0	1.0	0.045	0.045	(e)
430	0.12	16.0-18.0	---	1.0	1.0	0.040	0.030	---
430F	0.12	16.0-18.0	---	1.25	1.0	0.040	0.060	0.60 Mo opc.
442	0.12	18.0-23.0	---	---	---	---	---	---
446	0.20	23.0-27.8	---	1.5	1.0	0.040	0.030	0.25 N
403	0.15	11.5-13.0	---	1.0	0.5	0.040	0.030	---
410	0.15	11.5-13.5	---	1.0	1.0	0.040	0.030	---
416	0.15	12.0-14.0	---	1.25	1.0	0.060	0.15 min	0.60 Mo opc.
420	0.15 min	12.0-14.0	---	1.0	1.0	0.040	0.030	---
420F	0.15 min	12.0-14.0	---	1.25	1.0	0.060	0.15 min	0.60 Mo opc.
431	0.20	15.0-17.0	1.25-2.50	1.0	1.0	0.040	0.030	---
440A	0.60-0.75	16.0-18.0	---	1.0	1.0	0.040	0.030	0.75 Mo
440B	0.75-0.95	16.0-18.0	---	1.0	1.0	0.040	0.030	0.75 Mo
440C	0.95-1.20	16.0-18.0	---	1.0	1.0	0.040	0.030	0.75 Mo

(a) 2.0-3.0 Mo, 0.10 N  
(b) 0.010 N, 5 x C + N min Ti  
(c) 2.0-3.0 Mo, 3.0-4.0 Cu, 8 x C min Nb (1.0 max)  
(d) 1.5-3.0 Mo, 0.2-0.4 N, 0.1-0.3 Nb, 0.1-0.3 V  
(e) 6 x C Ti (0.75 max)  
(f) 0.75-1.5 Mo, 0.015 N, 0.2 max Cu (0.5 max Cu + Ni)

Tabla 2.1 (CONTINUACION).

## 2.1 CARACTERISTICAS DE LA SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS.

Por definición los aceros inoxidable ferríticos tienen una composición que produce una estructura ferrítica a temperatura ambiente.

Este tipo de aceros es difícil de soldar debido a que tienden a ser quebradizos por acción del calor, si se mantienen por un largo periodo a una temperatura de entre 600 y 700 °C aumenta la posibilidad de fragilizarse, debido a la expansión de grano en la Zona Adyacente a la Soldadura, no es posible regenerarlo por medio de tratamiento térmico ya que éste no tiene punto de transformación y muchas veces las uniones soldadas pueden ser irremediamente frágiles.

Después de soldados se forman pequeñas cantidades de martensita en los límites de grano de la Zona Afectada por el Calor (ZAC), lo cual puede provocar baja ductilidad y mala tenacidad. Para evitar esto, el metal a soldar deberá ser francamente ferrítico.<sup>(3)</sup>

Algunos procesos de soldadura donde la fusión va acompañada de un forjado, como la soldadura de resistencia por puntos o de rodamientos (roldanas, rodillos o ruletas), permite limitar el agrandamiento del grano, pero no se logran uniones que soporten grandes esfuerzos mecánicos.

Sin embargo, Inchaurza<sup>(17)</sup> recomienda soldar los aceros inoxidable ferríticos con soldadura de arco, ya que, nos dice que el calentamiento es localizado y se aplica en poco tiempo.

Pero no cabe duda que la soldadura por arco afecta mucho más a los grados ferríticos que los procesos por resistencia, ya que la ZAC es mínima.

Para mejorar las características de la soldadura de aceros inoxidable ferríticos, se recomienda utilizar un precalentamiento, el cual está determinado por parametros como composición, tipo de junta, propiedades mecánicas y espesor, esta temperatura se encuentra en la siguiente tabla.

PRECALENTAMIENTO Y TRATAMIENTO TECNICO POSTSOLDADURA DE LOS ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS		
TIPO	TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO °F(°C)	TEMPERATURA DE RECOCIDO POSTSOLDADURA °F(°C)
405	150-300(66-149)	1200-1400(648-760) (a)
409	150-300(66-149)	1200-1400(648-760) (a)
430	150-300(66-149)	1400-1550(760-842) (a)
442	300-500(149-260)	1450-1650(787-898) (b)

(a) ENFRIADO AL AIRE  
(b) ENFRIAMIENTO RAPIDO

Tabla 2.2 PRECALENTAMIENTO Y TRATAMIENTO TECNICO POSTSOLDADURA PARA LOS ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS.<sup>(3)</sup>

Sin embargo para prevenir fracturas y fisuras en la soldadura, es suficiente con precalentar entre 150 y 500°C, aún sin conocer los parametros de composición de dicho acero.

El tratamiento térmico después de soldada una pieza se realiza por dos propositos, que son:

- 1.-Para llevar a cabo un relevado de tensiones.
- 2.-Para transformar cualquier martensita en ferrita.

Se recomienda hacer un recocido a 800 °C o un relevado de esfuerzos de entre 700 y 725°C, para desaparecer la martensita y convertirla en ferrita. (1)

Para reducir la fragilidad de una pieza ya soldada, se calienta a 1100 °C durante un tiempo regular, se enfría rapidamente en agua para piezas pequeñas o en aire para piezas grandes, hasta bajar su temperatura a 400°C o menos. Sin embargo, este método no asegura la eliminación completa de la fragilidad, pero si la reduce. (11)

Cuando el diseño de la junta requiere de una mayor ductilidad se utilizan aceros inoxidable austeníticos como metal de aporte, pero, si se le va a realizar un recocido después de soldado, se deberá soldar con metales de aporte ferrítico. Los electrodos utilizados para soldar grados ferríticos deben tener un 14% de cromo y 0.08% de carbono para eliminar la posibilidad de formación de carburos, sin necesidad de estabilizadores.

Para disminuir la fragilidad y darle calidad a la soldadura desde el momento de aplicación, es bueno utilizar electrodos que contengan aproximadamente 20% cromo y 15% níquel. (11)

Se pueden encontrar problemas con el tratamiento térmico posterior a la soldadura con metal de aporte austenítico, ya que el rango de recocido es de entre 778 y 842°C, y en esta temperatura se encuentra el rango de sensitización de los aceros inoxidable

austeníticos, por lo tanto se debe evitar el uso de aportes austeníticos en este caso.

Se entiende por sensitización al momento en que por la acción de la temperatura, un acero inoxidable austenítico tiende a sufrir una corrosión intergranular, es decir, ocurre una precipitación de carburos con su consecuente pérdida de cromo, ya que estos se convierten en carburos de cromo.

Este fenómeno ocurre en el rango de 425 a 800 °C según Delattre<sup>(1)</sup>; de 400 a 800 °C según Mercado<sup>(11)</sup> y de 420 a 871 °C según Peckner<sup>(3)</sup>.

Cuando se sueldan metales base ferríticos con metales de aporte también ferríticos, la unión tiene las mismas propiedades, color, apariencia y resistencia a la corrosión que el metal base.<sup>(3)</sup>

## **2.2 CARACTERISTICAS DE LA SOLDADURA DE LOS ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS.**

Los aceros inoxidables martensíticos son difíciles de soldar debido al cambio de fase de austenita a martensita durante el enfriamiento, después de soldarlo. Se debe tener mucho cuidado al soldar este tipo de inoxidable, ya que presenta cambio de volumen, aumento de dureza y pérdida de ductilidad.<sup>(3)</sup>

Estos aceros inoxidables obtienen su resistencia a la corrosión a partir del contenido de cromo, que es de 11.5 a 18%, pero ya que el cromo es formador de ferrita, se necesita una cantidad mayor de carbono, de 0.15 a 1.2%, para promover la martensita durante el tratamiento térmico.<sup>(1)</sup>

Se recomienda soldar estos aceros en forma recocida, ya que el enfriamiento desde la temperatura de soldadura provoca un templeado martensítico aumentando su dureza, es decir, no tiene la suficiente ductilidad para soportar las tensiones del cambio térmico causado

por el proceso de soldadura, se pueden presentar severas grietas o tendencia a la fisuración en caliente y en servicio por falta de ductilidad.

Se prefiere hacer un recocido al metal antes de soldarlo, este recocido consiste en calentar la pieza de metal hasta 800°C, dejarlo enfriar hasta 600 °C y luego enfriarlo rápidamente a temperatura ambiente. (11)

Para oponerse al fenómeno de templado martensítico, se somete al metal a un ciclo térmico recomendado por Delattre<sup>(1)</sup>, el cual consiste en:

1. De 0.10 a 0.20% de carbono, precalentar a 300°C, mantener esta temperatura durante el proceso de soldadura y dejar enfriar lentamente.
- 2.-Arriba de 0.20% de carbono, precalentar a 300°C, no dejar enfriar y someter la zona afectada por la soldadura a un revenido de entre 700 y 725°C, para descomponer la austenita en ferrita y carburos.

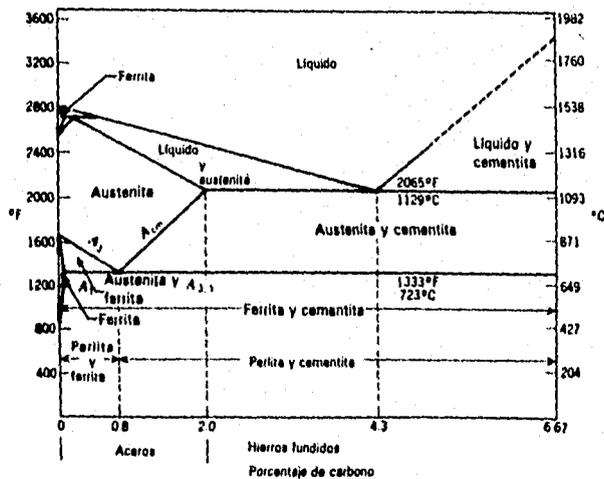


Fig. 2.1 DIAGRAMA BINARIO HIERRO-CARBONO.

La forma más efectiva de prevenir el agrietamiento es precalentar y controlar el aumento de temperatura, hasta llegar al rango de precalentamiento para aceros inoxidable martensíticos que es de 250 a 316°C, dependiendo del contenido de carbono.

Para aceros con contenido de carbono entre 0.10 y 0.20% se requiere un precalentamiento a 260°C, con más de 0.20% de carbono, se requiere precalentar a 316°C.<sup>(3)</sup>

El tratamiento térmico postsoldadura consiste en calentar el metal a una temperatura lo suficientemente alta para formar austenita, entonces se temple rápidamente a temperatura ambiente. Se recomienda que el templado sea en aire para metales de sección delgada o en aceite para secciones grandes, (Tabla 2.3).

TRATAMIENTO TÉRMICO POSTSOLDADURA DE LOS ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS		
TIPO	TEMPERATURA DE AUSTENIZACIÓN °F(°C)	TEMPERATURA DE REVENIDO °F(°C)
403,410	1700-1850(926-1008)	900-1200(482-648)
414	1700-1925(926-1050)	900-1200(482-648)
416,416 Se	1700-1850(926-1008)	1000-1200(538-648)
420	1800-1950(981-1063)	400-700(204-371)
431	1800-1950(981-1063)	1000-1175(538-635)
440A	1850-1950(1008-1063)	300-700(150-371)
440B	1850-1950(1008-1063)	300-700(150-371)
440C	1850-1950(1008-1063)	375(190)

Tabla 2.3 TRATAMIENTO TÉRMICO POSTSOLDADURA PARA ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS.<sup>(3)</sup>

En aceros con 13% cromo y 0.07 a 0.10% carbono, las uniones tienden a ser frágiles y sensibles a la fisuración debido a que son tipos intermedios entre los ferríticos y martensíticos. Para mejorar la soldabilidad se deben tomar en cuenta dos aspectos, los cuales son:<sup>(1)</sup>

1. Utilizar electrodos o varillas austeníticas, con una pequeña proporción de ferrita.
2. Después de la soldadura, someter la unión a un tratamiento térmico de revenido entre 700 y 725 °C.

El tipo más utilizado de acero inoxidable martensítico es el 502, el cual contiene molibdeno que le proporciona resistencia a elevadas temperaturas (hasta 1300°C). Por lo tanto los electrodos usados para soldarlo deben tener molibdeno y cromo en un porcentaje ligeramente más elevado que el metal base.

### **2.3 CARACTERISTICAS DE LA SOLDADURA DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS**

Los aceros inoxidables austeníticos son más fáciles de soldar que los otros grados, ya que se prestan magníficamente a todos los procesos, pues no sufren cambios de fase a pesar de la temperatura. Las uniones poseen características muy parecidas o idénticas a las del metal base, sin necesidad de precalentamiento o de tratamiento térmico postsoldadura, sólo se debe tener en cuenta el material de aporte.

Los aceros inoxidables austeníticos que contienen sulfuro (303) o selenio (303 Se) provocan severos agrietamientos en caliente. Otros tipos como los 302, 304 y 304L, difieren en su grado de soldabilidad debido a su bajo contenido de carbono formador de carburos en la ZAC, después del ciclo calentamiento-enfriamiento durante el proceso de soldadura. Los tipos como los 316, 316 Cb, 316L y 317, contienen molibdeno, el cual promueve la formación de carburos en los límites de grano en la ZAC, esta formación se puede inhibir con un contenido extra bajo de carbono, como el tipo 316L.

Cabe mencionar que el carbono es el principal promotor de la ZAC, junto con el calor, entonces, al utilizar tipos L de aceros inoxidables auteníticos o estabilizados, la ZAC sera nula o tan

insignificante que algunas personas la consideran nula, además de que no sufren cambio de fase, es decir, ya sea en estado sólido o líquido siempre son austeníticos.

El principal problema que se presenta al soldar aceros inoxidables austeníticos es la corrosión intercrystalina o precipitación de carburos de cromo, lo cual sucede con los tipos no estabilizados y ocurre a la temperatura de sensitización o sensibilización, que comprende un rango de 400 a 871°C, a esta temperatura se presentan las condiciones más favorables para que el cromo se combine con el carbono provocando una reducción de cromo en la matriz adyacente a los límites de grano, reduciendo la resistencia a la corrosión. Cuando ha ocurrido este problema es fácil identificarlo ya que presenta un color azulado que aparece en la zona adyacente a la soldadura.

Los tipos con extra bajo carbono (304L, 316L, etc. con 0.03% de carbono aproximadamente) poseen la suficiente inmunidad a la precipitación de carburos durante la soldadura sin causar pérdida de resistencia a la corrosión en la ZAC, pero si se mantienen por un tiempo prolongado a la temperatura de sensitización. puede ocurrir la precipitación.

Para evitar la precipitación de carburos de cromo, se recomienda tomar en cuenta los siguientes dos aspectos:

- 1.-Con contenidos muy bajos de carbono, máximo 0.03%, este fenómeno no existe.
- 2.-Se utilizan tipos estabilizados, que contienen adiciones de titanio y/o niobio, formando carburos estables sin alterar el contenido de cromo.

Los elementos estabilizadores son aquellos que tienen la facilidad de alearse con el carbono durante la temperatura de sensitización, y después de ésta, dejarlo libre, evitando así la corrosión o precipitación de carburos.

Los elementos estabilizadores son: titanio y niobio,<sup>(1)</sup> columbio, titanio, molibdeno, cesio, bario y zirconio,<sup>(2)</sup> columbio, columbio-tántalo y titanio,<sup>(3)</sup>.

Otro problema que se puede presentar al soldar aceros inoxidables austeníticos, es la microfisuración o fractura en caliente, la cual es una fractura intergranular que puede ocurrir en el metal soldado y en la ZAC, debido a que los carburos de cromo son extremadamente frágiles.

El metal soldado completamente austenítico es el más susceptible a fracturarse en caliente, que los que contienen algo de delta-ferrita, por lo tanto el contenido de aleación del metal soldado es muy importante, el metal de aporte debe tener una composición adecuada para producir una cantidad controlada de ferrita, de 3 a 5% de ferrita es la cantidad deseada para evitar las fracturas en caliente, en cambio si esta cantidad de ferrita presente en el depósito de soldadura es mucho mayor, se podrían tener problemas de resistencia a la corrosión y de ductilidad.

El tipo de ferrita a la que se hace referencia, es la delta-ferrita, es decir la que se forma a alta temperatura, arriba de 1390 grados centígrados, a partir del metal líquido y no la alfa-ferrita, que se forma a baja temperatura y a partir de la austenita.

El diagrama de Schaeffler es de gran importancia, ya que ayuda a establecer las posibles estructuras presentes en un cordón de soldadura, además de orientar en la selección del metal de aporte en función de la estructura final deseada, lo cual permite evitar en el cordón de soldadura la presencia de fases que puedan perjudicar la resistencia a la corrosión.

Para obtener una microestructura deseada en un cordón de soldadura, se utiliza el diagrama de Schaeffler, el cual consta de dos parámetros fundamentales, los cuales son: equivalente cromo, y; equivalente níquel.

El equivalente cromo es la suma de los porcentajes de los elementos ferritizantes o alfégenos, como son el cromo, niobio, molibdeno, silicio y tantalio, los cuales favorecen en el hierro una estructura atómica con red cúbica centrada en el cuerpo, que también se conoce como hierro alfa o ferrita, además de ser magnético. La expresión que representa el equivalente cromo en el diagrama de Schaeffler es:

$$\text{EQ. CROMO} = \%Cr + \%Mo + (0.5)\%Nb + (1.5)\%Si$$

Equivalente níquel es la suma de los porcentajes multiplicados por el peso relativo del níquel y de los demás elementos gammágenos como el carbono y el manganeso, los cuales presentan propiedades austenitizantes. Estos elementos favorecen una estructura atómica según una red centrada en las caras, en este estado el hierro es conocido como hierro gamma o austenita, y es amagnético. La expresión que representa al equivalente níquel en el diagrama de Schaeffler (fig. 2.3), es:

$$\text{EQ. NIQUEL} = \%Ni + (30)\%C + (0.5)\%Mn$$

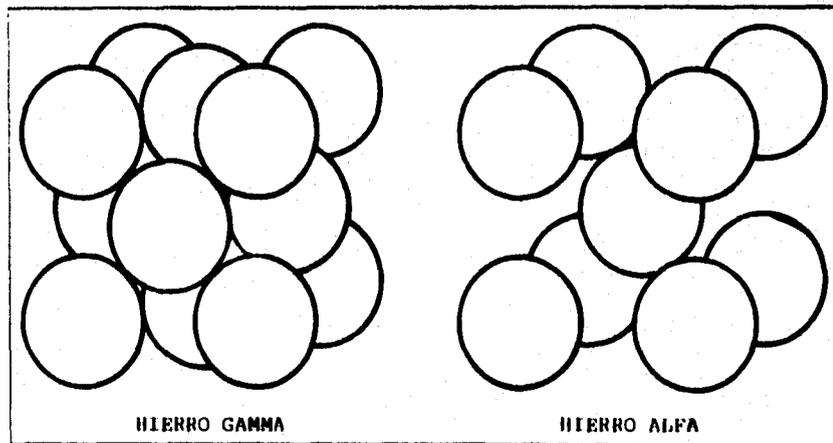


Fig. 2.2 ESTRUCTURA ATÓMICA DEL HIERRO ALFA Y GAMMA.

El diagrama de Schaeffler se divide en tres zonas principales o dominios monofásicos, a los que corresponden tres estructuras distintas de depósitos de soldadura, éstas son: Austenítica, Ferrítica y Martensítica.

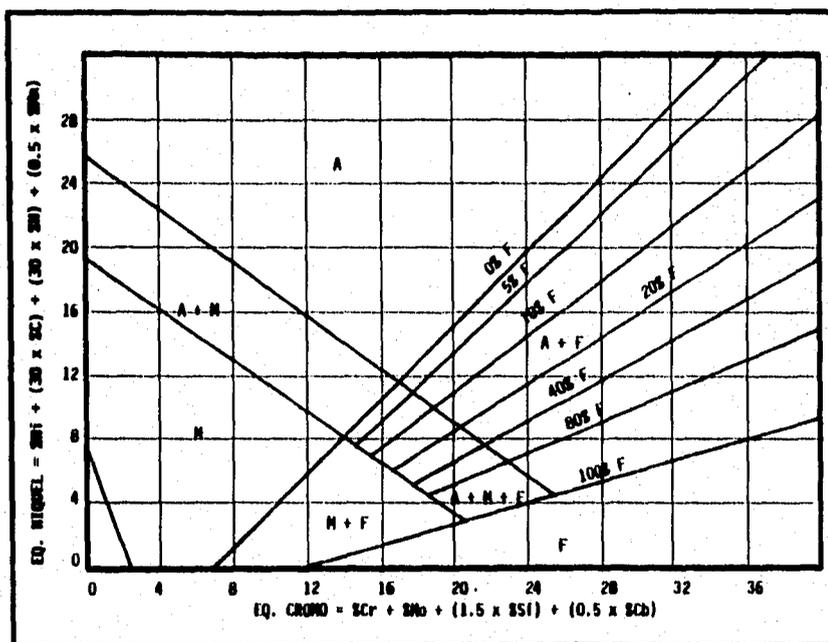


Fig. 2.3 DIAGRAMA DE SCHAEFFLER.

En las fronteras de estas zonas o dominios se localizan otras zonas de dos o más fases, las cuales son:

- 1) Austenita y Ferrita
- 2) Austenita y Martensita
- 3) Ferrita y Martensita
- 4) Austenita con Martensita y Ferrita.

EJEMPLO:

Previsión de los constituyentes de un cordón de soldadura, realizado con un electrodo de acero inoxidable AISI 316, sobre un metal base de la misma composición.

C=0.08%	Mn=2%	Si=0.9%	S=0.03%
P=0.04%	Cr=19%	Ni=12%	Mo=2.5%

$$\begin{aligned} \text{EQ. CROMO} &= 19 + 2.5 + (1.5) \times (0.9) \\ &= \underline{22.85} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{EQ. NIQUEL} &= 12 + (30) \times (0.08) + (0.5) \times (2) \\ &= \underline{15.4} \end{aligned}$$

Al ubicar estos puntos en el diagrama de Schaeffler nos damos cuenta que el cordón de soldadura está formado por austenita más la presencia de aproximadamente 3% de ferrita.

Otra forma de medir la cantidad de ferrita en un cordón de soldadura, es utilizando un dispositivo de análisis magnético, el cual está calibrado para mostrar la extensión de la fuerza magnética y así medir la cantidad de ferrita presente en la microestructura. Este dispositivo es llamado ferritoscopio, de los cuales existen varias marcas comerciales, algunos de estos son: Twin City Corp.; Ferrite Content Meter de Dr. Forster Institut, y; Severn Gage de Severn Engineering Co., entre otras. Estos dispositivos son calibrados y aprobados en Estados Unidos por la WRC (Welding Research Council).

Sin embargo este método está limitado para usarse a temperatura ambiente ya que la ferrita es magnética a esta temperatura, pero conforme la temperatura aumenta, el ciclo de histeresis (relativo al grado de magnetización) se reduce, lo cual indica que el nivel de magnetismo de la ferrita decrece a medida que aumenta la temperatura, como se muestra en la siguiente figura.

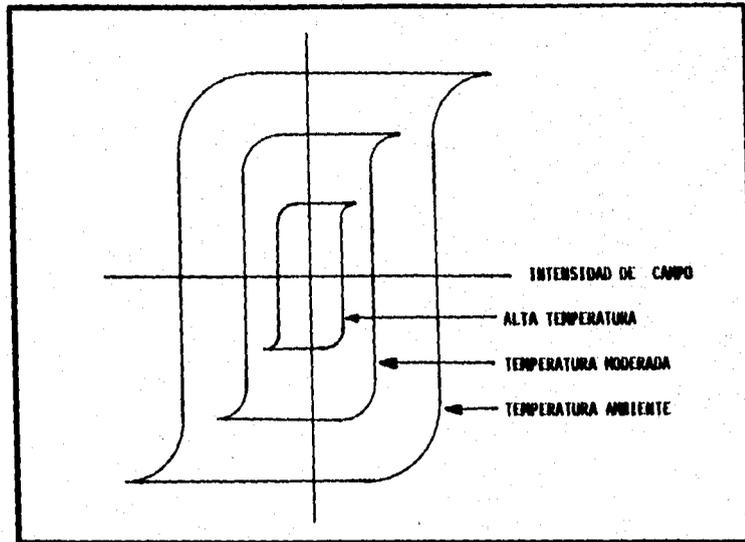


Fig. 2.4 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL CICLO DE HISTERESIS.

Si la temperatura sigue aumentando llegara el momento en que la ferrita deje de ser magnética, este punto de transición de magnético a no magnético es conocido como temperatura de Curie, este punto se muestra en la siguiente figura.

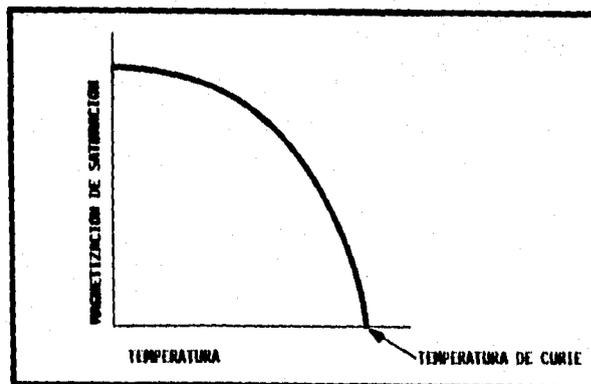


Fig. 2.5 TEMPERATURA DE CURIE.

Existe otra forma de medir la cantidad de ferrita presente en un cordón de soldadura, esta forma se da mediante un número arbitrario llamado Número de Ferrita (FN) en ingles es (Ferrite Number), el cual se encuentra en el diagrama de De Long para soldaduras de aceros inoxidable.

Este procedimiento de medición se lleva a cabo mediante medidores calibrados por la NBS (National Bureau of Standards), y los valores FN son asignados por la WRC (Welding Research Council).

A cada FN le corresponde un valor específico en % de ferrita, el cual se encuentra en el diagrama de De Long, (fig. 2.6).

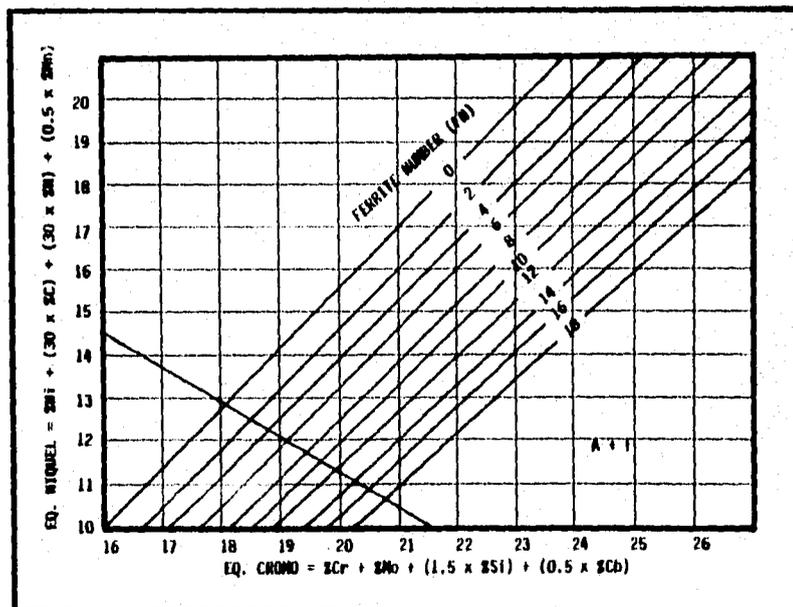


Fig. 2.6 DIAGRAMA DE DE LONG.

**CAPITULO TRES**

**" DEFECTOS EN SOLDADURA DE "**  
**ACEROS INOXIDABLES**

## CAPITULO TRES

### "DEFECTOS EN SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES"

#### 3.1 DEFECTOS DE SOLDADURA.

Las discontinuidades que afectan las características mecánicas, metalúrgicas y de resistencia a la corrosión de los metales que se estan soldando, son conocidas como defectos de soldadura.

Durante el proceso de soldadura se producen numerosos cambios que pueden ocasionar distorsiones, tensiones residuales y fisuras o grietas, los cuales se deben a la expansión o contracción térmica de los aceros inoxidable, en especial los grados ferríticos y martensíticos. Por tal motivo se requiere que el metal de aporte sea más plástico cuanto más rígida sea la unión.

Otros factores que pueden ser causa de defectos en soldaduras son los cordones de poca profundidad, crateres no rellenos al final del cordón, operaciones a bajas temperaturas atmosféricas, soldaduras realizadas bajo fuertes vientos o tiempo húmedo.

En las soldaduras, las grietas nunca son permitidas, sin importar su tamaño, en cambio, otros defectos como porosidad, inclusiones, etc., pueden ser peligrosos según su tamaño, cantidad o distribución, pero son aceptables de acuerdo al servicio a que serán sometidos. (14)(15)

En la siguiente figura se presentan los defectos típicos en un depósito de soldadura en un acero inoxidable.

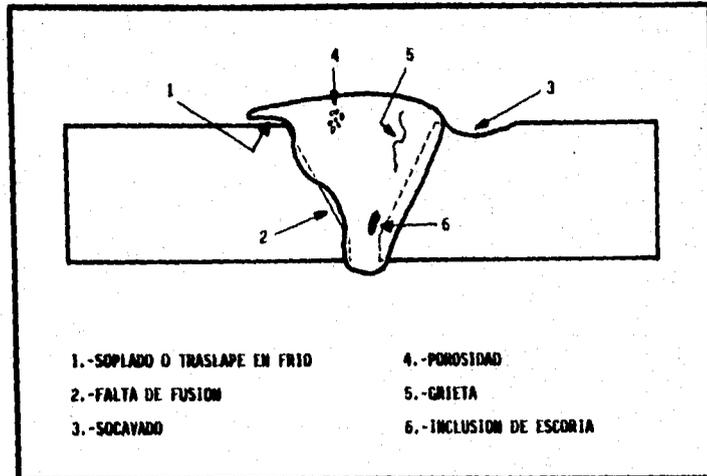


Fig. 3.1 DEFECTOS TÍPICOS EN UN DEPÓSITO DE SOLDADURA.

W. J. Patton<sup>(8)</sup> presenta una clasificación general de los defectos de soldadura, agrupándolos en tres grandes grupos que son: A) Defectos del material; B) Defectos del proceso, y; C) Defectos de servicio. Dicha clasificación se presenta en la fig. 3.2.

Los defectos del material son aquellos que se provocan en el material durante su proceso inicial, estos defectos pueden ser inclusiones de silicio, aluminio, etc.

Los defectos de proceso son los que se presentan al soldar piezas metálicas.

Los defectos de servicio son aquellos que se presentan cuando un metal está en servicio, estos defectos pueden ser fallas por fatiga en la unión soldada o pérdida de resistencia a la corrosión.

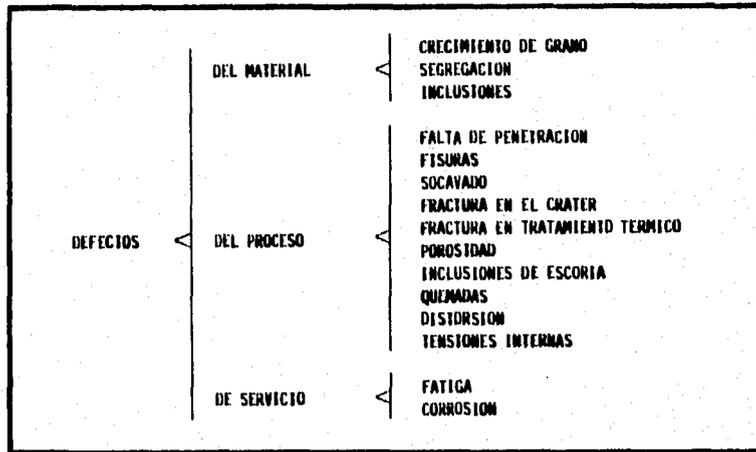


Fig. 3.2 CLASIFICACION GENERAL DE DEFECTOS DE SOLDADURA. (8)

El Instituto de Soldadura de la Gran Bretaña<sup>(12)</sup> nos dice que los defectos de soldadura pueden ser metalúrgicos o físicos y pueden presentarse en la propia soldadura o en la Zona Afectada por el Calor. los defectos se presentan cuando existen deficiencias en el procedimiento de soldadura, o deficiencias en la técnica del depósito, los cuales se relacionan con el equipo u operador.

Los defectos metalúrgicos son ocasionados por errores en el procedimiento de soldadura, los físicos se relacionan con desviaciones o una mala técnica con equipos y operadores.

Los defectos físicos se dividen en internos y externos. Los internos son aquellos que quedan atrapados dentro del metal de soldadura, los externos son los que quedan expuestos en la superficie de la soldadura.

El Instituto de Soldadura de la Gran Bretaña<sup>(12)</sup> presenta una clasificación de los defectos de soldadura de los aceros inoxidable, la cual presenta en la figura siguiente.

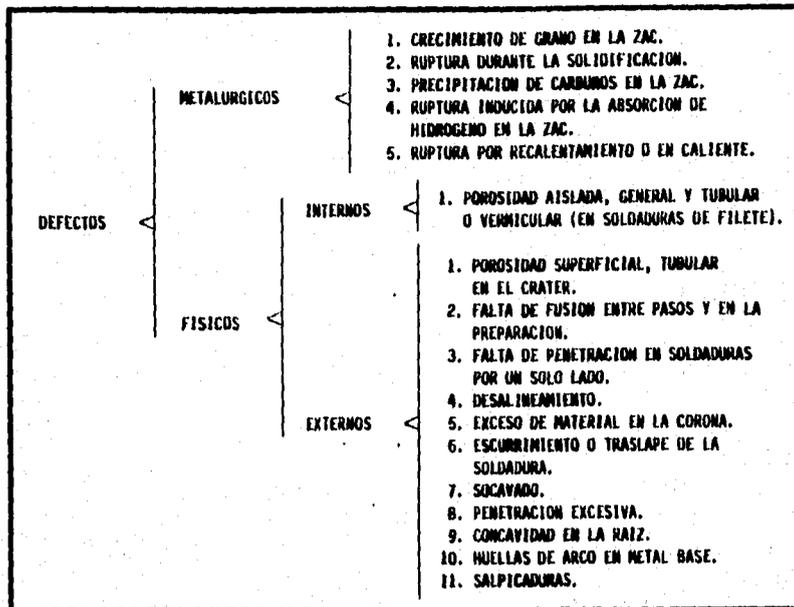


Fig. 3.3 CLASIFICACION GENERAL DE DEFECTOS DE SOLDADURA EN ACEROS INOXIDABLES. (12)

Los defectos que se presentan comúnmente en los aceros inoxidables son los siguientes:

**CRECIMIENTO DE GRANO.** Esto ocurre principalmente en los grados ferríticos, al mantener por largo tiempo el metal entre 600 y 700°C se provoca una expansión de grano en la ZAC.

**FISURAS EN CALIENTE.** Las fisuras en caliente resultan de la alta rigidez en las uniones, de un contorno concavo, especialmente si el cordón es ancho y poco profundo, o también resulta de un alto contenido de carbono (grados martensíticos). Este tipo de fisura se localiza generalmente en el metal que se enfría en último lugar, estas fisuras siguen un trayecto intergranular.

**PRECIPITACION DE CARBUROS.** Cuando un acero inoxidable austenítico se calienta entre 425 y 800 °C, por tiempos prolongados,

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

el carbono se combina con el cromo formando carburos de cromo que después se depositan en los límites de grano, ocasionando un empobrecimiento del contenido de cromo y reduciendo por lo tanto a la resistencia a la corrosión.

**POROSIDAD.** Los gases producidos por el depósito de soldadura quedan atrapados en el cordón cuando la velocidad de solidificación es demasiado grande. Se puede presentar en forma cilíndrica cuando se deposita horizontalmente un cordón y en forma esférica cuando se suelda sobre cabeza. Las porosidades se pueden deber a corrientes excesivas de aire atmosférico durante el depósito, al mal estado del recubrimiento de electrodos, a corrientes insuficientes, a la gran longitud de arco y a una deficiente limpieza del metal base.

**FALTA DE FUSION.** La falta de fusión entre el metal base y el metal de aporte se debe principalmente a la falta de un precalentamiento adecuado del metal base, así como de una baja corriente de soldadura, se puede deber también a que el electrodo es delgado y se deposita en la unión antes de que el metal base alcance la temperatura adecuada. Se soluciona este problema aumentando la corriente y usando un electrodo de mayor diámetro.

Como los aceros inoxidable, en especial los austeníticos tienen una mucho menor conductividad térmica que los aceros al carbón, se recomienda utilizar la menor corriente posible para soldarlos, generalmente 20% menor, lo cual no afecta al punto de fusión ya que debido a su baja conductividad el calor se concentra, si no se hace esta reducción de amperaje se corre el riesgo de provocar distorsiones. (19)

**PENETRACION INCOMPLETA.** Esta falta de penetración se puede deber a una abertura muy pequeña en la raíz, a un electrodo grueso, a una corriente insuficiente, a una excesiva velocidad de pasada, a una penetración incorrecta en la ranura, etc. Cuando este problema sucede, se debe remover el cordón y repetir el proceso con una abertura de raíz mayor, menor avance, mayor corriente y disminuyendo el diámetro del electrodo.

**CORONA EXCESIVA.** El exceso de material en la corona no representa una mayor resistencia, sino, es causa de concentración de esfuerzos y posible fuente de corrosión. Se debe a que la corriente es demasiado baja o a la lenta velocidad de depósito. Muy frecuentemente se tiene falta de fusión donde existe una corona excesiva o cordón alto. Se soluciona aumentando tanto la corriente como la velocidad de depósito.

**SOCAVADO.** El socavado es la fusión de lo bordes superiores del metal base durante la última pasada, se debe a una excesiva corriente de soldadura, una incorrecta longitud de arco, alta velocidad de depósito o manejo incorrecto del electrodo.

**FISURAS DE RAIZ.** Estas fisuras tienen su origen cuando existe una gran rigidez, un ajuste deficiente, poca penetración, cordones muy anchos y poco profundos o un alto contenido de carbonos. Esto se puede presentar en los grados martensíticos o ferríticos si no se tiene especial cuidado en el diseño de la junta.

**QUEMADAS.** Estas se deben a la penetración excesiva del metal de aporte, ya que atraviesan todo el espesor del metal base y es expulsado hacia el interior del recipiente soldado, se debe a una corriente excesiva, velocidad lenta o manejo incorrecto del electrodo. También es provocado al rozar el metal base fuera de la zona de soldadura, esto se corrige al encender o cebar el arco en una placa fuera del metal base.

**FISURAS DE CRATER.** Los cráteres de arco son las partes que presentan más probabilidades de defecto, debido a que se solidifican bajo tensiones elevadas, además de contener segregaciones acumuladas de metal, lo cual puede producir fisuras en caliente o fallas posteriores de servicio. En general las fisuras se producen cuando existe cierta incompatibilidad entre el metal base y el metal de aporte.

**INCLUSIONES DE ESCORIA.** Las escorias quedan atrapadas en la soldadura durante la solidificación cuando se utilizan electrodos revestidos. Esto puede ocurrir cuando se realizan pasadas múltiples de depósito y no se lleva a cabo una adecuada limpieza de escorias después de cada pasada, quedando atrapadas por las pasadas posteriores, al utilizar electrodos húmedos o al soldar en superficies irregulares.

**TENSIONES INTERNAS.** Estas tensiones internas son producidas en el proceso de soldadura por fusión, debido al enfriamiento relativamente rápido del depósito, sin embargo, pueden ser eliminadas mediante un relevado de esfuerzos.

**CORROSION INTERGRANULAR.** La corrosión intergranular ataca principalmente a los grados austeníticos, pero también son sensibilizados los ferríticos, esto es debido a las diferentes temperaturas alcanzadas en las zonas adyacentes a la soldadura. En la siguiente figura se presenta la localización de las zonas sensibilizadas y por lo consiguiente sujetas a corrosión intergranular en diferentes tipos de aceros inoxidable.

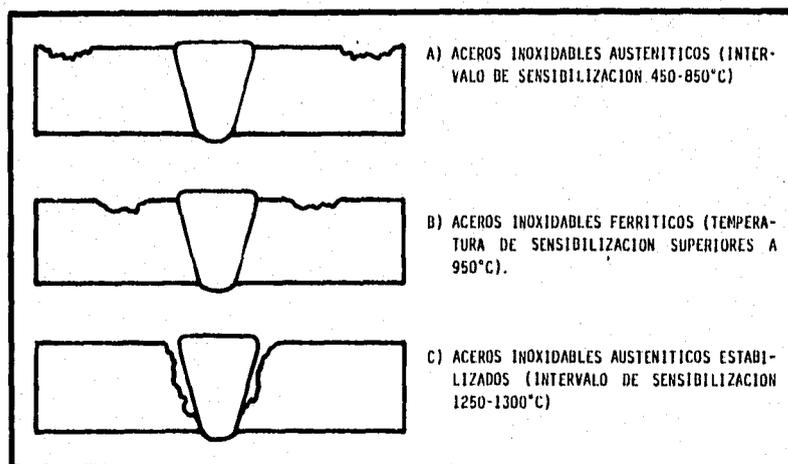


Fig. 3.4 LOCALIZACION DE ZONAS SENSIBILIZADAS EN DIFERENTES ACEROS INOXIDABLES. (16)

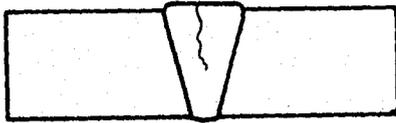
Todos los defectos de soldadura se deben a un mal procedimiento de soldadura, ya que un procedimiento es un documento donde se encuentran contenidos todos los parametros que intervienen en el desarrollo de elaboración de uniones soldadas, tales parametros pueden ser tipo de proceso, tipo de ranura, amperaje, voltaje, material de aporte, tipo de gas de protección, técnica, etc., de los cuales depende el obtener un cordón perfecto. Si uno de estos parametros queda fuera del rango establecido en el procedimiento de soldadura, se tendra invariablemente algún tipo de defecto, por esta razon se debe cumplir con todos los paramaetros establecidos en un procedimiento, el cual puede ser específico para cierto tipo de acero o para algún proceso de soldadura.

El hecho de que los soldadores sean calificados en base a normas internacionales, por ejemplo ASME o AWS, demuestra lo importante que es tanto la habilidad como la experiencia para realizar soldaduras sin defectos. Sin embargo, muchos de los defectos son ocasionados por una mala técnica del soldador en algún proceso lo cual indica que el soldador no acata al 100% lo establecido en un procedimiento de soldadura, siempre y cuando éste contenga todos los parametros relativos a la técnica de soldadura.

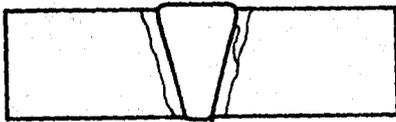
La técnica de soldadura comprende acciones que el soldador debe hacer antes, durante o después de soldar alguna pieza, algunas de estas acciones son: Depositar un cordón recto u oscilado, elegir el tamaño de la boquilla para gas de protección, llevar a cabo una limpieza inicial o de interpasos con esmeril, cepillo de alambre, etc., realizar pasadas múltiples o sencilla de soldadura, utilizar electrodo multiple o sencillo, hacer una preparación adecuada de la unión.

A continuación se presentan esquemas que caracterizan los principales defectos de soldadura en los aceros inoxidable, estos esquemas estan presentados de acuerdo a la clasificación general de defectos de soldadura presentado por el Instituto de Soldadura de la Gran Bretaña.

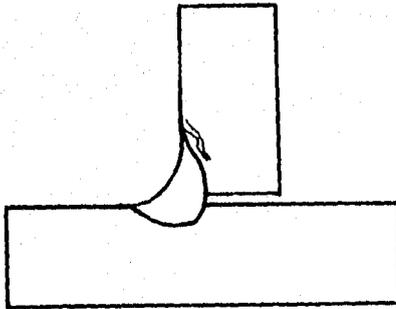
## DEFECTOS METALURGICOS



Rotura durante la solidificación en el cordón de soldadura, generalmente en aceros inoxidable austeníticos, debido al enfriamiento rápido o a la incompatibilidad entre el metal base y el metal de aporte.

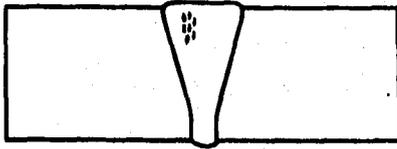


Rotura en caliente o en la ZAC, en cualquier acero inoxidable, se debe a una muy lenta velocidad de enfriamiento o a la incompatibilidad entre metales base y de aporte.

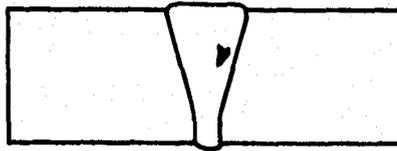


Rotura debida a la absorción de hidrógeno en la zona adyacente a la soldadura, se puede deber a que los electrodos poseen un alto contenido de hidrógeno.

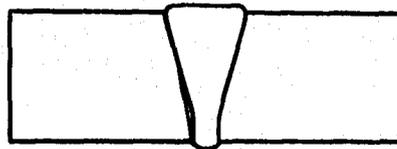
### DEFECTOS FISICOS INTERNOS



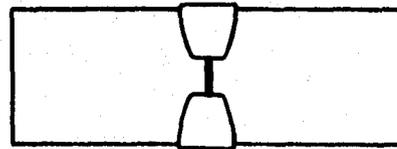
Porosidad uniforme. Se puede presentar en aceros inoxidables austeníticos o ferríticos con alto contenido de hidrógeno. Se debe a que el revestimiento está húmedo.



Inclusión de escoria aislada. Se puede presentar en cualquier acero inoxidable y se presenta generalmente por soldar con electrodos húmedos o por soldar en superficies irregulares.

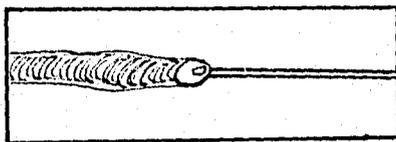


Falta de fusión en la preparación. Se puede presentar en cualquier tipo de acero inoxidable y es ocasionado por soldar con una corriente baja o al utilizar electrodos con diámetro grande.

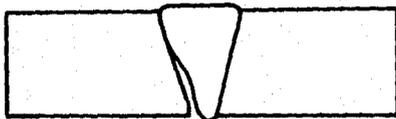


Falta de penetración por ambos lados. Se puede presentar en cualquier tipo de acero inoxidable, y puede ser ocasionado por una excesiva velocidad de depósito y baja corriente.

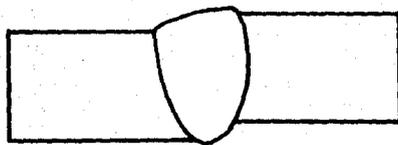
### DEFECTOS FISICOS EXTERNOS



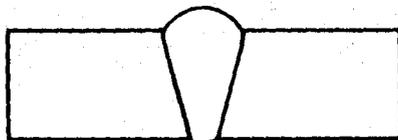
Porosidad tubular en el crater del deposito de soldadura. Es ocasionado por la falta de gases de protección o al apagar intempestivamente el arco.



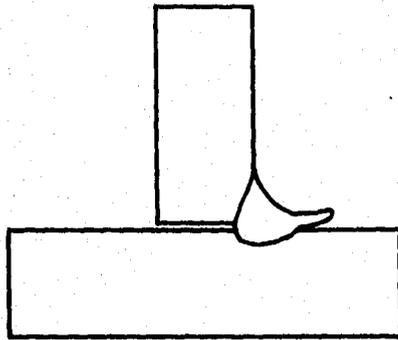
Falta de fusión en la preparación, o falta de penetración. Estos, son ocasionados por una raíz demasiado cerrada, avance excesivo, baja corriente o electrodo de diámetro pequeño.



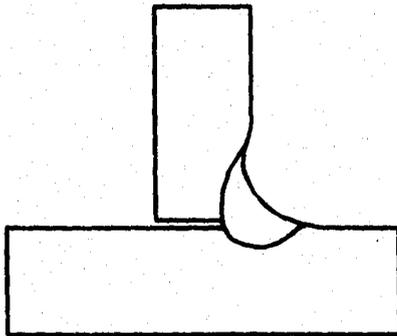
Desalineamiento entre partes (Hi-Low). Es ocasionado al presentarse una mala sujeción entre partes a soldar, o al no ser punteado el metal base.



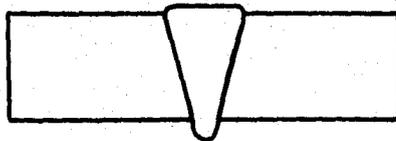
Exceso de metal de soldadura en la corona o exceso de refuerzo, es debido a una baja corriente eléctrica y a una lenta velocidad de depósito.



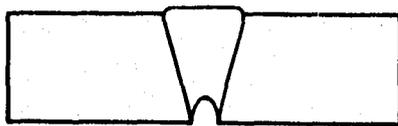
Escorrimento o traslape del metal depositado, ocurre debido al movimiento defectuoso del electrodo e incorrecto ángulo de ataque del electrodo.



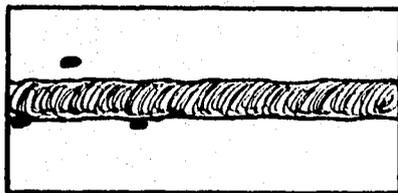
Socavado. Son ocasionados por una excesiva corriente eléctrica de soldadura.



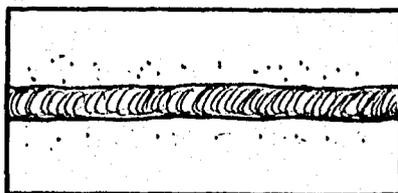
Penetración excesiva. Puede ser ocasionado por una lenta velocidad de depósito.



Concavidad en la raiz. Es ocasionada por una corriente eléctrica muy alta y a una rápida velocidad de avance.



Golpes o huellas en el metal base. Es provocado por la rozadura del electrodo con el metal base fuera de la zona de soldadura o por apagar intempestivamente el arco.



Salpicaduras, pueden ser ocasionadas por un deficiente procedimiento de soldadura, y/o por una corriente eléctrica muy alta.

### 3.2 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.

Cuando se realizan ensambles de maquinaria o de equipos de alta tecnología y que requieren que sus uniones sean muy precisas y de calidad, es conveniente inspeccionar estas uniones para tener la seguridad de que cumplen al 100% con las exigencias del diseño, en cuanto a requerimientos se refiere.

Los métodos de inspección se dividen en dos grandes grupos, los cuales son:

- ENSAYOS DESTRUCTIVOS (ED).
- ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END).

Los ensayos destructivos (ED) involucran el daño del material y la destrucción de la probeta, por lo tanto se puede decir que son la aplicación de métodos físicos directos que alteran de forma permanente las propiedades físicas, mecánicas, químicas y/o dimensionales de un material, parte o componente sujeto a inspección.

Los ensayos no destructivos (END) son la aplicación de métodos físicos indirectos, como la transmisión del sonido, opacidad al paso de radiación, etc., y tienen la finalidad de verificar la calidad de las piezas examinadas, por lo tanto, se puede decir que no buscan determinar propiedades físicas de piezas, sino, verificar su homogeneidad y continuidad.

No alteran las propiedades físicas, mecánicas, químicas y/o dimensionales en forma permanente en los especímenes que son inspeccionados.

En la tabla 3.1 se presenta la clasificación general de los END, la mayoría de éstos se utiliza para inspeccionar la calidad de uniones soldadas.

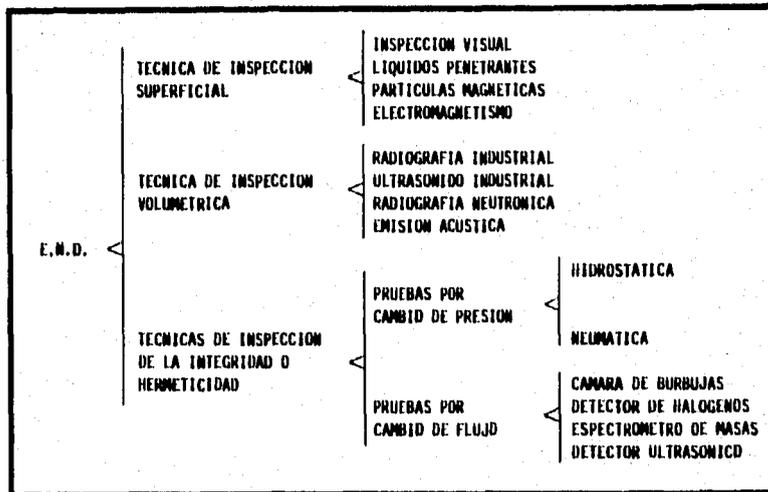


Tabla 3.1 CLASIFICACION GENERAL DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. (13)

En la técnica de inspección superficial sólo se pueden detectar discontinuidades que se encuentran en la superficie, abiertas a ésta o a profundidades de 3 milímetros o menos.

La técnica de inspección volumétrica permite conocer la integridad de un material en todo su espesor y en su caso, detectar discontinuidades que no son visibles en la superficie de la pieza.

Por medio de las técnicas de inspección de la integridad o hermeticidad, se comprueba la capacidad de un recipiente para contener un fluido a una presión determinada, sin que existan pérdidas de presión o volumen.

Sin embargo, en México la tecnología de los END no se ha desarrollado en gran medida, por tal motivo, para la inspección de uniones soldadas de acero inoxidable se recurre a la radiografía o al ultrasonido, pero también se utilizan el método de líquidos penetrantes y la inspección visual.

Debido a que la soldadura es un proceso ampliamente utilizado

para formar partes íntegras y continuas de maquinaria o equipos, se requiere que los cordones hechos estén libres de defectos, o en su caso contengan el mínimo grado de defectos permisibles. (14)

Para garantizar que la unión está libre de defectos se hace indispensable la utilización de los END, los cuales nos permiten seguir utilizando las partes inspeccionadas después de la prueba.

La importancia de estos ensayos radica en el hecho de que se pueden inspeccionar hasta el 100% de la pieza, sin alterar su estado físico.

Las técnicas de inspección superficial utilizadas para detectar defectos o discontinuidades en las soldaduras de aceros inoxidable son: A) Inspección Visual, y; B) Líquidos penetrantes.

### 3.2.1 INSPECCION VISUAL.

La inspección visual es el END más económico, sin embargo, se requiere que la persona que lo lleve a cabo esté ampliamente capacitado en base a la preparación y la experiencia para interpretar lo que observa. El inspector puede ayudarse de lupas con aumentos del orden de 5X y 10X, de sistemas de interferencia cromática sobre una superficie reflejante y patrones cromáticos, escantillones o patrones de soldaduras de filete o ranura y de endoscopios, los cuales pueden ser rígidos, flexibles o remotos, y permiten observar piezas complejas desde su interior. Esta inspección se debe llevar antes, durante o después del proceso de soldadura, esto con el fin de detectar fallas en el proceso o defectos de forma oportuna.

Una inspección visual comprende aspectos como: A) Dimensiones, tamaño y contorno del cordón; B) Apariencia del cordón de soldadura, y; C) Grietas, porosidad, traslape, socavado, crateres, coronas altas, etc.

Antes de la soldadura un inspector debe checar que estén dentro de especificación los siguientes cuatro aspectos:

- 1.-Preparación, dimensión y acabado superficial de las uniones.
- 2.-Dimensiones de los respaldos.
- 3.-Alineamiento y fijación de las piezas que serán soldadas.
- 4.-Verificar la limpieza de la junta.

Durante el proceso de soldadura debe checar los detalles del trabajo que se está realizando, teniendo en cuenta:

- 1.-Proceso de soldadura y sus características.
- 2.-Metal de aporte.
- 3.-Fundente o gas de protección.
- 4.-Precalentamiento o temperatura de interpasos.
- 5.-Control de la distorsión.
- 6.-Esmerilado o limpieza de interpasos.
- 7.-Intervalos de inspección.

Los aspectos que deben cuidarse una vez que un depósito de soldadura ha sido realizado son:

- 1.-Dimensión exacta del depósito.
- 2.-Conformidad respecto a los requerimientos del diseño presentado en planos de fabricación.
- 3.-Conformidad en cuanto a apariencia se refiere.
- 4.-Presencia de crateres, marcas, socavados, traslapes y grietas.
- 5.-Evidencia de excesivo esmerilado.
- 6.-Tratamiento térmico postsoldadura, tiempo y temperatura.

Es importante establecer el lugar exacto donde se requiere llevar a cabo reparaciones, estas marcas deben ser claras, con algún color que no se confunda con otro tipo de marcas, y se debe realizar una nueva inspección en el lugar donde se realizaron reparaciones.

### 3.2.2 INSPECCION POR LIQUIDOS PENETRANTES.

Este ensayo se utiliza para localizar discontinuidades superficiales, pero que no son visibles a simple vista. Esto se logra con ayuda de líquidos que penetran en las grietas o poros por capilaridad, se remueve el exceso y se aplica un revelador, el cual absorbe el líquido penetrante atrapado en las grietas mostrando así la indicación de una discontinuidad.

Este ensayo se lleva a cabo en seis pasos, los cuales son:

**1.-PRELIMPIEZA.** Esta se puede realizar ya sea por medios mecánicos o químicos, el objetivo es remover grasa, aceite, polvo, escoria, cascarilla, pintura, recubrimiento, etc., y así permitir la fácil entrada de penetrante a la discontinuidad.

Normalmente se utiliza un limpiador en aerosol tantas veces como sea necesario. <sup>(8)</sup>

También se pueden utilizar detergentes, desengrasadores de vapor, limpieza ultrasónica, o simplemente utilizar acetona, en caso de penetrantes solubles en agua.

**2.-APLICACION DEL PENETRANTE.** Se puede aplicar por medio de rociado en aerosol, con brocha o en inmersión, siempre y cuando se cubra totalmente la superficie a inspeccionar. El penetrante se deja por 2 a 5 minutos <sup>(8)</sup>, o de 45 a 54 minutos de acuerdo al tamaño de la pieza, además de utilizar un penetrante soluble en agua para superficies rugosa como uniones soldadas, removible con solvente para superficies tersas y un penetrante posemulsificable para lograr una gran sensibilidad. <sup>(13)</sup>

El código ASME referente a Calderas y Recipientes a Presión Sección V indica que el tiempo de penetración debe ser de mínimo 10 y máximo 30 minutos.

La eliminación del exceso de penetrante se realiza de acuerdo a las especificaciones. Se debe tener cuidado con los líquidos penetrantes, ya que cuando contienen compuestos halogenados como fluor, cloro o azufre afectan a los aceros inoxidables. <sup>(8)(14)</sup>

**3.-LIMPIEZA DEL PENETRANTE.** Después que se ha cumplido el tiempo estimado para la penetración, se procede a eliminar el exceso de penetrante. Cuando se utilizan penetrantes removibles con agua, la limpieza se hace con un trapo húmedo que no deje pelusa, se utiliza húmedo en solvente cuando el penetrante es removible con solvente, se debe tener cuidado de no saturar con líquido (agua o solvente) la zona inspeccionada ya que se podrían alterar los resultados al salir el penetrante de las discontinuidades.

También se pueden utilizar líquidos penetrantes fluorescentes y revelar la discontinuidad con una fuente de luz ultravioleta.

**4.-APLICACION DEL REVELADOR.** El revelador se aplica sobre la superficie, actúa como un secador y extrae de la falla al penetrante. Debido a que el revelador es generalmente blanco y el penetrante rojo, se localizan fácilmente las discontinuidades, cuanto más pequeñas sean éstas, más tardan en aparecer, pero generalmente tardan un poco más de la mitad del tiempo de penetración. Los reveladores pueden ser: secos; fluorescentes, y; en suspensión acuosa o no acuosa.

Se debe tener cuidado al aplicar el revelador, ya que cuando se aplica en exceso, éste tiende a taponar discontinuidades. Se recomienda aplicar una capa delgada, casi transparente de revelador, el cual es suficiente.

**5.-INTERPRETACION DE RESULTADOS.** El penetrante sólo puede indicar discontinuidades superficiales, pero algún remanente del penetrante puede ser causa de una indicación irrelevante, por tal motivo las indicaciones han sido divididas en tres grupos.

A) INDICACIONES FALSAS. Pueden ser ocasionadas por residuos de penetrante en las manos del operador, contaminación del revelador, marcas de herramientas, pelusas, polvo, etc. Estas indicaciones son consideradas como falsas ya que no tienen que ver con el proceso de inspección.

B) INDICACIONES IRRELEVANTES. Pueden o no ser indicaciones reales, pero el inspector determina que de ninguna manera pueden afectar las propiedades del metal inspeccionado, por tal motivo suelen ser irrelevantes, sin embargo deben ser cuidadosamente inspeccionadas ya que pueden interferir con la correcta interpretación.

C) INDICACIONES REALES. Son ocasionadas por una discontinuidad, se debe evaluar su posible causa y el efecto que ésta le podría ocasionar al equipo en servicio, si se considera que puede afectar, se procede a reparar.

De acuerdo al criterio de aceptación de ASME Sección VIII, se considera que el tamaño de la mancha del sangrado que aparece después de aplicar el revelador es tres veces mayor que la profundidad de la indicación, ya sea grieta, poro, etc. También considera que una indicación redonda es aquella en la que su ancho es igual o tres veces menor a su largo.

6.-POSTLIMPIEZA O LIMPIEZA FINAL. La postlimpieza es muy similar a la prelimpieza, su objetivo es eliminar los residuos tanto de penetrante como de revelador que hayan quedado en la superficie inspeccionada, esta limpieza final se hace con el fin de que la pieza continúe con su proceso de producción.

La postlimpieza se debe realizar solamente cuando ha sido inspeccionada una pieza o componente y no se han encontrado discontinuidades, o cuando ya se hayan reparado.

En la siguiente figura se muestra un diagrama que muestra la secuencia que se sigue en la inspección por líquidos penetrantes, por los métodos de penetrante removible en agua, penetrante posemulsificable y removible con solventes.

En la página 96 se presentan los diferentes tipos de indicaciones que se pueden encontrar en una inspección con líquidos penetrantes.

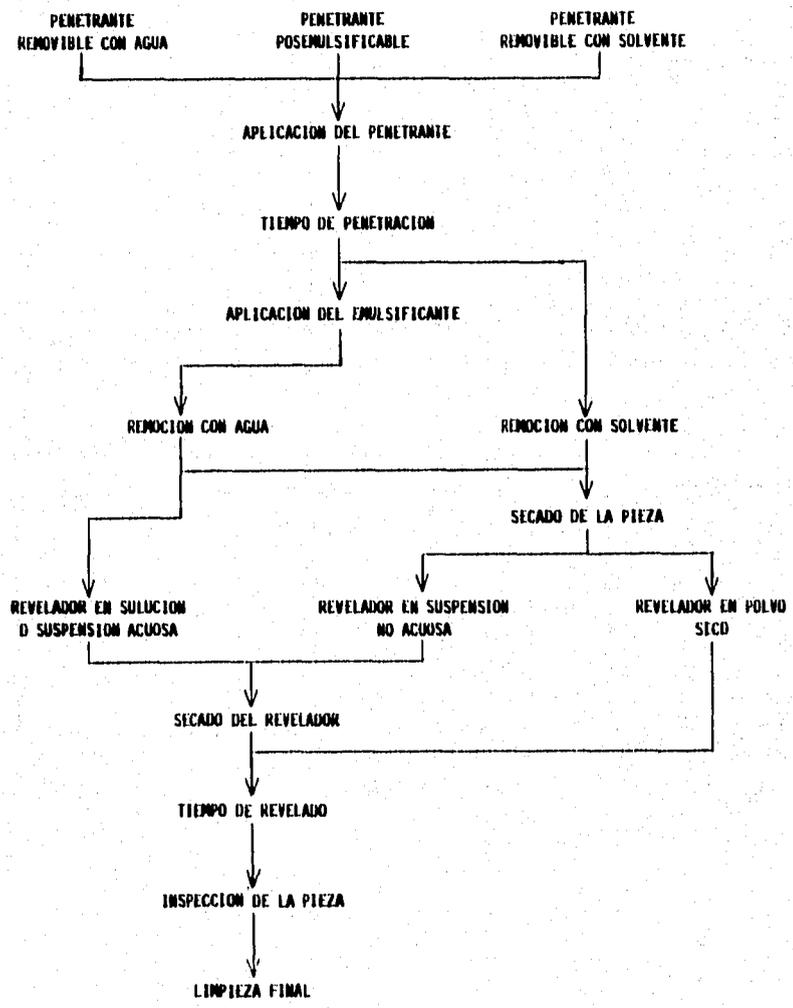
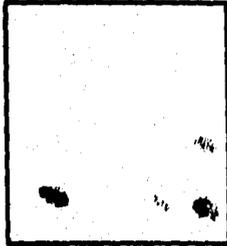
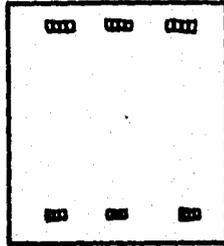


Fig. 3.5 DIAGRAMA DE BLOQUES PARA INSPECCION POR LIQUIDOS PENETRANTES.

INDICACIONES FALSAS.



HUELLA DE LOS DEDOS  
DEL OPERADOR.

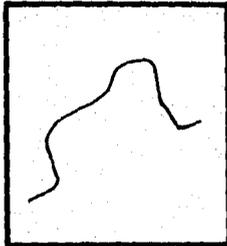


HUELLA DE ELEMENTOS DE  
SUJECION.

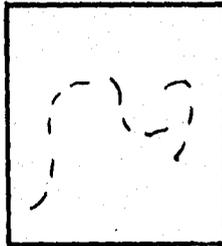


INDICACIONES DE POLVO  
Y PELUSAS.

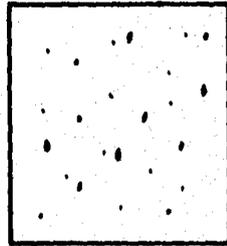
INDICACIONES REALES.



INDICACION CON LINEA  
CONTINUA.



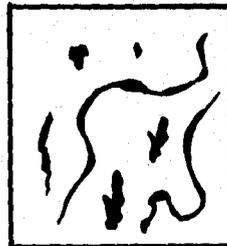
INDICACION INTERMITENTE  
O DE LINEA QUEBRADA.



INDICACIONES PUNUALES  
Y REDONDAS.



INDICACIONES DEBILES.



INDICACIONES GRUESAS.

### 3.2.3 INSPECCION RADIOGRAFICA.

La inspección radiográfica es un END empleado para detectar discontinuidades macroscópicas y variaciones en la estructura interna, además es muy útil para verificar la confiabilidad de uniones soldadas de calentadores, recipientes sujetos a presión, turbinas, etc.

Este END se basa en la absorción de energía radiante de los metales, la cual es capaz de penetrar materiales sólidos. Cuando la radiación pasa a través de una placa metálica en buen estado, se registra una imagen fotográfica homogénea, por el contrario, si se presenta una placa soldada con algún tipo de defecto, se obtendrá una imagen no homogénea, debido a la desigual absorción en la zona con defectos y en la zona soldada.

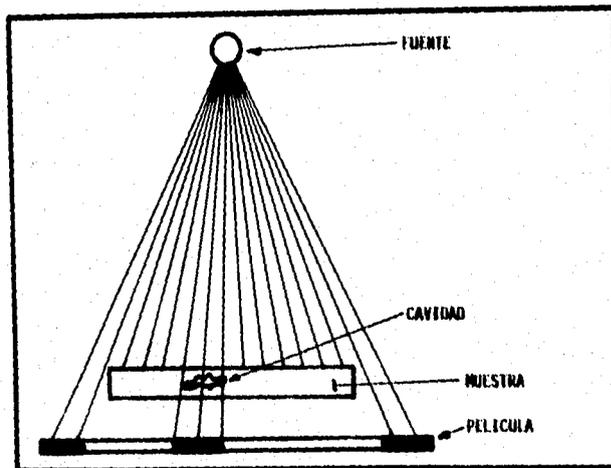


Fig. 3.6 EXPOSICION A LA RADIACION DE LA MUESTRA Y LA PELICULA RADIOGRAFICA.

Con la inspección radiográfica se pueden detectar defectos internos en la soldadura de aceros inoxidable, tales como grietas, socavados, penetración incompleta en la raíz, falta de fusión, etc.

Durante la exposición radiográfica, la energía radiante es atenuada al atravesar un material, esta atenuación es proporcional a la densidad, espesor y configuración del metal inspeccionado, por tal motivo las radiografías presentan una diversidad de tonalidades entre oscuros y claros.

Para las radiografías se utilizan dos tipos de radiaciones, las cuales son:

- RAYOS X.
- RAYOS GAMMA.

Los rayos X fueron descubiertos por el físico alemán Roentgen, y desde entonces se utiliza con fines industriales. Son generados por un alto potencial eléctrico, del orden de 150 KV a 1000 KV, según Gonzalez<sup>(14)</sup>, y de 50 KV a 4000 KV según Briseño<sup>(15)</sup>.

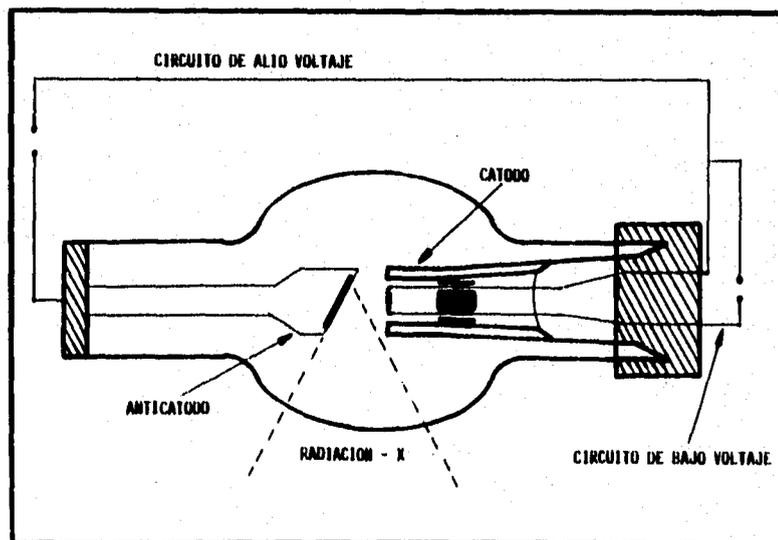


Fig. 3.7 ELEMENTOS CONSTITUYENTES DE LA FUENTE PRINCIPAL PARA INSPECCION RADIOGRAFICA POR MEDIO DE RAYOS X.

Quando es energizado el tubo eléctrico de alto voltaje, que es el dispositivo de rayos X, un haz de electrones generado por el cátodo, impacta sobre el ánodo, provocando la emisión de rayos X en todas direcciones, una capa de blindaje alrededor del tubo absorbe los rayos, excepto aquellos que escapan a través de un orificio, los cuales inciden sobre la película para que, de esta forma producir un registro radiográfico, (fig. 3.7).

Respecto a las Gammagrafías se utilizan fuentes radioactivas que emiten radiaciones gamma. La USNRC (Comisión Reguladora de Energía Nuclear de Estados Unidos) regula las normas de almacenamiento y manejo de radioisotopos bajo control.

Las fuentes radioactivas utilizadas son:

**RADIO.** Es una sustancia radioactiva natural que tiene una vida media de aproximadamente 1600 años. El radio por sí solo no produce rayos gamma, pero al descomponerse produce radón, el cual es un gas radioactivo con una vida media de cuatro días, pero la desintegración de radón es la que provoca la emisión de rayos gamma útiles para la radiografía.

**COBALTO 60.** Es un isótopo artificial creado por bombardeo de neutrones de cobalto. Tiene una vida media de 5.3 años. El radioisótopo se obtiene en píldoras encapsuladas de diferentes tamaños, es usado para radiografiar acero, cobre y metales con espesores de 1 a 8 pulgadas. Debido a su radiación penetrante requiere de protecciones gruesas, lo cual hace difícil su manejo.

**IRIDIO 192.** Es un isótopo artificial producido por bombardeo de neutrones, tiene una vida media de aproximadamente 75 días. Es utilizado para radiografiar aceros y metales similares de entre 0.25 y 3.00 pulgadas. Es un manejable y el radioisótopo se puede obtener en forma de píldora encapsulada.

**TALIO 170.** Se obtiene por bombardeo de neutrones de talio, tiene

una vida media de aproximadamente 30 días. Es capaz de producir buenas radiografías con aceros de menos de 1/2 pulgada de espesor. Debido a su suave onda de radiación se puede almacenar y manejar en pequeñas unidades.

Estas fuentes radioactivas se almacenan en contenedores de isotopos, los cuales se manejan a distancia en tres estaciones, que son: 1) Stored (almacenado); 2) Open (abierto), y; 3) On (en funcionamiento), (fig. 3.8).

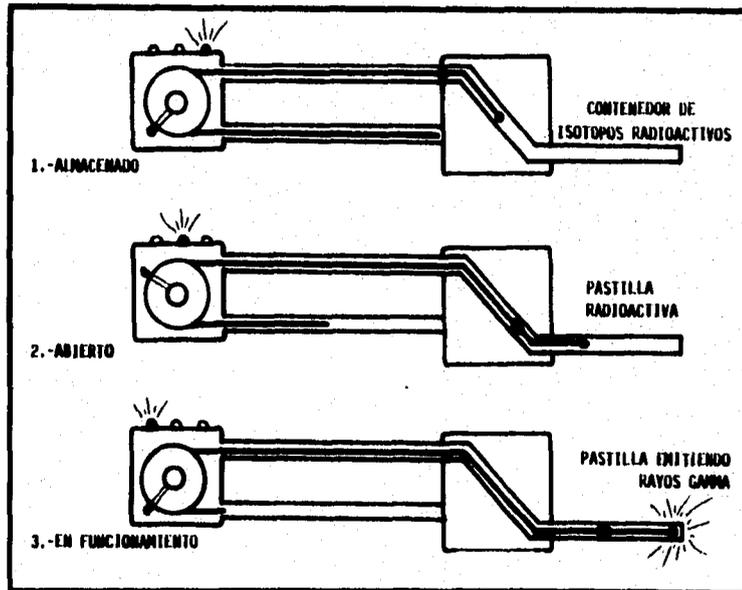


Fig. 3.8 CONTENEDOR DE ISOTOPOS RADIOACTIVOS.

La calidad de la inspección radiográfica se determina por las siguientes variables:

- a) Calidad de las radiografías.
- b) Calidad de interpretación.

- c) Evaluación de resultados.
- d) Criterio de aceptación o rechazo.
- e) Identificación exacta de los componentes examinados.
- f) Presentación clara de reportes.

En general estas variables se adquieren a través de la experiencia y de conocimientos certificados de los inspectores que evalúan los resultados, por sociedades como ASME, API, ANSI, AWS, ASTM, etc., las cuales regulan la inspección radiográfica, entre otros.

Para llevar a cabo un ensayo radiográfico, se siguen dos reglas fundamentales que son:

- 1.-Efectuar la exposición con la mínima distancia fuente-película, para obtener una excelente calidad.
- 2.-El haz de radiación debe encontrarse lo más perpendicular posible a la película, mientras que ésta debe estar lo más cerca y paralela posible al cordón de soldadura que será inspeccionado.

El tiempo de exposición para inspección por radiografía industrial de aceros inoxidables depende de:

- A) Espesor del metal a inspeccionar.
- B) Tipo de película.
- C) Distancia entre la fuente de radiación y la película.
- D) Voltaje, en caso de rayos X, o radioactividad de la celda en caso de rayos gamma.

Cuando se efectúan inspecciones en uniones de tuberías o cuerpos redondos de gran diámetro y fácil acceso al interior, se realizan como se muestra a continuación, (fig. 3.9).

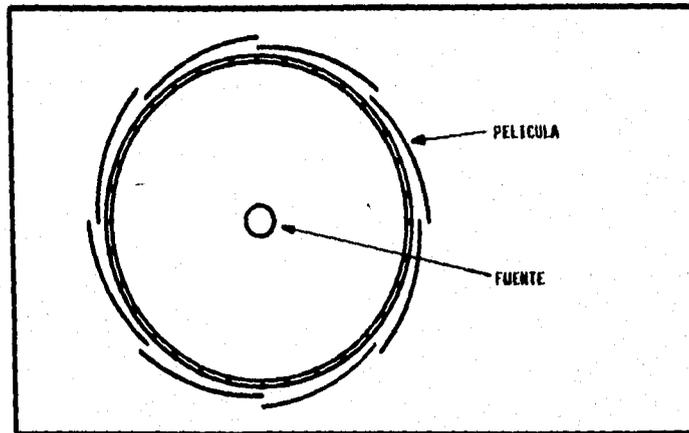


Fig. 3.9 DISPOSICIÓN DE ELEMENTOS PARA RADIOGRAFIA DE TUBERIAS DE DIAMETRO GRANDE.

Cuando la tubería es de menor diámetro, pero si se tiene acceso, se realiza con la fuente en el interior, (fig. 3.10).

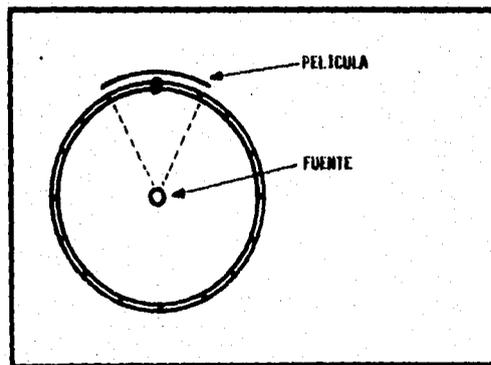


Fig. 3.10 DISPOSICIÓN DE ELEMENTOS PARA RADIOGRAFIA DE DIAMETRO PEQUEÑO, DE TUBERIAS.

En cambio cuando el diámetro es muy pequeño y no se tiene acceso al interior, se lleva a cabo la inspección como se muestra en la siguiente figura.

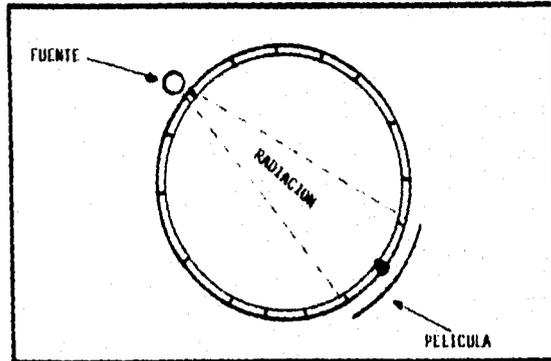


Fig. 3.11 DISPOSICION DE ELEMENTOS PARA RADIOGRAFIA DE TUBERIAS DE DIAMETRO MUY PEQUEÑO.

En las inspecciones de soldaduras de filete en placas planas se puede proceder como se muestra en la siguiente figura, con objeto de lograr una inspección de calidad.

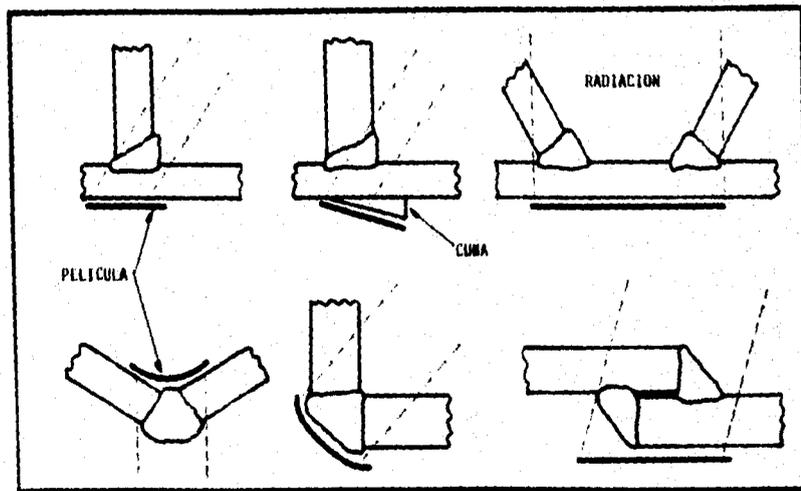


Fig. 3.12 DISPOSICION DE LA PELICULA PARA INSPECCION RADIOGRAFICA DE FILETES.

Algunas limitaciones de la inspección radiográfica de las soldadura son:

- 1.-Costo elevado del equipo.
- 2.-Requiere amplias instalaciones y areas de trabajo.
- 3.-Algunos defectos no pueden ser observados, como grietas perpendiculares al haz de radiación.
- 4.-Se requiere de personal altamente calificado y capacitado en aspectos como:
  - a) Transporte del equipo.
  - b) Toma de la radiografía.
  - c) Revelado.
  - d) Interpretación.
5. Preparación constante del personal tanto técnico como de seguridad. Ya que el mal manejo de este equipo puede provocar graves daños al ser humano, los cuales son generalmente irreversibles.

En la fig. 3.13 se muestran los elementos constituyentes de la fuente radioactiva para inspección radiográfica por rayos gamma.

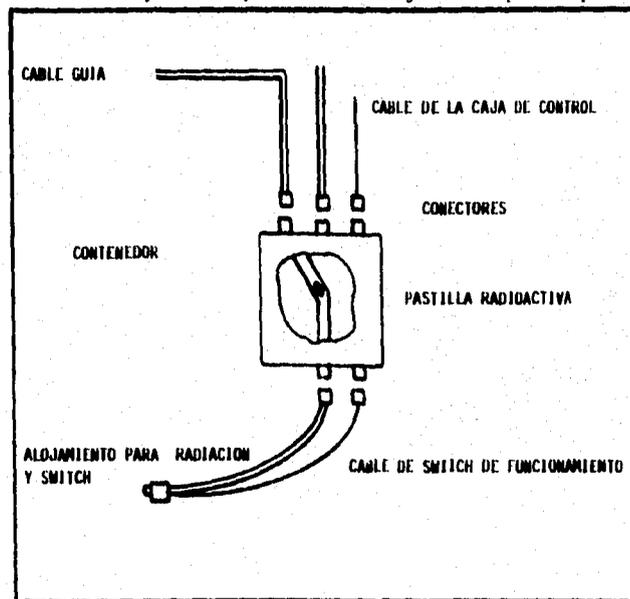
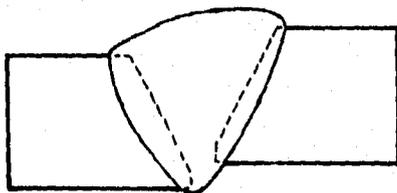


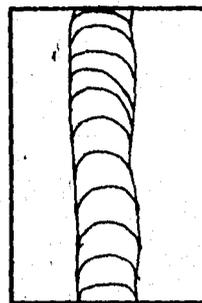
Fig. 3.13 DIAGRAMA DE ELEMENTOS PARA RADIOGRAFIA POR RAYOS GAMMA.

**"INTERPRETACION DE DEFECTOS DE SOLDADURA EN RADIOGRAFIAS"**

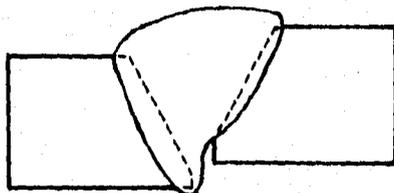
MAL ACOPLAMIENTO O DESCENTRAMIENTO (HI-LO)



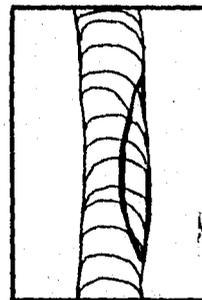
Cambio abrupto en la densidad de la película a través del ancho de la imagen.



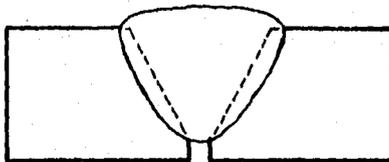
FALTA DE PENETRACION Y DESALINEAMIENTO (HI-LO)



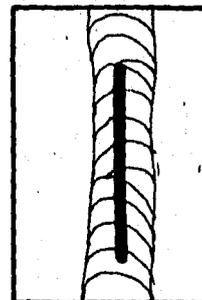
Cambio abrupto en la densidad a través del ancho de la imagen con una línea recta longitudinal de una densidad oscura en el centro y a lo largo del borde del cambio en densidad.



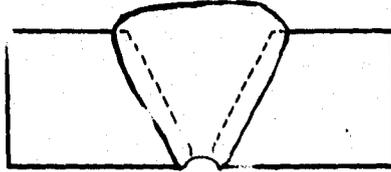
FALTA DE PENETRACION



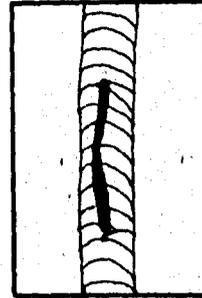
Una banda de densidad más oscura, con bordes paralelos muy rectos en el centro del ancho de la imagen.



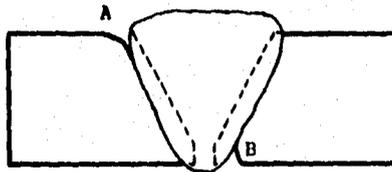
CONCAVIDAD INTERIOR O DE PRIMER CORDON



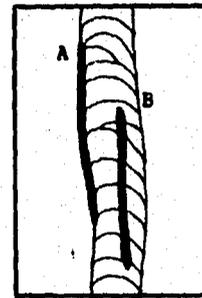
Una densidad irregular alargada y más oscura con bordes borrosos en el centro del ancho de la imagen.



SOCAVADO EXTERIOR E INTERIOR



Aparece una mancha oscura y alargada adyacente a: A) Al cordón de vista; B) Al cordón de fondo.



REFUERZO EXCESIVO O CORONA ALTA

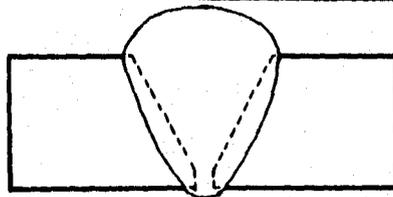
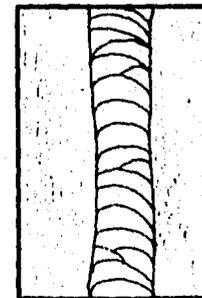
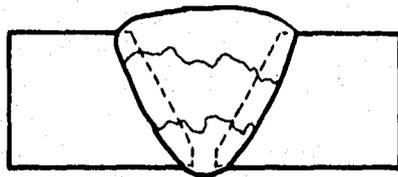


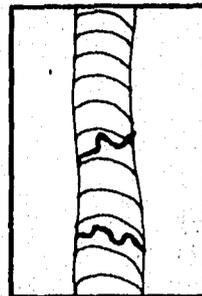
Imagen del depósito demasiado clara.



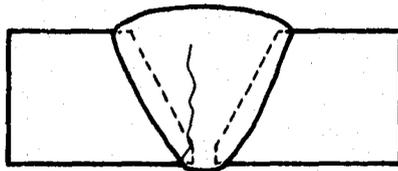
GRIETA TRANSVERSAL



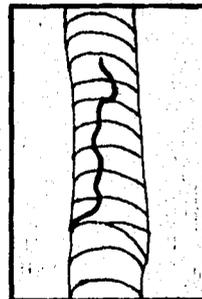
Línea retorcida y ondulada de una densidad más oscura a través de todo el ancho de la imagen.



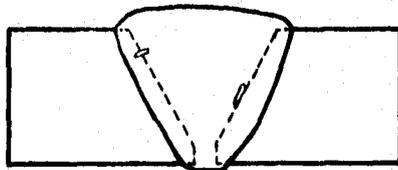
GRIETA LONGITUDINAL



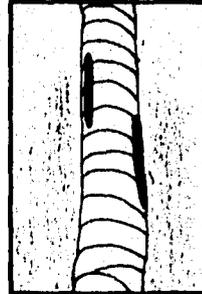
Líneas retorcidas y onduladas de una densidad más oscura en cualquier lugar a través del largo de la imagen.



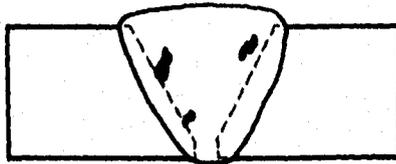
FALTA DE FUSION DE PARED



Líneas alargadas, paralelas o sencillas, de una densidad más oscura, a veces con puntos dispersos a lo largo de la línea de fusión, que es recta en dirección longitudinal y no curva como la línea alargada de escoria.



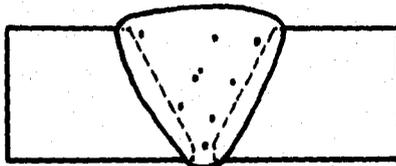
INCLUSIONES DE ESCORIA



Puntos de forma irregular y de una densidad más oscura, generalmente alargado y aleatoriamente espaciado.



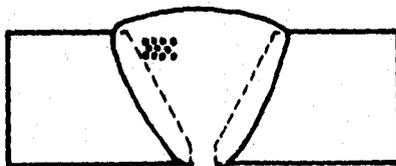
POROSIDAD DISPERSA



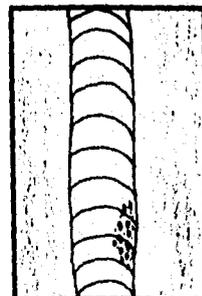
Puntos redondeados de densidades más oscuras, de tamaños diversos y distribución irregular.



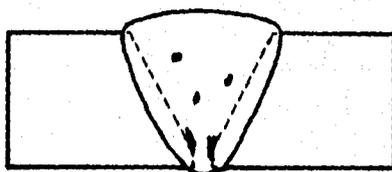
POROSIDAD AGRUPADA



Puntos redondeados o ligeramente alargados de una densidad más oscura, agrupados pero irregularmente espaciados.



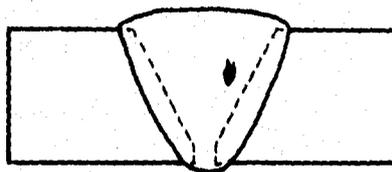
INCLUSIONES Y LINEAS DE ESCORIA



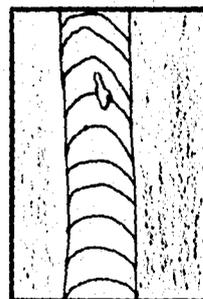
Líneas rectas alargadas, paralelas o sencillas de una densidad más oscura, de ancho irregular, con curvas en dirección longitudinal y pequeñas manchas oscuras de forma irregular.



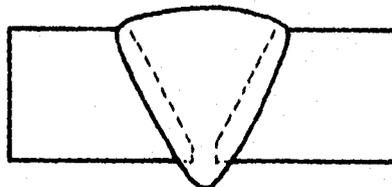
INCLUSION DE TUNGSTENO



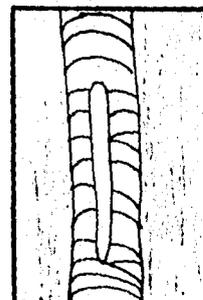
Puntos de forma irregular y de una densidad más baja, distribuidos aleatoriamente en la imagen de la soldadura.



PENETRACION EXCESIVA



Una densidad más clara en el centro del ancho de la imagen, ya sea extendida a lo largo de la soldadura o en gotas circulares aisladas.



#### 3.2.4 INSPECCION POR ULTRASONIDO.

La inspección ultrasónica es un método muy sensible que se utiliza para detectar, analizar y medir defectos superficiales e internos, tales como poros, grietas, inclusiones, etc., en uniones soldadas. En las páginas 115, 116 y 117 se muestran representaciones ultrasónicas de defectos de soldadura de aceros inoxidables.

En este método de inspección una discontinuidad o cambio de densidad actúa como reflector de las vibraciones de alta frecuencia que son propagadas a través del metal. Las ondas sonoras son emitidas por un cristal piezoeléctrico, el cual transforma la energía eléctrica en energía mecánica, mientras que un transceptor convierte la energía mecánica o vibraciones en pulsos eléctricos, capta las ondas y las manda al osciloscopio en forma de pulsos.

Este END se basa en la impedancia acústica de los materiales, es decir, la resistencia al paso de un haz ultrasónico, las frecuencias utilizadas son del orden de 0.5 a 25.0 Mhz. Debido a que las vibraciones son energía de movimiento, su transmisión se relaciona con las propiedades elásticas de un material, el cual puede ser metálico o no metálico.

La sensibilidad de un equipo de inspección ultrasónica se determina por el efecto piezoeléctrico del cristal contenido en el transductor o palpador (fig. 3.14), ya que mientras más energía eléctrica convierta en energía sónica, podrá detectar defectos más pequeños. Es decir, la sensibilidad será tal que podría detectar defectos que son considerados como microseparaciones.

Existen tres grupos de materiales piezoeléctricos utilizados en los palpadores ultrasónicos, éstos son: Cuarzo; Sulfato de litio, y; Cerámicos polarizados, tales como Titanato de bario, Metanobiato de plomo y Titanato zirconato de plomo.

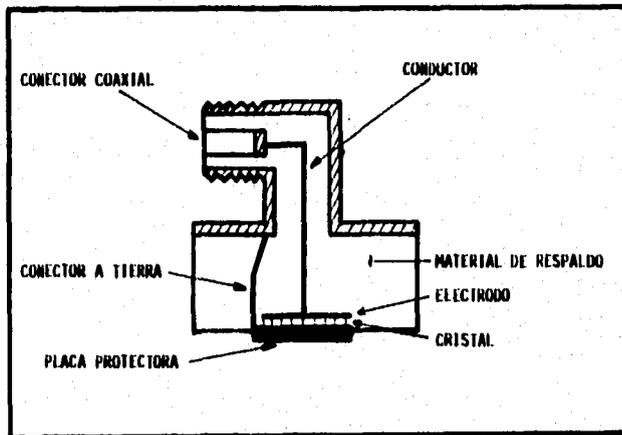


Fig. 3.14 PARTES CONSTITUTIVAS DE UN PALPADOR ULTRASONICO.

Los palpadores o transductores se pueden clasificar de la siguiente manera:

TRANSDUCTORES	DE INCIDENCIA NORMAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DE CRISTAL UNICO, EMISOR Y RECEPTOR, SIMPLE O RECTO.</li> <li>- DE DOBLE CRISTAL, EMISOR Y RECEPTOR O DUAL.</li> <li>- DE CRISTALES MULTIPLES.</li> <li>- PARA ALTAS TEMPERATURAS.</li> </ul>
	DE INCIDENCIA ANGULAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DE ONDAS TRANSVERSALES.</li> <li>- DE ONDAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES.</li> <li>- DE ONDAS DE SUPERFICIE.</li> <li>- DE ONDAS DE LAMB.</li> </ul>
	DE INMERSION	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PLANOS.</li> <li>- CONCAVOS.</li> </ul>
	ESPECIALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- SIN AMORTIGUAMIENTO.</li> <li>- SUPERAMORTIGUADOS.</li> <li>- PUNTUALES.</li> </ul>

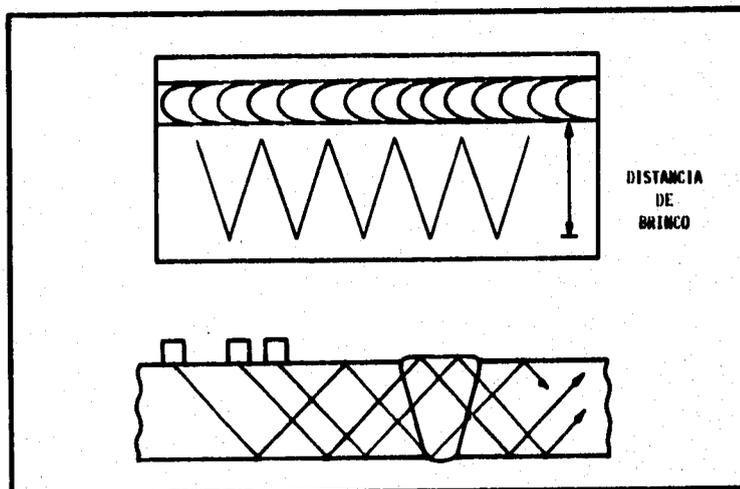
Fig. 3.15 CLASIFICACION GENERAL DE LOS TRANSDUCTORES. (13)

Las normas internacionales tales como ASME, ASTM, ANSI, API, etc., establecen que los requisitos mínimos que debe cumplir un equipo de inspección ultrasónica para lograr resultados altamente confiables son:

- 1.-Debe tener una capacidad de amplificación de 60 dB, es decir, amplificar la imagen hasta 1000 veces como mínimo.
- 2.-La pantalla debe tener una retícula graduada en valores no menores al 2% del total de la escala.
- 3.-La señal de fondo no deberá exceder el 20% del total de la escala vertical, cuando la ganancia esté al máximo de operación.

Durante el trayecto de las ondas ultrasónicas en el interior de la zona soldada o cordón, la intensidad de la energía sónica sufre una atenuación, la cual es proporcional a la distancia del recorrido. Para que el sonido se transmita de mejor manera, se debiera colocar un material llamado acoplante entre el palpador y el material a examinar. Este acoplante deberá ser inerte, de fácil remoción y debe formar una capa homogénea en la superficie de contacto del palpador con el material que será inspeccionado. Las normas que rigen el procedimiento de este END recomiendan el uso de gel de celulosa o glicerina, pero se puede utilizar agua, aceite, grasa o vaselina.

El movimiento del palpador sobre la superficie donde se encuentra la soldadura se tiene que realizar de tal modo que el haz ultrasónico barra todo el cordón. El palpador se colocará sobre el cordón, si esto no es posible, se colocará en el metal base utilizando un palpador de incidencia angular, siguiendo un movimiento de zig-zag y moviendo el palpador 20 grados de manera simultánea en forma longitudinal al cordón (fig. 3.16), y así tener la seguridad de que todo el cordón de soldadura ha sido inspeccionado y aumentar al máximo la posibilidad de inspeccionar al 100% el cordón de soldadura.



**Fig. 3.16** MOVIMIENTOS DEL TRANSDUCTOR PARA LA INSPECCION DE UN CONDON DE SOLDADURA AL T008.

Comúnmente se utilizan tres técnicas de inspección ultrasónica<sup>(10)</sup>, las cuales son:

#### 1. PULSO-ECO O REFLEXION.

Se genera un pulso ultrasónico y se transmite a través del material, cuando la onda choca con una falla se refleja y regresa al transductor.

En la pantalla del osciloscopio se puede medir el tiempo requerido para que el pulso viaje del transductor a la falla y de ésta al palpador.

Si se conoce la velocidad a la que viaja el pulso en el material (en los aceros inoxidables es de  $2.26 \times 10^5$  pulgadas por segundo aproximadamente), se puede determinar que tanto penetra la onda y así calcular la distancia por debajo de la superficie en que se ubica la falla, moviendo el palpador se puede determinar el tamaño de ésta.

## 2.-TRANSMISION.

En este método se genera un pulso ultrasónico en un transductor y se detecta en la superficie opuesta en un segundo transductor. Los pulsos inicial y transmitido se exhiben en un osciloscopio. La pérdida de energía entre el pulso inicial y transmitido depende de si existe o no una discontinuidad en el metal.

## 3.-RESONANCIA.

En este método se utiliza la naturaleza ondulatoria de una onda elástica. Se genera una continuidad de pulsos y viaja como una onda elástica a través del material. Seleccionando una longitud de onda o frecuencia de modo que el espesor del metal sea un número entero de medias ondas, se produce una onda elástica estacionaria y se refuerza en el metal. Una discontinuidad en el metal evita la resonancia.

Además de éstos existen otros métodos como son la técnica de inmersión y alta temperatura.<sup>(13)</sup>

Antes de que un equipo de ultrasonido sea utilizado se debe calibrar utilizando un bloque de referencia recomendado por la IIW (Instituto Internacional de la Soldadura) el cual se presenta en la siguiente figura.

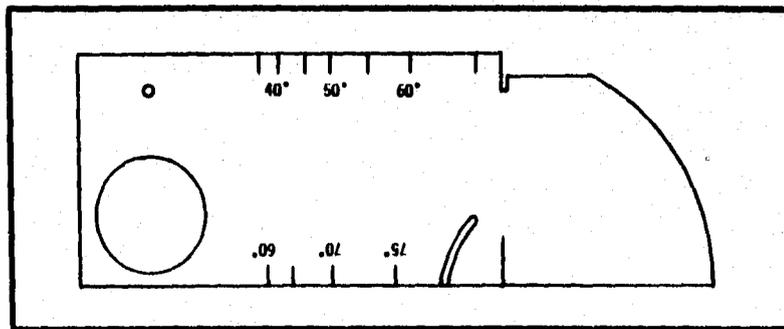
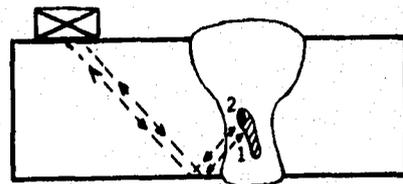
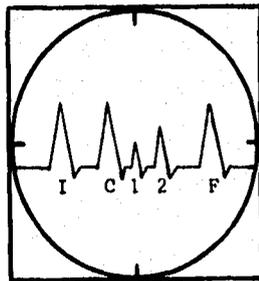


Fig. 3.17 BLOQUE DE REFERENCIA PARA CALIBRACION DE EQUIPOS DE ULTRASONIDO.

Para una mejor comprensión de las curvas mostradas en cada uno de los defectos de soldadura en el osciloscopio, se le agregan unas letras, las cuales identifican a:

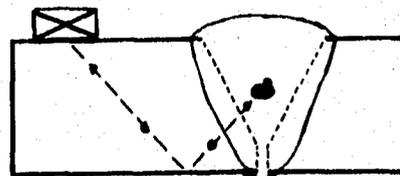
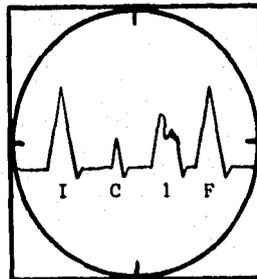
- I.-Pulso Inicial
- C.-Cordón de soldadura
- D.-Discontinuidad o defecto
- F.-Pulso final.

#### POROSIDAD Y ESCORIA



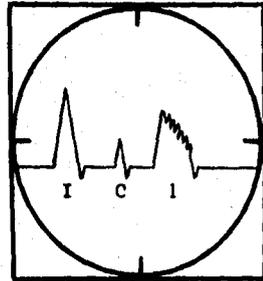
- 1.-Porosidad
- 2.-Escoria

#### INCLUSION DE ESCORIA

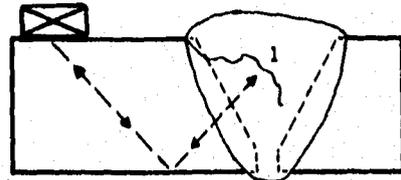


- 1.-Escoria

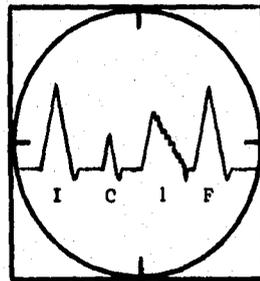
FISURA



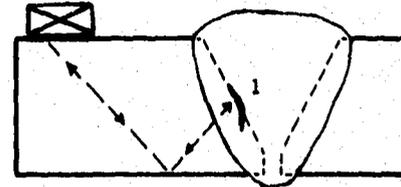
1.-Fisura



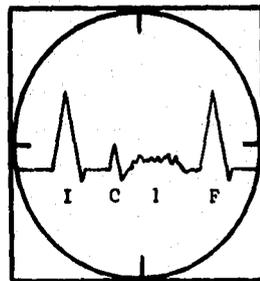
GRIETA



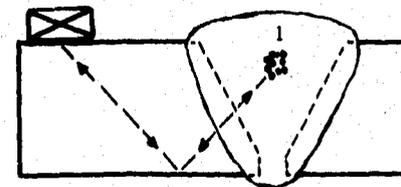
1.-Grieta



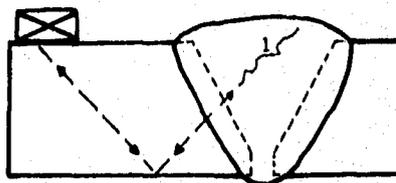
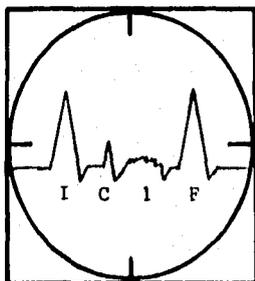
POROSIDAD AGRUPADA



1.-Porosida Agrupada

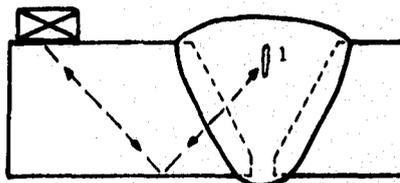
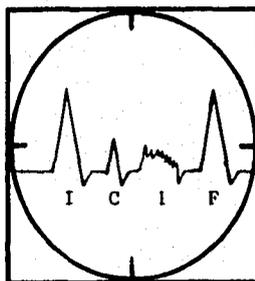


FISURA LONGITUDINAL AL HAZ



1.-Fisura

POROSIDAD TUBULAR



1.-Porosidad Tubular.

Estos END son los más comúnmente utilizados en México para la inspección de soldadura de Aceros Inoxidables, ya que tanto en el ensayo de corrientes parásitas o electromagnetismo, presentan ciertas desventajas cuando se pretenden examinar este tipo de aceros.

Los ensayos de Inspección visual, líquidos penetrantes, radiografía industrial y Ultrasonido, se complementan entre sí. Para realizar una detección de defectos de soldadura altamente confiables, lo cual es suficiente. Sin embargo, en países desarrollados tecnológicamente se utilizan otros ensayos como radiografía neutrónica, emisión acústica, etc.

### 3.3 MACROATAQUE Y SU IMPORTANCIA.

El macroataque es ampliamente utilizado, sobre todo cuando se estan llevando a cabo las pruebas destructivas en el desarrollo de calificación de un procedimiento de soldadura, ya que con éste se determinan las zonas de soldadura y ZAC en las probetas ya maquinadas y listas para el ensayo, y de esta forma conocer si la probeta de tensión rompe en soldadura (lo cual no es deseable) o en metal base, o también determinar en donde será el punto de aplicación de carga en caso de probetas de doblez guiado, y determinar en donde se hará la ranura para probetas de impacto, ya que la ranura puede ser en soldadura, en ZAC y en metal base.

El macroataque está baasado en los métodos convencionales de ataque químico, revela la estructura de una sección o muestra imperfecciones superficiales de una pieza, con ampliaciones de hasta 25X. Estas bajas ampliaciones permiten la examinación de regiones con superficies irregulares, ésto es producido por los reactivos de macroataque, los cuales son muy agresivos y permiten un ataque profundo.

La técnica de grabado de azufre se puede usar para revelar la distribución de inclusiones de sulfuro de manganeso (MnS) en aceros inoxidable, sin embargo, si el contenido de manganeso es bajo, el cromo lo sustituirá en los sulfuros y la densidad del grabado de esta técnica disminuye.

Algunos procedimientos de macroataque, los cuales se basan en la aplicación regular o modificada de reactivos de microataque, pueden usarse para observaciones de micro o macroestructuras.

Los detalles macroestructurales típicos revelados en el macroataque son variaciones en tamaño de grano, solidificación estructural, segregación, inclusiones, cavidades, porosidad, líneas de flujo y grietas.

El macroataque es también ampliamente usado para el control de calidad, análisis de falla en estructuras soldadas, tratamiento térmico, procesos de extrusión, de forja y también de fundición.

Debido a que el macroataque produce una amplia visión de estructuras bajo examinación no homogéneas, provee la información necesaria sobre la localización de secciones que serán usadas subsecuentemente para una investigación microestructural.

Generalmente, la muestra no requiere una preparación especial, ya que un pulido húmedo con lijas de carburo de silicio es suficiente, cuando se examinan imperfecciones superficiales el ataque se lleva a cabo directamente.

Para el estudio de macroestructuras soldadas, es común pulir la sección y utilizar un líquido de microataque para propósitos generales, o bien un reactivo para macroataque.

En la tabla siguiente se presentan los reactivos para macroataque de aceros inoxidables más utilizados.<sup>(4)</sup>

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1.-50 ml. de HCl, 10 gr. de CuSO<sub>4</sub> (Sulfato de Cobre), 50 ml. de agua destilada.<br/>Reactivo de Marble. Para macroataque de propósitos generales. puede ser calentado.</li><li>2.-50 ml. de HCl, 50 ml. de agua destilada, 20 ml. 30% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.<br/>Mezclar el HCl y el agua destilada, calentar a 70-75°C (160-170°F). Sumergir el espécimen y agregar el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> poco a poco, cuando termine de hacer espuma, no mezcle.</li><li>3.-(A) 75 gr. de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> (persulfato de amonio) y agregar 75 ml. de agua destilada.<br/>(B) 250 gr. de FeCl<sub>3</sub> y 100 ml. de agua destilada.<br/>(C) 30 ml. de HNO<sub>3</sub>.<br/>Reactivo para ataque no. 1 de Lepito. Combinar A y B, después agregar C; sumerja el espécimen a temperatura ambiente, usese fresco.</li><li>4.-Una parte de HCl y una parte de agua destilada.<br/>Reactivo estándar para ataque en caliente. Se usa a 70-80°C (160-180°F) por 15 a 45 minutos. Se sumerge en solución acuosa de HNO<sub>3</sub> al 20% para producir una superficie brillante.</li><li>5.-10-45 ml. de HNO<sub>3</sub>, 3-10 ml. de HF al 48%, 25-50ml. de agua destilada.<br/>Se usa a 70-80°C (160-180°F); se sumerge hasta obtener el grado de contraste deseado.</li><li>6.-50 ml. de HCl y 25 ml. de CuSO<sub>4</sub> saturado en agua destilada.<br/>Se usa a 75°C (170°F), se sumerge hasta obtener el grado de contraste deseado.</li></ol> |
|---|

Tabla 3.2 REACTIVOS PARA MACROATAQUE DE ACEROS INOXIDABLES.<sup>(4)</sup>

### **3.4 METALOGRAFIA Y SU IMPORTANCIA.**

Metalografía es la ciencia que estudia la relación entre la composición y estructura de los metales y aleaciones, así como las propiedades de los metales bajo sollicitaciones externas calóricas, químicas, mecánicas, electromagnéticas y radioactivas.

Para que un estudio metalografico mediante la microexaminación sea apropiado, se necesita seleccionar un espécimen, con él se hace una probeta, se pule y ataca para poner al descubierto su estructura la cual se observa y estudia mediante el microscopio. Esta estructura podría revelar algún tipo de defecto que provocaría la falla de la unión, o en su caso la seguridad de que esta unión soldada resistirá los esfuerzos físicos a que será sometida.

Los pasos que se siguen para llevar a cabo una microexaminación metalográfica son:

- 1.-Seccionado de la muestra.
- 2.-Montaje de la muestra.
- 3.-Desbaste.
- 4.-Pulido mecánico o electrolítico.
- 5.-Ataque.

**SECCIONADO DE LA MUESTRA.** El seccionado es muy importante en la preparación de muestras para análisis microscópico, ya que durante el seccionado la muestra puede sufrir una deformación debida al corte, la cual muchas veces puede ser eliminada mediante el pulido, pero debe evitarse al máximo, ya que si no es eliminada podría provocar una alteración en la microestructura y podemos adoptar conclusiones erroneas.

El seccionado de la muestra se puede realizar mediante fracturación, cizallamiento, aserrado, corte con rueda abrasiva, corte con alambre o con electrodescarga.

Cuando se requiere examinar aceros inoxidable son durezas de 35 Rockwell C o menos, se puede utilizar el aserrado. La deformación al momento del corte podría reducirse grandemente utilizando una rueda abrasiva para grados austeníticos, en cambio el cizallamiento se utiliza para seccionar grados ferríticos, pero se debe evitar para los grados austeníticos.<sup>(4)</sup>

**MONTAJE DE LA MUESTRA.** El tamaño de los montajes puede ser de 25 mm (1 plg), 32 mm (1.25 plg) ó 38 mm (1.5 plg) de diámetro. Después del seccionado se debe hacer una limpieza a la muestra, lo cual puede ser: A) Física, para remover polvo, grasa y otros desechos; B) Química, para quitar cualquier contaminante, o; C) Ultrasónica, para limpiar perfectamente y en menos tiempo.

Para preservar los bordes en una examinación superficial, se recomienda un montaje a compresión de resina epóxica. Cuando las muestras presentan fracturas superficiales, es preferible la técnica de impregnación al vacío, en este procedimiento, la resina epóxica se introduce en la fractura, minimizando el sangrado después del ataque químico. Este tipo de montaje se lleva a cabo sometiendo la muestra a vacío, el aire es removido de poros, grietas y fracturas, al momento de agregar la resina entra en el lugar del aire, después se saca de la cámara de vacío y se cura al medio ambiente.

Existen también otros medios o materiales para el montaje de muestras, como son resinas termoestables (Baquelita) y resinas termoplásticas como metil-metacrilato, polivinilo y cloruro de polivinilo.

**DESBASTE Y PULIDO MECANICO.** Este pulido se lleva a cabo utilizando lijas de carburo de silicio del 120, 240, 320, 400 y 600 sucesivamente, montadas en un plato giratorio, si se hace el pulido mecánico, la velocidad del plato será de 300 RPM aproximadamente, el tiempo de lijado será de 1 a 2 minutos entre pasos. Si el pulido es manual se deberá hacer una rotación de la muestra de 45 a 90 grados en cada paso.

Para un pulido final de calidad es recomendable utilizar abrasivos de 0.3 micras de alfa-alúmina o de 0.05 micras de gamma-alumina, también se puede utilizar el silice coloidal.<sup>(4)</sup>

**ELECTROPULIDO (PULIDO ELECTROLITICO).** Cuando un acero inoxidable va a ser electropulido y presenta una superficie rugosa, una capa viscosa adyacente a ésta es producida por la reacción entre el metal y el electrolito. Esta capa es conocida como película de pulido y tiene una más alta resistencia eléctrica que el resto de la solución electrolítica.

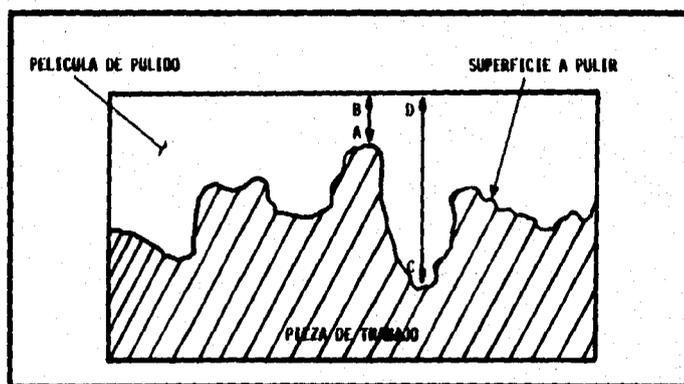


Fig. 3.18 MECANISMO DE PULIDO ELECTROLITICO.

En base a la figura 3.18 podemos observar que la resistencia del punto A representado por la distancia A-B, es menor que en el punto C, el cual está representado por la distancia C-D debido a que la película de pulido es más delgada en A-B. La corriente será más grande en A que en C, provocando que el metal se disuelva más rápidamente en A, eliminando las superficies más asperas de una micra.

Los grados austeníticos de aceros inoxidables son frecuentemente pulidos por medio del electropulido y muchas veces se hace después de utilizar la lija de carburo de silicio 600.

El electropulido produce un acabado de calidad y con superficies libres de deformación, incluso mucho mejores que por medios mecánicos.

Cuando las muestras son montadas en materiales plásticos, pueden ocurrir violentas reacciones entre éstos y algunos electrolitos. El fenol-formaldehído y las resinas acrílicas no deben ser usados en electrolitos que contengan ácido perclórico, ya que podrían explotar, sin embargo, el polietileno, poliestireno, resinas epóxi y el PVC pueden ser usados sin peligro alguno.

A continuación se presenta una tabla que indica el procedimiento para el electropulido de aceros inoxidables.

- 1.- 50 ml. de  $\text{HClO}_4$  (ácido perclórico), 750 ml. de etanol, 140 ml. de agua destilada.  
Agregar el  $\text{HClO}_4$  al final, con cuidado. Utilizar 8-20 volts CD,  $0.3-1.3 \text{ Amp/cm}^2$  ( $1.9-8.4 \text{ Amp/plg}^2$ ) a  $20^\circ\text{C}$  ( $70^\circ\text{F}$ ), de 20 a 60 segundos. Enjuagar inmediatamente después del electropulido.
- 2.- 78 ml. de  $\text{HClO}_4$ , 90 ml. de agua destilada, 730 ml. de etanol, 100 ml. de butil celulosa.  
Agregar el  $\text{HClO}_4$  al final y con cuidado. Utilizar  $0.5-1.5 \text{ Amp/cm}^2$  ( $3.2-9.7 \text{ Amp/plg}^2$ ), a  $20^\circ\text{C}$  ( $70^\circ\text{F}$ ) máximo.
- 3.- 62 ml. de  $\text{HClO}_4$ , 700 ml. de etanol, 100 ml. de butil celulosa, 137 ml. de agua destilada.  
Agregar el  $\text{HClO}_4$  al final, con cuidado. Utilizar  $1.2 \text{ Amp/cm}^2$  ( $7.7 \text{ Amp/plg}^2$ ), a  $20^\circ\text{C}$  ( $70^\circ\text{F}$ ), durante 20-25 segundos.
- 4.- 25 gr. de  $\text{CrO}_3$ , 133 ml. de ácido acético, 7 ml. de agua destilada.  
Utilizar 20 Volts CD,  $0.09-0.22 \text{ Amp/cm}^2$  ( $0.58-1.4 \text{ Amp/plg}^2$ ), a  $17-19^\circ\text{C}$  ( $63-66^\circ\text{F}$ ), durante 6 minutos, disolver el  $\text{CrO}_3$  en solución caliente a  $60-70^\circ\text{C}$  ( $140-160^\circ\text{F}$ ).
- 5.- 37 ml. de  $\text{H}_2\text{PO}_4$ , 56 ml. de glicerol, 7 ml. de agua destilada.  
Utilice  $0.78 \text{ Amp/cm}^2$  ( $5.0 \text{ Amp/plg}^2$ ), a  $100-120^\circ\text{C}$  ( $212-250^\circ\text{F}$ ), de 5 a 10 minutos.
- 6.- 6 ml. de  $\text{HClO}_4$  y 94 ml. de etanol.  
Utilice 35-40 Volts CD, a  $24^\circ\text{C}$  ( $75^\circ\text{F}$ ), durante 15-60 segundos.

Tabla 3.3 PROCEDIMIENTO PARA ELECTROPULIDO DE ACEROS INOXIDABLES. (4)

**ATAQUE.** El ataque es usado en la metalografía para revelar la microestructura de una muestra que será observada en el microscopio óptico o metalográfico. Para este propósito se utilizan técnicas como:

- 1) **ATAQUE NO DESTRUCTIVO.**
  - a) Ataque óptico.
  - b) Iluminación en campo oscuro.
  - c) Luz polarizada.
  - d) Contraste en fase.
  - e) Contraste de interferencia diferencial.
  
- 2) **ATAQUE DESTRUCTIVO.**
  - a) Ataque electroquímico.
  - b) Ataque físico.
  - c) Ataque magnético.

De éstos, el más utilizado es el ataque electroquímico, en el cual se revelan microestructuras bajo el microscopio a magnitudes de 25X y hasta 1500X.

Las técnicas de microataque muestran la forma, tamaño y disposición de los componentes estructurales, como fases, inclusiones y poros.

La utilización del microataque se hace indispensable cuando se quiere profundizar sobre la estructura resultante de los depósitos de soldadura, y así, detectar alguna fase indeseable como podría ser el exceso de delta-ferrita, también es ampliamente utilizado cuando se hacen soldaduras de revestimiento (Overlay) de aceros inoxidable sobre aceros al carbón, y de esta forma conocer el grado de dilución y sus componentes. Por tal motivo se puede decir que la microexaminación metalográfica es menos utilizada que el macroataque.

Los reactivos para microataque de aceros inoxidables se muestran en el anexo I página 153.

**CAPITULO CUATRO**

**" CALIFICACION DE LOS PROCEDIMIENTOS "**  
**DE SOLDADURA**

## CAPITULO CUATRO

### "CALIFICACION DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA"

Las propiedades mecánicas y metalúrgicas de una unión soldada pueden ser alteradas mediante la variación de los parámetros contenidos en una Especificación de Procedimiento de Soldadura, conocida como WPS (Welding Procedure Specification), seleccionado para la realización de determinadas uniones soldadas.

Una Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS) es un documento que contiene todas las variables que intervienen en un proceso de soldadura, como: Tipo de junta; Metal base; Metal de aporte; Características eléctricas; Gases de protección; etc., y que pueden determinar tanto la composición requerida del depósito como el éxito en la obtención de una unión soldada capaz de resistir los esfuerzos de servicio. Para que este WPS pueda ser utilizado en producción debe sujetarse a un proceso de calificación, el cual determinará si con ciertos parámetros la unión dará el resultado deseado, además se estará asegurando que la combinación de materiales y métodos será capaz de obtener buenos resultados.

Existen cuatro factores que se deben combinar para asegurar que la soldadura de producción sea satisfactoria, estos son:

- 1.-Calificación de procedimientos de soldadura.
- 2.-Calificación de soldadores y operadores para determinar su

habilidad al depositar soldaduras sanas.

3.-Supervisión adecuada.

4.-Apropiada inspección a los soldadores y procesos, antes, durante y después de completar cualquier unión soldada.

#### **4.1 PRECALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS.**

El empleo de una precalificación de procedimientos de soldadura está basado en la confiabilidad de ciertos procesos para ser aplicados de acuerdo a códigos o especificaciones. Estos procesos pueden ser SMAW, SAW, GMAW (excepto el modo de transferencia por corto circuito), Soldadura por electroescoria (ESW) y Soldadura por Electrodeos (EGW).

Pocas normas como la AWS D1.1 "Código de Soldadura Estructural", reconoce el concepto de precalificación para procedimientos de soldadura y ha establecido una técnica con la cual el fabricante puede utilizar un procedimiento llamado "Precalificación de Procedimiento de Uniones Soldadas", evitando el gasto de tiempo (en caso de urgencia) en el desarrollo de la calificación de un procedimiento de soldadura.

Los fabricantes pueden incorporar este procedimiento de precalificación en sus WPS's y utilizarlos en producción sin necesidad de una recalificación, esto de acuerdo al código AWS D1.1, este código es el único que permite el uso de precalificaciones de un procedimiento de soldadura en producción. Otros códigos como el ASME Sección IX requieren de una calificación individual para cada WPS antes de realizar cualquier soldadura de producción, además los procedimientos calificados no pueden ser transferidos de un fabricante a otro. En el Anexo 2 localizado en la página 157, se muestra el formato sugerido por la AWS llamado "Precalificación de Procedimientos para Uniones Soldadas" en la cual se vacía la información referente al proceso de soldadura que se va a emplear.

#### **4.2 DESARROLLO DE LA CALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS.**

El fin perseguido al llevar a cabo una calificación de procedimientos de soldadura es asegurar que las características deseadas en el depósito se obtengan con un WPS único para tal proceso (o procesos), tipo de material, tipo de junta y orden de trabajo específica. El cliente también debe aprobar el WPS que será empleado en la fabricación de su equipo.

Existen cinco pasos básicos para llevar a cabo la calificación de un procedimiento de soldadura, estos son:

- 1.-Preparación y soldado de muestras apropiadas (cupones).
- 2.-Ensayo de muestras representativas (probetas).
- 3.-Evaluación de los resultados de los ensayos.
- 4.-Posibles cambios en el procedimiento sujeto a calificación.
- 5.-Aprobación.

**1.-PREPARACION Y SOLDADO DE MUESTRAS APROPIADAS.** Los ensambles de placa o tubería con uniones soldadas representativas, de acuerdo a su futura aplicación, son normalmente usadas como especímenes muestra o cupones para los ensayos del proceso de calificación. El tamaño, tipo y espesor de los cupones son de acuerdo al espesor y tipo de material que será soldado en producción, así como el tipo, tamaño y número de muestras que serán utilizadas para los ensayos.

Los cupones son dos piezas de placa o tubería tomadas del mismo material que será utilizado en producción, tiene dimensiones mínimas de 3 por 5 pulgadas, en el lado mayor se les hace un bisel de 60 a 45 grados y se sueldan, al mismo tiempo el inspector (o inspectores) encargados de la calificación, anotan todos los parámetros relativos al proceso durante el periodo de calificación, para esto se recomienda utilizar el formato Registro de Calificación de Procedimiento, conocido como PQR (Procedure Qualification Record), el cual es sugerido por ASME "Calderas y Recipientes a Presión" sección IX, y que se encuentra en el anexo 3 página 158, Sin embargo los materiales utilizados y todos los detalles asociados con la

soldadura de cupones o muestras, deben hacerse de acuerdo a un solo WPS, el cual está siendo calificado.

**2.-ENSAYO DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS.** Usualmente los ensayos de uniones soldadas incluyen principalmente probetas de tensión y doblez guiado para determinar la resistencia, ductilidad y suficiente fusión. Si se trata de soldaduras de filete se necesitan especímenes para resistencia al cizallamiento y para macroataque. Las probetas son removidas del cupon de prueba para examinarlas y determinar sus propiedades mecánicas, el número de probetas removidas, así como los ensayos dependen de los requerimientos de su futura aplicación.

Existen ensayos adicionales que son establecidos por normas o documentos contractuales, ya sean de ASTM, ASME, AWS o API, y que son aplicables a necesidades específicas. Estos ensayos pueden ser:

- 1.-Pruebas de Impacto, el cual determina la ductilidad de la soldadura en la ZAC, para minimizar el riesgo de una fractura frágil a ciertas temperaturas. Se utiliza normalmente probetas del tipo Charpy-V.
- 2.-Pruebas de Dureza, para determinar un adecuado tratamiento térmico y la conveniencia de realizar dicho tratamiento para ciertas condiciones de servicio.
- 3.-Ensayos All-Weld-Metal, que se hace con probetas de tensión longitudinales al cordón y sirven para determinar las propiedades mecánicas del depósito de soldadura con la mínima influencia de la dilución con el metal base.
- 4.-Ensayos No Destructivos y especímenes para macro y micro-ataque para determinar que los cordones de soldadura sean aceptables y libres de defectos.

El orden en que las probetas son removidas del cupon de prueba para los ensayos de tensión y de doblez guiado se hace de acuerdo a lo que estipula el código ASME sección IX, este orden de remoción se presenta en las siguientes figuras.

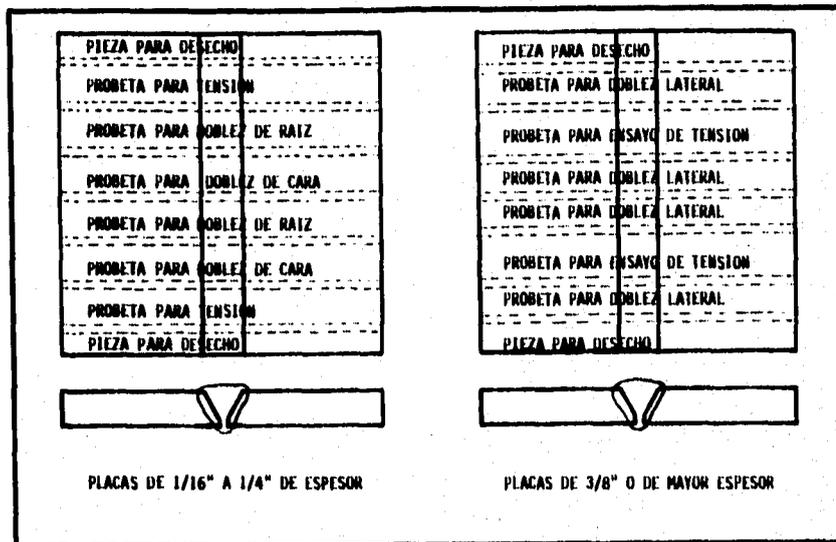


Fig. 4.1 ORDEN DE REMOCION Y DISTRIBUCION DE PROBETAS DE PLACA.

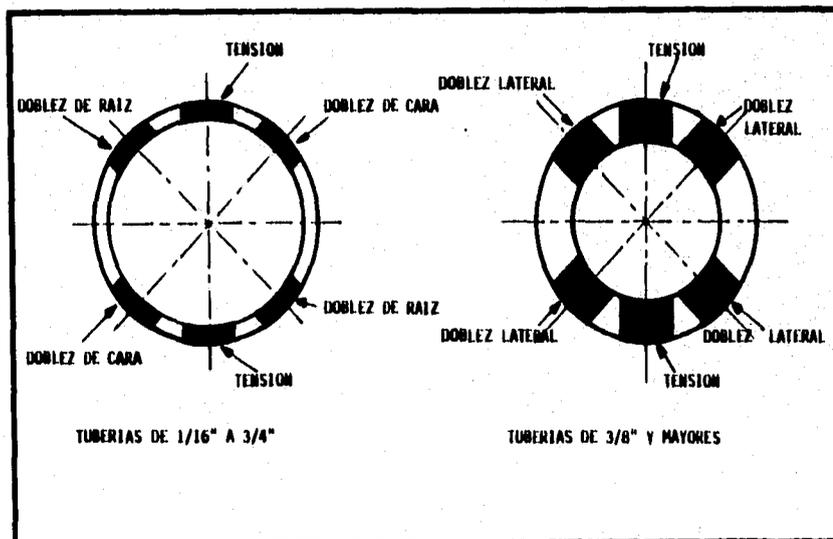


Fig. 4.2 ORDEN DE REMOCION Y DISTRIBUCION PARA PROBETAS DE TUBERIA.

Existen dos tipos de probetas de tensión, estas son redondas y rectangulares, ambas con sección reducida, sus dimensiones se presentan en las siguientes figuras.

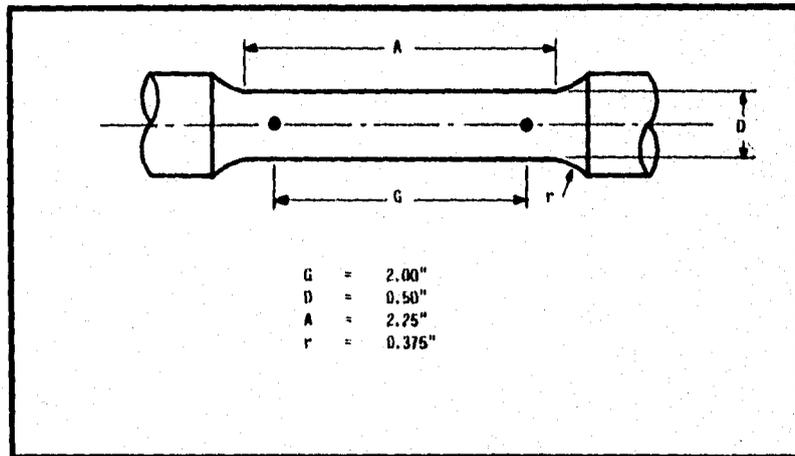


Fig. 4.3 PROBETA REDONDA PARA ENSAYOS DE TENSION.

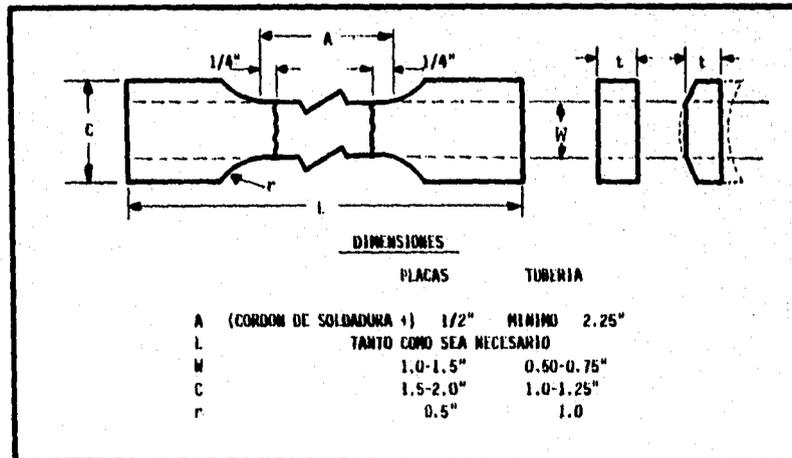


Fig. 4.4 PROBETA RECTANGULAR PARA ENSAYOS DE TENSION.

Para las probetas de doblado guiado existen tres tipos de probetas que son de doblado de raíz, de cara y lateral, cuyas dimensiones se muestran en la siguiente figura.

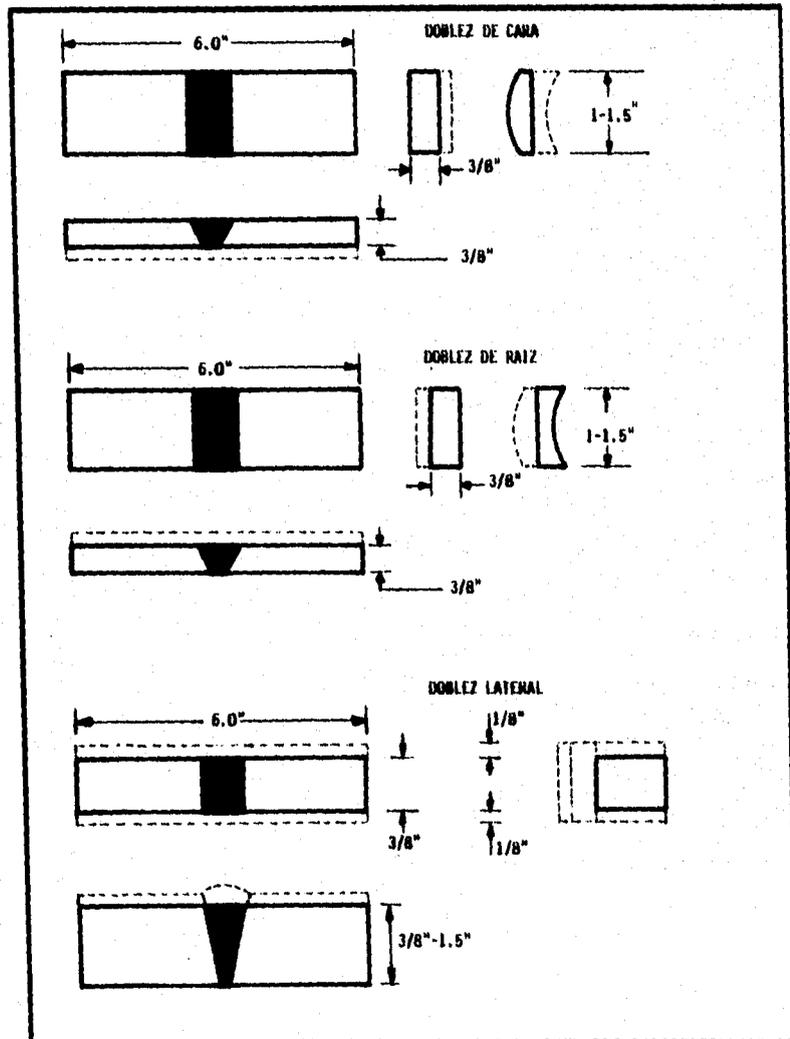


Fig. 4.5 DIMENSIONES DE PROBETAS DE DOBLADO GUIADO.

La prueba de impacto tipo charpy utiliza probetas ranuradas en V, cuyas dimensiones y localización en el cupon de prueba se muestran en la siguiente figura.

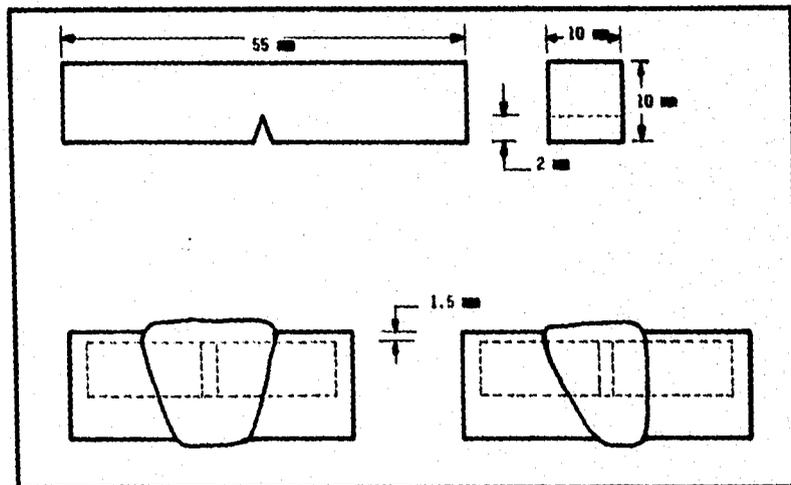


Fig. 4.6 DIMENSIONES DE PROBETAS DE IMPACTO.

3.-EVALUACION DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS. Una vez que el procedimiento de soldadura haya sido precalificado o ha sido ensayado de acuerdo a los codigos aplicables, los datos relevantes deben registrarse con todo detalle. Para esto se recomienda utilizar la parte posterior del formato PQR sugerido por ASME y que se presenta en el anexo 4 página 159. En este formato se vacian todos los resultados obtenidos en los ensayos con las probetas, y de otros ensayos en caso de haberse realizado.

En la evaluación de cualquier resultado de ensayos los codigos aplicables proporcionan un criterio de aceptación o rechazo, es decir muestran parametros como mínima resistencia a la tensión, máximo número de inclusiones, de porosidades u otras discontinuidades que resultan de la utilización de un tipo de metal base, de aporte, etc.

Algunas veces se realizan uniones de diferentes metales base y diferentes metales de aporte, provocando que frecuentemente se presenten grandes variaciones en las propiedades químicas y mecánicas, esto requiere ser evaluado por ingenieros especialistas que califican las propiedades más importantes para cada aplicación específica, ya que se deben tener en cuenta las condiciones de trabajo, como temperatura de servicio, ambiente corrosivo, etc.

Como regla se sugiere que el cliente o una gencia especializada que lo represente, apruebe el procedimiento de calificación, los ensayos llevados a cabo y las especificaciones del procedimiento. Cabe aclarar que una calificación de procedimiento, una vez aprobado, da lugar a una Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS), la cual será utilizada en producción.

**4.-POSIBLES CAMBIOS DEL PROCEDIMIENTO SUJETO A CALIFICACION.** Si el fabricante que ha calificado y/o aprobado un procedimiento de soldadura, desea hacer un cambio en tal procedimiento, podría ser necesario realizar ensayos adicionales de calificación. Dichos ensayos establecen que los cambios del procedimiento de soldadura producirán resultados satisfactorios.

**5.-APROBACION DEL PROCEDIMIENTO.** El cliente o su agencia representante deben aprobar los resultados de los ensayos obtenidos en el desarrollo de la calificación del procedimiento, así como sus especificaciones antes de que sean utilizadas en producción.

Una vez aprobado el procedimiento, se mandan al departamento de producción todos los parámetros y variables relativas al proceso en forma de WPS. Todos estos parámetros se vacían en el formato WPS el cual es sugerido por el Código ASME Sección IX, este formato se presenta en el anexo 5 página 160.

#### **4.3 RECALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA.**

Los ensayos para recalificación no son usualmente requeridos cuando ha habido cambio de detalles sin importancia o variables no

esenciales en el procedimiento original. En cambio si se requiere de una recalificación cuando estos cambios ocasionan una alteración en las propiedades del depósito de soldadura. Es decir, si una variable esencial como son: Proceso de Soldadura; Metal de aporte; Posición de soldadura; Espesor de la placa o tubería; Técnica; Tratamiento térmico; etc., se cambia, sólo entonces será necesaria una recalificación del procedimiento.

Cabe mencionar que según el Código ASME Sección IX, las variables tanto esenciales como no esenciales no son las mismas para todos los procesos de soldadura.

#### **4.4 UTILIZACION EN PRODUCCION DE PROCEDIMIENTOS CALIFICADOS DE SOLDADURA.**

Debido a que muchos factores contribuyen al resultado final en una operación de soldadura, es deseable que los elementos vitales asociados con la soldadura de uniones sea descrita con tal detalle que permita el entendimiento exacto y claro de todo lo concerniente al proceso.

Las especificaciones de procedimientos de soldadura (WPS) enlistan en detalle las variables tanto esenciales como no esenciales. Estos documentos deben estar disponibles para los soldadores, supervisores e inspectores, ya que les permitirá tener a la vista los parametros que deben cumplirse en el proceso de soldadura.

Existen comúnmente dos tipos de WPS: Uno tolerante y general que se aplica a todo tipo de soldaduras que se obtienen con un material específico, y; Otro intolerante, que revela en detalle la soldadura para un sólo tipo y tamaño de junta con un material específico, además de ser el más frecuentemente utilizado por los fabricantes para llevar un control y evitar operaciones repetitivas de soldadura.

Tanto el arreglo como los detalles del WPS deben ser escritos de acuerdo con los requerimientos del cliente, éstos deben ser tan detallados que permitan obtener resultados que satisfagan los requerimientos de los códigos aplicables y especificaciones del comprador.

#### **4.4.1 PARAMETROS O VARIABLES CONTENIDOS EN UN WPS.**

Las variables tanto esenciales como no esenciales no son las mismas para cada proceso. Una variable esencial es aquella que al ser alterado su valor provoca cambios en la estructura o en los resultados finales estimados, después de estos cambios se requiere de una recalificación del procedimiento, una variable no esencial no provoca cambios finales o significativos al ser alteradas en su valor o al salirse del rango establecido, y por lo tanto no requiere de recalificación.

Un listado de variables que usualmente son incluidas en un WPS son las siguientes.

**METAL BASE.** Se deben especificar por su composición química o referirse de acuerdo a las especificaciones de los códigos aplicables como SAE o ASME. También se debe indicar si el metal base requiere de especial cuidado antes de ser soldado, como normalizado, recocido o templado. En un WPS se indican como números P (Plate o Placa en español), a los aceros inoxidable les corresponde el número P-8, de acuerdo al código ASME sección IX.

**METAL DE APORTE.** Se debe incluir la composición, clasificación y tamaño del electrodo o alambre de aporte, además de la posición de soldadura.

**PROCESO DE SOLDADURA.** Pueden utilizarse uno o más procesos en un WPS, los cuales deben escribirse claramente. El proceso de soldadura es considerada como variable esencial en todo WPS.

**TIPO Y RANGO DE CORRIENTE.** El tipo de corriente debe ser compatible con el proceso, tipo de material, espesor, tipo de junta, electrodo, fundente, gas de protección, modo de transferencia y velocidad de avance. El tipo de corriente puede ser CD o CA, polaridad directa o inversa, voltaje constante o corriente constante.

**DISEÑO DE LA UNION.** Los detalles de la unión deben indicarse, así como la secuencia de soldadura, tolerancias en todas las dimensiones, sin variaciones excesivas, especialmente en la raíz ya que por lo general provocan problemas al soldarse.

**PREPARACION DE LA JUNTA.** El método de corte o biselado puede ser mediante oxígeno, Arc-Air o con arco de plasma para aceros inoxidable, y esmerilado, mientras que la limpieza de la junta puede hacerse mediante vapor, ultrasonido o limpiadores especiales generalmente químicos.

**DETALLES DE LA UNION SOLDADA.** Todos los detalles que influyen en la calidad de la unión soldada deben incluirse en el WPS. Estos detalles pueden ser: secuencia de pasadas para completar el relleno de la unión; espesor de cada pasada; ancho de pasada; ondeo de electrodo; rangos de amperaje; etc.

**POSICIONES DE SOLDADURA.** El WPS debe indicar la posición en la que se hará el depósito, también se pueden incluir detalles como tipo de electrodo, flujo de gas de protección, espesor del metal base y tipo de fundente granulado.

**PRECALENTAMIENTO Y TEMPERATURA DE INTERPASOS.** Estos son factores significantes ya que metales como los aceros inoxidable deben precalentarse y mantener una temperatura de interpasos para asegurar una soldadura libre de defectos, los cuales se pueden deber a los cambios bruscos de temperatura.

**TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDADURA.** Cuando los materiales soldados requieran un relevado de esfuerzos, para obtener ciertas propiedades mecánicas o estabilidad dimensional, se debe indicar en el WPS, incluyendo los rangos de temperatura y tiempo de permanencia en el horno.

Estos parametros son considerados como variables esenciales en un WPS específico. Todos los valores de las variables se deben vaciar en un formato, para ésto normalmente se utiliza el sugerido por el código ASME sección IX, dicho formato se presenta en el anexo 5 página 162.

#### **4.4.2 WPS'S UTILIZADOS PARA PRODUCCION EN DIFERENTES EQUIPOS DE SOLDADURA.**

El hecho de realizar depósitos o cordones de soldadura con algún proceso y equipo, implica necesariamente que dicho proceso ha sido calificado para ser utilizado con determinado grado, tipo y espesor de acero inoxidable con fines de producción.

Cabe señalar que los procesos de soldadura de aceros inoxidables que se utilizan normalmente y con mayor frecuencia en la industria mexicana son:

- A) Soldadura de arco metálico con electrodo revestido (SMAW).
- B) Soldadura de arco con electrodo de tungsteno protegido con gas inerte (GTAW).
- C) Soldadura de arco metálico protegido con gas inerte (GMAW).
- D) Soldadura de arco sumergido (SAW).

A continuación se muestran especificaciones (WPS) para realizar soldaduras de Aceros Inoxidables, estos WPS son sólo demostrativos, por tal motivo, de ninguna manera se pueden utilizar en soldaduras de producción ya que no han sido sometidos al proceso de calificación, únicamente pueden ser utilizados como referencia.

El primer WPS (página 140) muestra una junta con ranura en V de placas de acero inoxidable austenítico tipo 304-L como metales base, y serán soldados con el proceso SMAW.

El segundo (página 141) muestra una junta en filete entre un acero inoxidable austenítico tipo 304-L (P8) y un acero al cromo molibdeno (P4) con metal de aporte del tipo E309-16, mediante el proceso SMAW.

El tercero (página 142) muestra la unión de un acero al carbono y un acero inoxidable austenítico tipo 304-L, con una ranura en V y con metal de aporte tipo E309, con el proceso SMAW.

El cuarto (página 143) presenta una unión con ranura en V de dos placas de acero inoxidable austenítico tipo 316-L con metal de aporte tipo ER316-L y mediante el proceso GTAW.

El quinto (página 144) presenta una unión de ranura en V de una placa de acero inoxidable tipo 316-L con otra tipo 304-L y con metal de aporte tipo ER-316-L, utilizando el proceso GTAW.

El sexto (página 145) presenta la unión de dos placas de acero inoxidable austenítico tipo 304-L por medio del proceso de soldadura por arco sumergido (SAW), con metal de aporte tipo ER308-L.

El séptimo WPS (página 146) presenta un recubrimiento (overlay) de un acero al cromo-molibdeno (P5) con un acero inoxidable austenítico tipo 347 por medio del proceso de Soldadura por Electroescoria (ESW). El metal de aporte se presenta en forma de fleje de 60 mm de ancho por 0,5 mm de espesor.

Los materiales de recubrimiento más empleados son aceros inoxidables tipo 308, 308-L, 309, 309-L y 347. El material de la primera capa, en contacto directo con el metal base, debe tener más elementos de aleación (cromo y níquel) que las otras capas, esto con objeto de que el metal base, que inevitablemente se disuelve con el

acero inoxidable no diluya la cantidad de cromo del recargue, la segunda capa del recubrimiento puede tener menos aleantes ya que la dilución será ahora entre aceros inoxidables. Las tres variables que caracterizan a los recubrimientos son: dilución, cantidad y espesor del recargue. En el anexo 6 página 161, se encuentra información acerca de la dilución.

La calificación de soldadores y operadores de soldadura se hace con el fin de conocer la habilidad de éstos para producir soldaduras de calidad, ya que en el código ASME se requiere que las uniones soldadas de recipientes sujetos a presión sean elaboradas por soldadores y operadores calificados.

Las normas que gobiernan la calificación de soldadores son ASME Sección IX, API 1104, AWS D10.9.

La calificación consiste en realizar soldaduras de acuerdo a un WPS ya calificado, para que, de esta forma sólo se califique al soldador, después de esto el soldador podrá realizar soldaduras de producción en placas, tuberías o recubrimientos.

Los pasos básicos para llevar a cabo una calificación de soldadores u operadores de soldadura son:

- 1.-El soldador prepara biseles a dos piezas de placa de acero o tubería representativas del material que se va a utilizar en producción.
- 2.-Se sueldan estas dos piezas de acuerdo a los parámetros y variables establecidos en un WPS destinado para este propósito.
- 3.-Al material soldado se le realiza inspección por líquidos penetrantes, radiografía y pruebas físicas como ensayos de tensión y doblado.
- 4.-En caso de que los resultados sean aceptables dicho soldador estará calificado para soldar determinado tipo de material, con determinado espesor, posición y proceso de soldadura.

**QM-482 ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)**

(Ver QM-201.1, Código ASME Sección IX, Calderas y Recipientes a Presión)

Nombre de la Compañía \_\_\_\_\_  
 WPS No. 1 (UNO) Revisión \_\_\_\_\_ Soportado por el PQR No. \_\_\_\_\_  
 Proceso(s) de Soldadura ARCO METALICO PROTEGIDO (SMAW) Tipo MANUAL

**DISEÑO DE LA UNION (QM-402)**  
 Diseño de la ranura: \_\_\_\_\_ (\*)  
 Respaldo: SI X NO \_\_\_\_\_  
 Tipo de Mat. de Respaldo: A. I. 304-L  
 Otros: \_\_\_\_\_

**METALES BASE (QM-403)**  
 P No.: B A P No.: B  
 Rango de Espesores: 5 mm A 25.4 mm  
 Rango de Diam. Tubería: 25 mm y MAS  
 Otros: \_\_\_\_\_

**METALES DE APORTE (QM-404)**  
 F No.: 5 Otros: \_\_\_\_\_  
 A No.: B Otros: \_\_\_\_\_  
 Espec. No. (SFA): 5.4  
 No. AWS (Clase): E308-L-16  
 Tamaño del Electrodo: 2.4, 3.2 Y 4.0 mm  
 Tamaño del Depósito: \_\_\_\_\_  
 Fundente (Clase): \_\_\_\_\_  
 Inserto Consumible: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**POSICIONES (QM-405)**  
 Posición de Ranura: TODAS  
 Progresión de Soldadura: ASCENDENTE  
 Otros: TODAS POSICIONES EN SOLD. FILETES

**PRECALENTAMIENTO (QM-406)**  
 Temperatura de Prealent.: 22°C MINIMO  
 Temperatura de Interpasos: 175°C MAXIMO  
 Mantenimiento del Prealemtamiento: CALOR  
GENERADO POR LA SOLDADURA  
 Otros: \_\_\_\_\_

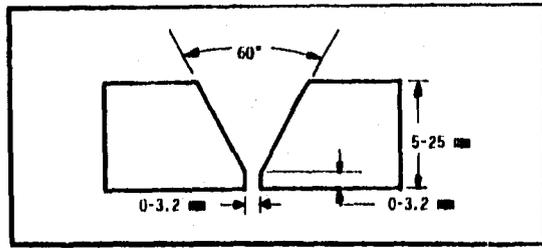
**TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDADURA (QM-407)**  
 Temperatura: \_\_\_\_\_ Tiempo: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**GAS (QM-408)**  
 Gas(es) de Protección: N. A.  
 Composición (%): \_\_\_\_\_  
 Flujo: \_\_\_\_\_  
 Gas de Respaldo: \_\_\_\_\_  
 Composición de Gas de Respaldo y Arrastre: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QM-409)**  
 Corriente (CA o CD): CD  
 Polaridad: INVERTIDA  
 Rango de Amperaje: 80-170 AMPS.  
 Rango de Voltaje: 20-28 VOLTS  
 Otros: \_\_\_\_\_

**TECNICA (QM-410)**  
 Cordón Recto u Oscilado: RECTO Y OSCILADO  
 Limpieza Inicial y de Interpasos (Cepillo, Esmeril, etc.): CEPILLO DE A.I Y  
ESMERIL.  
 Eliminación de Respaldo: ESMERILADO  
 Oscilación: \_\_\_\_\_  
 Distancia Tubo de Contacto-Trabajo: \_\_\_\_\_  
 Paso Múltiple o Sencillo (Por Lado): \_\_\_\_\_  
MÚLTIPLE  
 Electrodo Múltiple o Sencillo: SENCILLO  
 Velocidad de Avance: 125-250 mm P. M.  
 Tipo Manual, Semiautomático o Automático: \_\_\_\_\_  
MANUAL  
 Otros: \_\_\_\_\_

(\*)



**QM-482 ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)**

(Ver QM-201.1, Código ASME Sección IX, Calderas y Recipientes a Presión)

Nombre de la Compañía \_\_\_\_\_  
 WPS No. 2 (DOS) Revisión \_\_\_\_\_ Soportado por el PQR No. \_\_\_\_\_  
 Proceso(s) de Soldadura ARCO METALICO PROTEGIDO Tipo MANUAL

**DISEÑO DE LA UNION (QM-402)**

Diseño de la ranura: (\*) EN "Y"  
 Respaldo: SI  NO   
 Tipo de Mat. de Respaldo: METAL BASE  
 Otros: \_\_\_\_\_

**METALES BASE (QM-403)**

P No.: 4 A P No.: 8  
 Rango de Espesores: TODOS, SOLO EN FILETES  
 Rango de Diam. Tubería: TODOS, SOLO EN FILETES  
 Otros: \_\_\_\_\_

**METALES DE APORTE (QM-404)**

F No.: 5 Otros: \_\_\_\_\_  
 A No.: 8 Otros: \_\_\_\_\_  
 Espec. No. (SFA): 5.4  
 No. AWS (Clase): E309-16  
 Tamaño del Electrodo: 3.2 Y 4.0 mm  
 Tamaño del Depósito: \_\_\_\_\_  
 Fundente (Clase): \_\_\_\_\_  
 Inserto Consumible: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**POSICIONES (QM-406)**

Posición de Ranura: TODAS  
 Progresión de Soldadura: ASCENDENTE  
 Otros: \_\_\_\_\_

**PRECALENTAMIENTO (QM-406)**

Temperatura de Prealent.: 93°C MÍNIMO  
 Temperatura de Interpasos: 200°C MÁXIMO  
 Mantenimiento del Precalentamiento: CALOR  
GENERADO DURANTE LA SOLDADURA  
 Otros: \_\_\_\_\_

**TRATAMIENTO TÉRMICO POSTSOLDADURA (QM-407)**

Temperatura: \_\_\_\_\_ Tiempo: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**GAS (QM-408)**

Gas(es) de Protección: N. A.  
 Composición (%): \_\_\_\_\_  
 Flujo: \_\_\_\_\_  
 Gas de Respaldo: \_\_\_\_\_  
 Composición de Gas de Respaldo y Arrastre: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

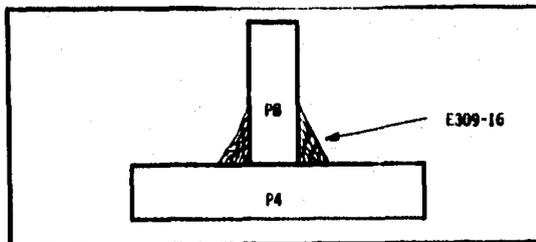
**CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QM-409)**

Corriente (CA o CD): CD  
 Polaridad: INVERTIDA  
 Rango de Amperaje: 100-190 AMPS.  
 Rango de Voltaje: 20-26 VOLTS  
 Otros: \_\_\_\_\_

**TECNICA (QM-410)**

Cordón Recto u Oscilado: RECTO Y OSCILADO  
 Limpieza Inicial y de Interpasos (Cepillo, Esmeril, etc.): CEPILLO DE A. J. Y ESMERIL.  
 Eliminación de Respaldo: ESMERILADO  
 Oscilación: \_\_\_\_\_  
 Distancia Tubo de Contacto-Trabajo: \_\_\_\_\_  
 Paso Múltiple o Sencillo (Por Lado): \_\_\_\_\_  
MÚLTIPLE  
 Electrodo Múltiple o Sencillo: SENCILLO  
 Velocidad de Avance: \_\_\_\_\_  
 Tipo Manual, Semiautomático o Automático: MANUAL  
 Otros: \_\_\_\_\_

(\*)



**QM-402 ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)**

(Ver QM-201.1, Código ASME Sección IX, Calderas y Recipientes a Presión)

Nombre de la Compañía \_\_\_\_\_  
 WPS No. **3 (TRES)** Revisión \_\_\_\_\_ Soportado por el PQR No. \_\_\_\_\_  
 Proceso(s) de Soldadura **ARCO METALICO PROTEGIDO (SMW)** Tipo **MANUAL**

**DISEÑO DE LA UNION (QM-402)**  
 Diseño de la ranura: (\*) **EN "V"**  
 Respaldo: SI  NO   
 Tipo de Mat. de Respaldo: **METAL BASE**  
 Otros: \_\_\_\_\_

**METALES BASE (QM-403)**  
 P No.: **1** A P No.: **B**  
 Rango de Espesores: **5.0 a 50 mm**  
 Rango de Diam. Tuberfa: \_\_\_\_\_  
 Otros: **EN FILETES TODOS ESPESORES**

**METALES DE APORTE (QM-404)**  
 F No.: **5** Otros: \_\_\_\_\_  
 A No.: **8** Otros: \_\_\_\_\_  
 Espec. No. (SFA): **5.4**  
 No. AWS (Clase): **E309**  
 Tamaño del Electrodo: **3.2 Y 4.0 mm**  
 Tamaño del Depósito: \_\_\_\_\_  
 Fundente (Clase): \_\_\_\_\_  
 Inserto Consumible: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**POSICIONES (QM-405)**  
 Posición de Ranura: **TODAS**  
 Progresión de Soldadura: **ASCENDENTE**  
 Otros: \_\_\_\_\_

**PRECALENTAMIENTO (QM-406)**  
 Temperatura de Prealent.: **93°C MÍNIMO**  
 Temperatura de Interpasos: **200°C MÁXIMO**  
 Mantenimiento del Precalentamiento: **CALOR**  
**GENERADO DURANTE LA SOLDADURA.**  
 Otros: **FLAMA DE GAS NATURAL**

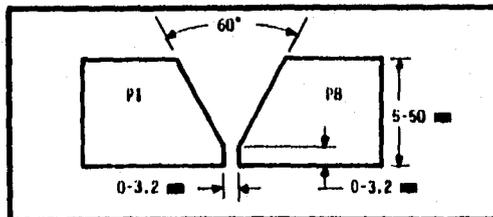
**TRATAMIENTO TÉRMICO POSTSOLDADURA (QM-407)**  
 Temperatura: \_\_\_\_\_ Tiempo: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**GAS (QM-408)**  
 Gas(es) de Protección: **N. A.**  
 Composición (%): \_\_\_\_\_  
 Flujo: \_\_\_\_\_  
 Gas de Respaldo: \_\_\_\_\_  
 Composición de Gas de Respaldo y Arrastre: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QM-409)**  
 Corriente (CA o CD): **CD**  
 Polaridad: **INVERTIDA**  
 Rango de Amperaje: **100-190 AMPS.**  
 Rango de Voltaje: **20-26 VOLTS**  
 Otros: \_\_\_\_\_

**TECNICA (QM-410)**  
 Cordón Recto u Oscilado: **AMBOS**  
 Limpieza Inicial y de Interpasos (Cepillo, Esmeril, etc.): **CEPILLO DE A. I. Y ESMERIL.**  
 Eliminación de Respaldo: **ESMERILADO**  
 Oscilación: \_\_\_\_\_  
 Distancia Tubo de Contacto-Trabajo: \_\_\_\_\_  
 Paso Múltiple o Sencillo (Por Lado): \_\_\_\_\_  
**MÚLTIPLE**  
 Electrodo Múltiple o Sencillo: **SENCILLO**  
 Velocidad de Avance: **125-200 mm PM**  
 Tipo Manual, Semiautomático o Automático: **MANUAL**  
 Otros: \_\_\_\_\_

(\*)



**QN-402 ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)**  
(Ver QN-201.1, Código ASME Sección IX, Calderas y Recipientes a Presión)

Nombre de la Compañía \_\_\_\_\_  
WPS No. 4 (CUATRO) Revisión \_\_\_\_\_ Soportado por el PQR No. \_\_\_\_\_  
Proceso(s) de Soldadura (GTAW) Tipo MANUAL

**DISEÑO DE LA UNIÓN (QN-402)**  
Diseño de la ranura: (\*)  
Respaldo: SI X NO \_\_\_\_\_  
Tipo de Mat. de Respaldo: METAL BASE  
Otros: \_\_\_\_\_

**METALES BASE (QN-403)**  
P No.: B A P No.: B  
Rango de Espesores: 2 - 30 mm  
Rango de Diam. Tubería: 35 mm MINIMO  
Otros: \_\_\_\_\_

**METALES DE APORTE (QN-404)**  
F No.: 6 Otros: ---  
A No.: B Otros: ---  
Espec. No. (SFA): 5.9  
No. AWS (Clase): ER316-L  
Tamaño del Electrodo: 1.6 Y 2.4 mm  
Tamaño del Depósito: ---  
Fundente (Clase): ---  
Inserto Consumible: ---  
Otros: ---

**POSICIONES (QN-405)**  
Posición de Ranura: TODAS  
Progresión de Soldadura: ASCENDENTE  
Otros: TOMAS POSICIONES EN FILETE

**PRECALENTAMIENTO (QN-406)**  
Temperatura de Prealent.: 21°C MINIMO  
Temperatura de Interpasos: 177°C MAXIMO  
Mantenimiento del Precalentamiento: CALOR  
**GENERADO DURANTE LA SOLDADURA**  
Otros: FLAMA DE GAS NATURAL

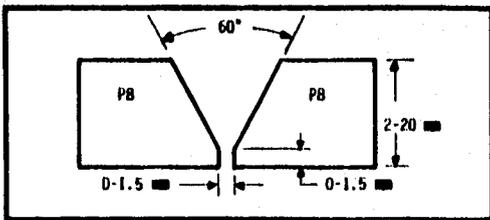
**TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDADURA (QN-407)**  
Temperatura: --- Tiempo: ---  
Otros: ---

**GAS (QN-408)**  
Gas(es) de Protección: ARGON  
Composición (%): 99.9% ARGON  
Flujo: 9.5-14.2 LT/MIN  
Gas de Respaldo: ARGON  
Composición de Gas de Respaldo y Arrastre: 99.9% ARGON  
Otros: ---

**CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QN-409)**  
Corriente (CA o CD): CD  
Polaridad: DIRECTA  
Rango de Amperaje: 80-120 AMPS.  
Rango de Voltaje: 10-12 VOLTS.  
Otros: ELECTRODO TIPO EMH-2 3.2 mm Ø

**TECNICA (QN-410)**  
Cordón Recto u Oscilado: RECTO  
Limpieza Inicial y de Interpasos (Cepillo, Esmeril, etc.): CEPILLO DE A. I. Y ESMERTILADO  
Eliminación de Respaldo: ESMERTILADO  
Oscilación: ---  
Distancia Tubo de Contacto-Trabajo: ---  
Paso Múltiple o Sencillo (Por Lado): MULTIPLE  
Electrodo Múltiple o Sencillo: SENCILLO  
Velocidad de Avance: 150-200 mm PM  
Tipo Manual, Semiautomático o Automático: MANUAL  
Otros: ---

(\*)



**QM-402 ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)**

(Ver QM-201.1, Código ASME Sección IX, Calderas y Recipientes a Presión)

Nombre de la Compañía \_\_\_\_\_  
 WPS No. 5 (CINCO) Revisión \_\_\_\_\_ Soportado por el PQR No. \_\_\_\_\_  
 Proceso(s) de Soldadura ( G M A W ) Tipo SEMIAUTOMATICO

**DISEÑO DE LA UNION (QM-402)**

Diseño de la ranura: (\*) EN "V"  
 Respaldo: Si  NO   
 Tipo de Mat. de Respaldo: METAL BASE  
 Otros: \_\_\_\_\_

**METALES BASE (QM-403)**

P No.: B A P No.: B  
 Rango de Espesores: DE 1.5 A 5.5 mm  
 Rango de Diam. Tubería: \_\_\_\_\_  
 Otros: EN FILETE TODOS ESPESORES

**METALES DE APORTE (QM-404)**

F No.: 6 Otros: \_\_\_\_\_  
 A No.: B Otros: \_\_\_\_\_  
 Espec. No. (SFA): 5.9  
 No. AWS (Clase): E6016-1  
 Tamaño del Electrodo: 0.89 mm Ø  
 Tamaño del Depósito: \_\_\_\_\_  
 Fundente (Clase): \_\_\_\_\_  
 Inserto Consumible: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**POSICIONES (QM-405)**

Posición de Ranura: TODAS  
 Progresión de Soldadura: DESCENDIENTE  
 Otros: \_\_\_\_\_

**PRECALENTAMIENTO (QM-406)**

Temperatura de Prealent.: 27°C MÍNIMO  
 Temperatura de Interpasos: 177°C MÁXIMO  
 Mantenimiento del Precalentamiento: CALOR  
GENERADO DURANTE LA SOLDADURA  
 Otros: FLAMA DE GAS NATURAL

**TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDADURA (QM-407)**

Temperatura: \_\_\_\_\_ Tiempo: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**GAS (QM-408)**

Gas(es) de Protección: ARGÓN + OXIGENO  
 Composición (%): 98% Ar. 2% OXIGENO  
 Flujo: 20 - 30 LT/MIN  
 Gas de Respaldo: ARGÓN + OXIGENO  
 Composición de Gas de Respaldo y Arrastre: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

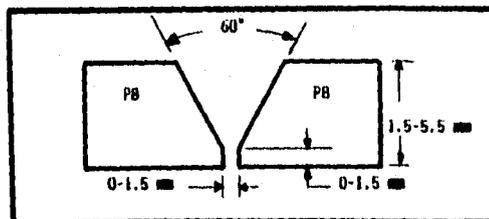
**CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QM-409)**

Corriente (CA o CD): CD  
 Polaridad: INVERTIDA  
 Rango de Amperaje: 100-200 AMPS.  
 Rango de Voltaje: 12-24 VOLTS.  
 Otros: \_\_\_\_\_

**TECNICA (QM-410)**

Cordón Recto u Oscilado: RECTO  
 Limpieza Inicial y de Interpasos (Cepillo, Esmeril, etc.): CEPILLO DE A. 1.  
 Eliminación de Respaldo: ESMERILLADO  
 Oscilación: \_\_\_\_\_  
 Distancia Tubo de Contacto-Trabajo: \_\_\_\_\_  
 Paso Múltiple o Sencillo (Por Lado): \_\_\_\_\_  
MÚLTIPLE  
 Electrodo Múltiple o Sencillo: SENCILLO  
 Velocidad de Avance: 300-380 mm PM  
 Tipo Manual, Semiautomático o Automático: \_\_\_\_\_  
SEMIAUTOMATICO  
 Otros: \_\_\_\_\_

(\*)



**QN-402 ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)**

(Ver QN-201.1, Código ASME Sección IX, Calderas y Recipientes a Presión)

Nombre de la Compañía \_\_\_\_\_  
 WPS No. 6 (SEIS) Revisión \_\_\_\_\_ Soportado por el PQR No. \_\_\_\_\_  
 Proceso(s) de Soldadura ARCO SUMERGIDO (SAM) Tipo AUTOMÁTICO

**DISEÑO DE LA UNIÓN (QN-402)**  
 Diseño de la ranura: (\*) EN "V"  
 Respaldo: SI X NO \_\_\_\_\_  
 Tipo de Mat. de Respaldo: METAL BASE  
 Otros: \_\_\_\_\_

**METALES BASE (QN-403)**  
 P No.: B A P No.: B  
 Rango de Espesores: 5/8" A 1.0"  
 Rango de Dím. Tubería: 14" MÍNIMO  
 Otros: EN FILETE TODOS ESPESORES

**METALES DE APORTE (QN-404)**  
 F No.: 6 Otros: \_\_\_\_\_  
 A No.: B Otros: \_\_\_\_\_  
 Espec. No. (SFA): 5.9  
 No. AWS (Clase): E309-L  
 Tamaño del Electrodo: 5/32"  
 Fundente (Clase): \_\_\_\_\_  
 Inserto Consumible: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**POSICIONES (QN-405)**  
 Posición de Ranura: HORIZONTAL (1G)  
 Progresión de Soldadura: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**PRECALENTAMIENTO (QN-406)**  
 Temperatura de Prealent.: 21°C MÍNIMO  
 Temperatura de Interpasos: 205°C MÁXIMO  
 Mantenimiento del Precalentamiento: CALOR  
GENERADO DURANTE LA SOLDADURA  
 Otros: \_\_\_\_\_

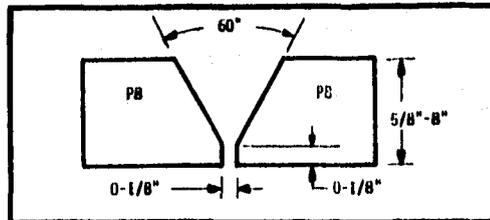
**TRATAMIENTO TÉCNICO POSTSOLDADURA (QN-407)**  
 Temperatura: \_\_\_\_\_ Tiempo: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**GAS (QN-408)**  
 Gas(es) de Protección: N. A.  
 Composición (%): \_\_\_\_\_  
 Flujo: \_\_\_\_\_  
 Gas de Respaldo: \_\_\_\_\_  
 Composición de Gas de Respaldo y Arrastre: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QN-409)**  
 Corriente (CA o CD): CD  
 Polaridad: INVERTIDA  
 Rango de Amperaje: 350-450 AMPS.  
 Rango de Voltaje: 28-32 VOLTS  
 Otros: \_\_\_\_\_

**TÉCNICA (QN-410)**  
 Cordón Recto u Oscilado: RECTO  
 Limpieza Inicial y de Interpasos (Cepillo, Esmeril, etc.): CEPILLO DE A. I.  
Y ESMERIL  
 Eliminación de Respaldo: ESMERILADO  
 Oscilación: \_\_\_\_\_  
 Distancia Tubo de Contacto-Trabajo: 3/4"-1 1/2"  
 Paso Múltiple o Sencillo (Por Lado): \_\_\_\_\_  
MÚLTIPLE  
 Electrodo Múltiple o Sencillo: SENCILLO  
 Velocidad de Avance: 20-25 PULG/MIN  
 Tipo Manual, Semiautomático o Automático: \_\_\_\_\_  
AUTOMÁTICO  
 Otros: \_\_\_\_\_

(\*)



**QM-402 ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)**

(Ver QM-201.1, Código ASME Sección IX, Calderas y Recipientes a Presión)

Nombre de la Compañía \_\_\_\_\_  
 WPS No. 7 (SIETE) Revisión \_\_\_\_\_ Soportado por el PQR No. \_\_\_\_\_  
 Proceso(s) de Soldadura SOLDADURA POR ELECTROSCONTA (ESW) Tipo AUTOMATICO

**DISEÑO DE LA UNION (QM-402)**  
 Diseño de la ranura: (\*) \_\_\_\_\_  
 Respaldo: SI X NO \_\_\_\_\_  
 Tipo de Mat. de Respaldo: METAL BASE  
 Otros: \_\_\_\_\_

**METALES BASE (QM-403)**  
 P No.: I A P No.: B  
 Rango de Espesores: \_\_\_\_\_  
 Rango de Diam. Tubería: \_\_\_\_\_  
 Otros: RECUBRIMIENTO DE A. I. TIPO 347

**METALES DE APORTE (QM-404)**  
 F No.: \_\_\_\_\_ Otros: \_\_\_\_\_  
 A No.: B (A. I. 347) Otros: \_\_\_\_\_  
 Espec. No. (SFA): \_\_\_\_\_  
 No. AWS (Clase): \_\_\_\_\_  
 Tamaño del Electrodo: 60 mm x 0.5 mm  
 Tamaño del Depósito: \_\_\_\_\_  
 Fundente (Clase): MANATHON 434  
 Inserto Consumible: \_\_\_\_\_  
 Otros: SE UTILIZA FLEJE COMO METAL DE APORTE

**POSICIONES (QM-405)**  
 Posición de Ranura: PLANA (1G)  
 Progresión de Soldadura: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**PRECALENTAMIENTO (QM-406)**  
 Temperatura de Pre calent.: 100°C MINIMO  
 Temperatura de Interpasos: 150°C MAXIMO  
 Mantenimiento del Pre calentamiento: CALOR  
GENERADO POR LA SOLDADURA  
 Otros: \_\_\_\_\_

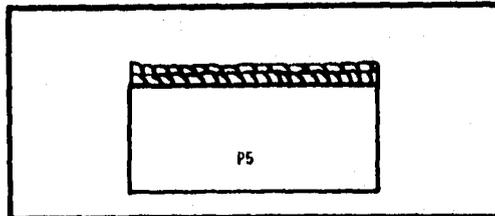
**TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDADURA (QM-407)**  
 Temperatura: 675-705°C Tiempo: 6-7 HRS.  
 Otros: P. D. SEGUN ASME VIII DIV. I

**GAS (QM-408)**  
 Gas(es) de Protección: \_\_\_\_\_  
 Composición (%): \_\_\_\_\_  
 Flujo: \_\_\_\_\_  
 Gas de Respaldo: \_\_\_\_\_  
 Composición de Gas de Respaldo y Arrastre: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QM-409)**  
 Corriente (CA o CD): CD  
 Polaridad: INVERTIDA  
 Rango de Amperaje: 1075-1175 AMPS.  
 Rango de Voltaje: 22-26 VOLTS  
 Otros: \_\_\_\_\_

**TECNICA (QM-410)**  
 Cordón Recto u Oscilado: RECTO  
 Limpieza Inicial y de Interpasos (Cepillo, Esmeril, etc.): CEPILLO DE ACERO INOXIDABLE Y MARTILLO DESCASCARILLADOR.  
 Eliminación de Respaldo: \_\_\_\_\_  
 Oscilación: \_\_\_\_\_  
 Distancia Tubo de Contacto-Trabajo: 30-1 mm  
 Paso Múltiple o Sencillo (Por Lado): SENCILLO  
 Electrodo Múltiple o Sencillo: SENCILLO  
 Velocidad de Avance: 150-170 mm/MIN  
 Tipo Manual, Semiautomático o Automático: AUTOMATICO  
 Otros: \_\_\_\_\_

(\*)



**CAPITULO CINCO**

**" CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES "**

## CAPITULO CINCO

### "CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES"

De acuerdo con todo lo anteriormente descrito se ha encontrado que, básicamente se cuenta en la industria Mexicana con cinco procesos para soldar aceros inoxidable, los cuales son:

- 1.-Soldadura por arco metálico protegido (SMAW).
- 2.-Soldadura por arco de tungsteno protegido con gas inerte (GTAW).
- 3.-Soldadura por arco metálico protegido con gas inerte (GMAW).
- 4.-Soldadura por arco sumergido (SAW).
- 5.-Soldadura por resistencia (RW).

Durante la elaboración de este trabajo de tesis se encontro que algunos procesos de soldadura como el de Hidrógeno Atómico (AHW) y el de Soldadura por Oxiacetileno (OAW) han quedado obsoletos, debido a que su utilización industrial ha sido sustituida por procesos más eficientes como son GTAW, GMAW, etc., ya que estos últimos tienen ventajas como concentrar más el calor, pueden ser utilizados en forma automática, etc. Por otro lado, procesos como Soldadura por Rayo Laser (LBW), por Haz de Electrones (EBW), por Ultrasonido (USW), no son aplicables en la industria de manufactura en México, debido a que tienen aplicaciones en industrias especializadas como la aeroespacial, aeronáutica y nuclear, entre otras, que en este país no tienen operaciones.

La problemática a que nos enfrentamos al realizar soldaduras de aceros inoxidable están determinadas por la composición química de los metales base principalmente, de tal forma, podemos mencionar que en los grados austeníticos, el gran problema que se tiene es la corrosión intergranular o precipitación de carburos de cromo.

Para controlar la precipitación de carburos sería bueno tomar en cuenta estas tres recomendaciones:

1) Utilizar elementos estabilizadores como niobio, titanio, columbio, tántalo, molibdeno, cesio e incluso bario, éstos pueden estar contenidos en el metal base, en el metal de aporte o en ambos, pero generalmente se agregan en el metal de aporte.

2) Utilizar aceros inoxidable con un contenido extra bajo de carbono, es decir, tipos como el 304-L, 308-L, 316-L, etc., que contienen aproximadamente 0.03% de carbono, lo cual es suficiente para evitar la corrosión intergranular.

3) Evitar, en lo posible, que el metal soldado sea expuesto mucho tiempo a la temperatura de sensibilización que es de entre 400 y 871 grados centígrados, ya que a esta temperatura se dan las condiciones más favorables para que el cromo se combine con el carbono dando origen a carburos de cromo que se precipitan en los límites de grano reduciendo en gran medida el contenido de cromo y provocando una pérdida muy grande de resistencia a la corrosión.

En los grados ferríticos se tienen problemas de fragilización cuando se someten a temperaturas de entre 600 y 700 grados centígrados, ya que se presenta el fenómeno de crecimiento de grano en la zona adyacente a la soldadura. Después de soldarlos la estructura predominante es la ferrítica con pequeñas cantidades de martensita, esto no es deseable ya que la unión tiende a poseer mala ductilidad y baja tenacidad, para evitarlo es recomendable realizar un tratamiento térmico postsoldadura de relevado de esfuerzos a una

temperatura de entre 700 y 750 grados centígrados, con el fin de convertir la martensita en ferrita. Para prevenir fisuras y/o fracturas durante la soldadura, sería bueno precalentar entre 150 y 500 grados centígrados.

Se ha encontrado que cuando se utilizan metales de aporte austeníticos se corre el riesgo de que al realizar un relevado de esfuerzos se precipiten carburos de cromo en el cordón de soldadura, por tal motivo es preferible soldar aceros inoxidable ferríticos con metales de aporte ferríticos o soldarlos por resistencia, ya que este proceso presenta un calentamiento localizado que no afecta ni provoca expansión del grano en la zona adyacente a la soldadura.

Los aceros inoxidable más difíciles de soldar son los martensíticos, ya que poseen un elevado contenido de carbono, de entre 0.10 y 1.2%. Debido a esto y para evitar fracturas o fisuras es recomendable precalentar a una temperatura de entre 260 y 315 grados centígrados, después de soldarlos se debe controlar su enfriamiento cubriéndolos con lana mineral o con flama de gas natural, ya que adquieren una gran dureza incluso al enfriarse al aire y si este enfriamiento es brusco se podrían presentar fisuras, por tal motivo sería bueno realizar un revenido de entre 700 y 725 grados centígrados con el propósito de descomponer la austenita en ferrita y carburos.

Los electrodos para soldadura SMAW pueden presentar revestimientos ácidos o básicos, ambos son recomendables para soldar aceros inoxidable.

Los revestimientos ácidos provocan una buena estabilidad del arco ya sea en corriente directa (CD) o en corriente alterna (CA), así como una escoria y metal muy fluidos. El elemento característico de los electrodos ácidos es el bióxido de titanio (Rutilo). Los electrodos con revestimiento básico presentan una alta capacidad de refinamiento, es decir, limpian de impurezas el metal de soldadura,

además de provocar un bajo punto de fusión de la escoria. Los minerales que contienen este tipo de revestimiento son óxido de calcio (CaO), óxido de magnesio (MgO) y óxido de sodio (Na<sub>2</sub>O).

El revestimiento de los electrodos no debe estar húmedo o dañado, ya que provoca porosidad y mala ductilidad de la unión debido a la absorción de oxígeno y nitrógeno de la atmósfera.

Una práctica común que se sigue al llevar a cabo una calificación de procedimiento de soldadura, es el de utilizar un amper por cada milésima de pulgada de diámetro del metal de aporte para aceros al carbono, pero como se utiliza menor corriente para aceros inoxidables (20% menor) se recomienda utilizar 0.8 amperes por cada milésima de pulgada de diámetro de electrodo o metal de aporte, es decir, cuando se utilizan electrodos de 1/8" (0.125") de diámetro se sueldan con una corriente de 100 amperes, a un electrodo de 5/32" (0.156") le corresponden 125 amperes, a uno de 3/16" (0.187") le corresponden 150 amperes, etc., sin embargo como estos valores están determinados únicamente por la experiencia se pueden presentar variaciones en la corriente aplicada (mayor o menor corriente), dependiendo de la estabilidad del arco, salpicaduras y fluidez del metal de aporte.

Otro problema al que nos enfrentamos al soldar aceros inoxidables austeníticos es la existencia de fase sigma en el depósito de soldadura, la presencia de ésta puede provocar problemas de mala ductilidad y fragilidad de la soldadura.

La fase sigma se forma a bajas temperaturas y aumenta su tendencia a la formación mientras más altos contenidos de formadores de ferrita contenga el acero con que se esté trabajando, éstos pueden ser cromo, molibdeno o silicio. En condiciones normales se deja de formar la fase sigma a la temperatura de 900 a 950°C, pero cuando contiene más formadores de ferrita este rango aumenta, por ejemplo cuando se utiliza un acero con 20% cromo, 10% níquel y 3% molibdeno, la ferrita deja de formarse a 1000°C aproximadamente.

Lo ideal para evitar o reducir al mínimo la presencia de fase sigma en un depósito de soldadura sería utilizar aceros con un contenido reducido de formadores de ferrita, en los tipos con 18% Cr, 10% Ni, 24% Cr, 12% Ni o 25% Cr, 20% Ni, normalmente después de soldados no presentan fase sigma, ya que debido a su rápido enfriamiento retienen la estructura existente a muy alta temperatura donde la fase sigma no logra formarse.

En general se dice que la dilución del metal base y de aporte varía de 20 a 30% dependiendo del proceso de soldadura utilizado. Se ha encontrado que este fenómeno es fácil de entender cuando se realiza una unión soldada de un solo paso, pero conforme aumenta el número de cordones de soldadura para completar una unión se hace más complejo su estudio y por lo tanto es más difícil determinar, de forma teórica, su composición. En el anexo 6 página 161, se puede encontrar más información relativa a la dilución.

Cuando se sueldan metales base de acero al carbón con acero inoxidable se recomienda la utilización de metales de aporte de acero inoxidable con un alto grado de aleación, debido a que la dilución con el metal base de acero al carbono empobrece los porcentajes de los elementos resultantes en la unión, por tal razón se recomienda hacer un recubrimiento (Buttering u overlay) en la junta ya biselada en el acero al carbono con un metal de aporte tipo E-309-L, el cual contiene de 22 a 25% de cromo (con la dilución este porcentaje disminuye a un rango de entre 17.5 a 20%), y luego completar la unión con un metal de aporte tipo E308-L, el cual tiene de 18 a 21% de cromo, ésto en caso de que el metal base de acero inoxidable sea del tipo 304-L, como se muestra en la figura 5.1.

El mismo procedimiento se sigue en caso de uniones de aceros disímiles, ya sean de acero al carbono o de aceros inoxidables, ya que la selección de materiales de aporte se realiza de la misma forma y con las mismas combinaciones mostradas en la tabla 1.2 en la página 15.

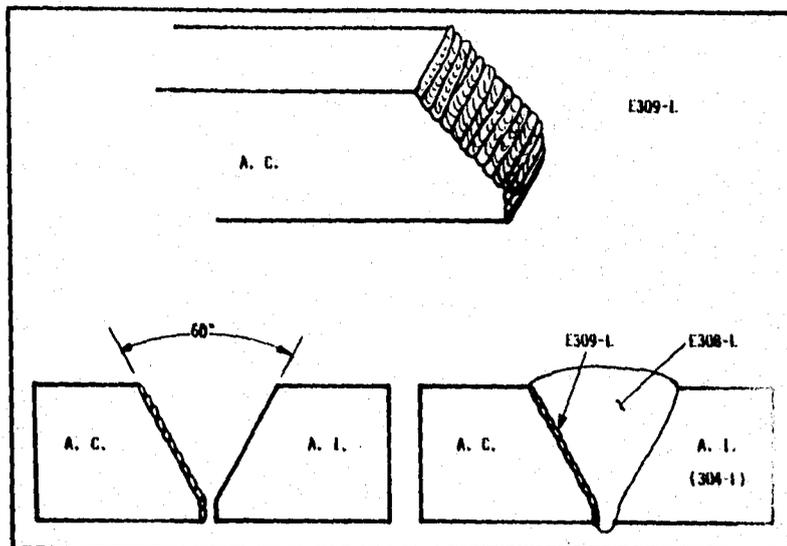


Fig. 5.1 DESARROLLO DE SOLDADURA DE METALES DISIMILES.

No se hizo pero sería muy bueno e interesante hacer un estudio profundo, una especie de segunda tesis, acerca de la soldadura de materiales disímiles con metales de aporte que podrían ser austeníticos, dicho estudio lo podría realizar cualquier compañero de la carrera o afin interesado en el tema, y podría abarcar aspectos como:

- Estructuras y propiedades resultantes de la dilución entre materiales disímiles con aporte austenítico.
- Recubrimientos entre materiales disímiles.
- Soldadura de materiales disímiles para servicio en altas temperaturas.
- Propiedades de resistencia a la corrosión obtenidos al soldar materiales heterogeneos.

A N E X O

## ANEXO 1

### "REACTIVOS PARA MICROATAQUE DE ACEROS INOXIDABLES"

- 1.-1.0 gr. de ácido pícrico, 5 ml. de HCl, 100 ml. de etanol.  
Reactivo de Vilella. Utilicelo a temperatura ambiente durante un minuto. Para ataque de grados martensíticos.
- 2.-1.5 gr. de  $\text{CuCl}_2$  (cloruro cúprico), 33 ml. de HCl, 33 ml. de etanol, 33 ml. de agua destilada.  
Reactivo No. 1 de Kallings para grados martensíticos. Se usa a temperatura ambiente.  
Muestra martensita oscura y ferrita coloreada.
- 3.-5.0 gr. de  $\text{CuCl}_2$ , 100 ml. de HCl, 100 ml. de etanol.  
Reactivo No. 2 de Kallings. Se usa a temperatura ambiente. Ataca rápidamente la ferrita, ataca ligeramente a la austenita y no ataca carburos.
- 4.-5.0 gr. de  $\text{CuCl}_2$ , 40 ml. de HCl, 30 ml. de agua destilada, 25 ml de etanol.  
Reactivo de Fry. Para grados martensíticos. Se usa a temperatura ambiente.
- 5.-4.0 gr. de  $\text{CuSO}_4$ , 20 ml. de HCl, 20 ml. de agua destilada.  
Reactivo de Marble. Se usa con los grados austeníticos a temperatura ambiente durante 10 segundos. Ataca la fase sigma.
- 6.-3 Partes de glicerol, 2-5 partes de HCl, 1 parte de  $\text{HNO}_3$ .  
Gliceregía. Reactivo popular para todos los grados inoxidable. El alto contenido de HCl reduce la tendencia a formar hoyos. Se usa fresco y nunca se debe almacenar. Agregue el  $\text{HNO}_3$  al final. Sumergir o limpiar por un minuto o menos. Ataca la fase sigma.
- 7.-45 ml. de HCl, 15 ml. de  $\text{HNO}_3$ , 20 ml. de metanol.  
Agua metanólica. Se usa con grados austeníticos para revelar la estructura de grano, contornos de ferrita y la fase sigma.

8.-15 ml. HCl, 5 ml. HNO<sub>3</sub>, 100 ml. de agua destilada.

Agua regia diluida para grados austeniticos. Ataque uniforme de austenita, contornos de carburos, fase sigma y algunas veces ataca la ferrita.

9.-4.0 gr. de KMnO<sub>4</sub> (Permanganato de potasio), 4.0 gr. de NaOH, 100 ml. de agua destilada.

Reactivo de Groesbeck. Se usa a 60-90°C (140-195°F) por 10 minutos. Colorea de oscuro a los carburos, de gris a la fase sigma, no afecta a la ferrita ni a la austenita.

10.-30 gr. de KMnO<sub>4</sub>, 30 gr. de NaOH, 100 ml. de agua destilada.

Reactivo modificado de Groesbeck. Se usa a 60-90°C (140-195°F) de 20 segundos a 10 minutos. Colorea de oscuro a la ferrita en aleaciones duplex. No afecta a la austenita.

11.-10 gr. de K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>, 10 gr. de KOH o 7 gr. de NaOH, 100 ml. de agua destilada.

Reactivo de Murakami. Se usa a temperatura ambiente por 60 segundos, la fase sigma es revelada débilmente con ataque de 3 minutos. Se usa a 80°C (176°F) o hirviendo por 60 minutos para oscurecer los carburos. La fase sigma puede colorearse azul, y la ferrita amarilla. La austenita no es atacada.

12.-30 gr. de KOH, 30 gr. de K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>, 100 ml. de agua destilada.

Reactivo modificado de Murakami. Se usa a 95°C (203°F) por 5 segundos, Colorea la fase sigma de color rojizo, la ferrita de gris oscuro, los carburos negros y no ataca la austenita.

13.-10 gr. de ácido oxálico y 100 ml. de agua destilada.

Reactivo popular para ataque electrolitico, a 6 volts CD 15-30 segundos, revela carburos, los límites de grano se revelan después de 45-60 segundos, la fase sigma después de 6 segundos. Se pueden usar bajos voltajes (1-3 Volts CD). Disuelve carburos. Ataca fuertemente a la fase sigma, moderadamente a la austenita y no ataca a la ferrita.

14.-10 gr. de NaCN (cianuro de sodio) y 100 ml. de agua destilada.

Para ataque electrolitico a 6 volts CD, por 5 minutos en cátodo de platino, La fase sigma se oscurece, los carburos aparecen claros, la ferrita se esboza, la austenita no es atacada. Es bueno para revelar carburos. Se usa con cuidado.

15.-10 ml. de HCl y 90 ml. de metanol.

Para ataque electrolítico, 1.5 volts CD, a 20°C (70°F) para atacar la fase sigma. Se usan 6 volts CD por 3-5 segundos para revelar la estructura.

16.-60 ml. de HNO<sub>3</sub> y 40 ml. de agua destilada.

Reactivo para ataque electrolítico que revela los límites de grano en los grados austeníticos. Con cátodo de acero inoxidable, se usa 1.1 Volts CD, 0.075-0.14 Amps/cm<sup>2</sup> (0.48-0.90 Amps/plg<sup>2</sup>) por 120 segundos. Con cátodo de platino, se usa 0.04 Volts CD, 0.055-0.666 Amps/cm<sup>2</sup> (0.35-0.43 Amps/plg<sup>2</sup>) por 45 segundos.

17.-50 gr. de NaOH y 100 ml. de agua destilada.

Reactivo para ataque electrolítico a 2-6 Volts CD, por 5-10 segundos para revelar la fase sigma en grados austeníticos.

18.-56 gr. de KDH y 100 ml. de agua destilada.

Reactivo para ataque electrolítico a 1.5-3.0 Volts CD, por 3 segundos para revelar la fase sigma (cafe rojizo) y ferrita (azulado).

19.-20 gr. de NaOH y 100 ml. de agua destilada.

Reactivo para ataque electrolítico a 20 Volts CD, por 5-20 segundos para esbozar y colorear de cafe canela la delta-ferrita.

20.-NH<sub>4</sub>OH concentrado.

Reactivo para ataque electrolítico a 1.5-6.0 volts CD por 10 a 60 segundos. A 1.5 Volts CD y 40 segundos el carburo es completamente atacado, después de 180 segundos la fase sigma sigue sin ser afectada. A 6 volts CD, la fase sigma es atacada después de 40 segundos.

21.-10 gr. de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> y 100 ml. de agua destilada.

Se usan 6 volts de CD por 10 segundos para colorear los carburos de cafe oscuro.

22.-200 ml. de HCl y 1000 ml. de agua destilada.

Tinte de beraha para grados austeníticos. Se le agrega 0.5-1.0 gr. de  $K_2S_2O_5$  por cada 100 ml. de solución (si el ataque es muy rápido, use 10% de solución acuosa de HCl). Sumerja a temperatura ambiente por 30-120 segundos hasta que la superficie se ponga rojiza. La austenita se colorea, los carburos no. Un sumergido largo colorea ligeramente. Si la coloración es inadecuada agregar 24 gr. de  $NH_4F.HF$  (Disulfuro de amonio) para poder almacenar la mezcla.

23.-20 gr. de ácido pícrico y 100 ml. de HCl.

Ataque por inmersión. Revela los límites de grano en los grados austeníticos y la delta ferrita en las aleaciones duplex.

24.-Solución acuosa saturada de  $Ba(OH)_2$  (hidróxido de bario).

Ataca a los carburos mejor y antes que a la fase sigma en los grados austeníticos cuando se usa 1.5 volts CD, pero ataca a ambos de igual forma cuando se usa a 3-6 volts CD.

25.-50 ml. de agua destilada, 50 ml. de etanol, 50 ml. metanol, 50 ml. de HCl, 1.0 gr. de  $CuCl_2$ , 3.5 gr. de  $FeCl_3$ , 2.5 ml. de  $HNO_3$ .

Reactivo de Ralph. Se utiliza para untar. Puede ser almacenado. Reactivo para ataque de propósitos generales para los aceros inoxidable. No ataca sulfuros en los grados de free machining.

**ANEXO 2**

**PRECALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS DE UNIONES SOLDADAS  
ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO**

Especificación de Materiales Base: \_\_\_\_\_  
 Proceso de Soldadura: \_\_\_\_\_  
 Manual, Semiautomático o Automático: \_\_\_\_\_  
 Posición de Soldadura: \_\_\_\_\_  
 Especificación del Metal de Aporte: \_\_\_\_\_  
 Clasificación del Metal de Aporte: \_\_\_\_\_  
 Tipo de Fundente: \_\_\_\_\_  
 Grado del Metal de Soldadura(\*): \_\_\_\_\_  
 Gas de Protección: \_\_\_\_\_ Flujo: \_\_\_\_\_  
 Paso Múltiple o Sencillo: \_\_\_\_\_  
 Arco Múltiple o Sencillo: \_\_\_\_\_  
 Corriente de Soldadura: \_\_\_\_\_ Polaridad: \_\_\_\_\_  
 Progresión de Soldadura: \_\_\_\_\_  
 Tratamiento de la Raíz de la Unión: \_\_\_\_\_  
 Pre calentamiento y Temperatura de Interpasos: \_\_\_\_\_  
 Tratamiento Térmico Postsoldadura: \_\_\_\_\_

(\*) Aplicable sólo cuando al metal de aporte no le corresponda alguna clasificación según AWS.

**PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

PASO No.	TAMAÑO DEL ELECTRODO	CORRIENTE DE SOLDADURA		VELOCIDAD DE AVANCE	DETALLE DE LA UNION
		AMPERES	VOLTS		

Este procedimiento puede variar debido a la secuencia de fabricación, ajustes, tamaño de paso, etc., con las limitaciones de las variables dadas en los puntos 4B y C del Código AWS D1.1 "Soldadura Estructural".

Procedimiento No.: \_\_\_\_\_ Revisión No.: \_\_\_\_\_  
 Fabricante o Contratista: \_\_\_\_\_ Autorizado Por: \_\_\_\_\_  
 Fecha: \_\_\_\_\_

**ANEXO 3**

**QW-483 REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO (PQR)**  
 (Ver QW-201.1, Código ASME Sección IX, Calderas y Recipientes a Presión)

Nombre de la Compañía: \_\_\_\_\_  
 PQR No.: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ WPS No.: \_\_\_\_\_  
 Proceso(s) de Soldadura: \_\_\_\_\_  
 Tipo (Manual, Semiautomático o Automático): \_\_\_\_\_

**JUNTAS (QW-402)**

Diseño de la Unión

<p><b>METALES BASE (QW-403)</b>                  Espec. Del Material: _____                  Tipo o Grado: _____                  P No.: _____ A P No. _____                  Espesor: _____ Diámetro: _____                  Otros: _____</p> <p><b>METALES DE APOYATE (QW-404)</b>                  No. A: _____                  Tamaño del Electrodo: _____                  No. F: _____                  Especificación SFA: _____                  Clasificación AWS: _____                  Otros: _____</p> <p><b>POSICION (QW-405)</b>                  Posición de Ranura: _____                  Progresión de la soldadura: _____                  Otros: _____</p> <p><b>PRECALENTAMIENTO (QW-406)</b>                  Temp. de Precalentamiento: _____                  Temp. de Interpasos: _____                  Otros: _____</p>	<p><b>TRAT. TÉRMICO POSTSOLDADURA (QW-407)</b>                  Temperatura: _____                  Tiempo: _____                  Otros: _____</p> <p><b>GAS (QW-408)</b>                  Tipo de Gas(es): _____                  Composición: _____                  Otros: _____</p> <p><b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)</b>                  Corriente (CA o CD): _____                  Polaridad: _____                  Amps.: _____ Volts: _____                  Otros: _____</p> <p><b>TECNICA (QW-410)</b>                  Velocidad de avance: _____                  Cordón Recto u Oscilado: _____                  Oscilación: _____                  Paso Múltiple o sencillo (Por lado): _____                  Electrodo Múltiple o sencillo: _____                  Otros: _____</p>
--	---

**ANEXO 4  
QW-483 (REVERSO)**

**PRUEBA DE TENSION (QW-150)**

ESPECIMEN No.	ANCHO PLG.	ESPEJOR PLG.	AREA PLG.2	CARGA MAX. LB.	RESISTENCIA A LA TENSION	TIPO DE FALLA Y LOCALIZACION

**PRUEBAS DE DOBLEZ GUIADO (QW-160)**

TIPO Y NUMERO DE FIGURA	RESULTADO

**PRUEBAS DE TENACIDAD (QW-170)**

ESPECIMEN No.	LOCALIZACION DE LA MUESCA	TIPO DE MUESCA	TEMP. PRUEBA	VALORES JOULES	EXP. LATERAL %CORTE	MILS

**PRUEBAS DE SOLDADURA DE FILETE (QW-180)**

RESULTADO SATISFACTORIO: SI: \_\_\_\_\_ NO: \_\_\_\_\_  
 PENETRACION EN METAL BASE: SI: \_\_\_\_\_ NO: \_\_\_\_\_  
 RESULTADOS DE MACROTAQUE: \_\_\_\_\_

**OTRAS PRUEBAS**

TIPO DE PRUEBA: \_\_\_\_\_  
 ANALISIS DEL DEPOSITO: \_\_\_\_\_  
 OTROS: \_\_\_\_\_

Nombre del soldador: \_\_\_\_\_ Ficha: \_\_\_\_\_ Marca: \_\_\_\_\_  
 Pruebas Conducidas Por: \_\_\_\_\_  
 Pruebas de Laboratorio No.: \_\_\_\_\_

Certificamos que las afirmaciones establecidas en este registro son correctas y que los cupones de prueba fueron preparados, soldados y probados de acuerdo con los requerimientos de la sección IX del código ASME.

Fecha: \_\_\_\_\_ Fabricante: \_\_\_\_\_  
 Por: \_\_\_\_\_

**ANEXO 5**

**QW-402 ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)**

(Ver QW-201.1, Código ASME Sección IX, Calderas y Recipientes a Presión)

Nombre de la Compañía \_\_\_\_\_  
 WPS No. \_\_\_\_\_ Revisión \_\_\_\_\_ Soportado por el PQR No. \_\_\_\_\_  
 Proceso(s) de Soldadura \_\_\_\_\_ Tipo \_\_\_\_\_

**DISEÑO DE LA UNIÓN (QW-402)**

Diseño de la ranura: \_\_\_\_\_  
 Respaldo: SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_  
 Tipo de Mat. de Respaldo: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**METALES BASE (QW-403)**

P No.: \_\_\_\_\_ A P No.: \_\_\_\_\_  
 Rango de Espesores: \_\_\_\_\_  
 Rango de Diam. Tubería: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**METALES DE APORTE (QW-404)**

F No.: \_\_\_\_\_ Otros: \_\_\_\_\_  
 A No.: \_\_\_\_\_ Otros: \_\_\_\_\_  
 Espec. No. (SFA): \_\_\_\_\_  
 No. AWS (Clase): \_\_\_\_\_  
 Tamaño del Electrodo: \_\_\_\_\_  
 Tamaño del Depósito: \_\_\_\_\_  
 Fundente (Clase): \_\_\_\_\_  
 Inserto Consumible: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**POSICIONES (QW-405)**

Posición de Ranura: \_\_\_\_\_  
 Progresión de Soldadura: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**PRECALENTAMIENTO (QW-406)**

Temperatura de Prealent.: \_\_\_\_\_  
 Temperatura de Interpasos: \_\_\_\_\_  
 Mantenimiento del Precalentamiento: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDADURA (QW-407)**

Temperatura: \_\_\_\_\_ Tiempo: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**GAS (QW-408)**

Gas(es) de Protección: \_\_\_\_\_  
 Composición (%): \_\_\_\_\_  
 Flujo: \_\_\_\_\_  
 Gas de Respaldo: \_\_\_\_\_  
 Composición de Gas de Respaldo y Arrastre: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)**

Corriente (CA o CD): \_\_\_\_\_  
 Polaridad: \_\_\_\_\_  
 Rango de Amperaje: \_\_\_\_\_  
 Rango de Voltaje: \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_

**TECNICA (QW-410)**

Cordón Recto u Oscilado: \_\_\_\_\_  
 Limpieza Inicial y de Interpasos (Cepillo, Esmeril, etc.): \_\_\_\_\_

Eliminación de Respaldo: \_\_\_\_\_

Oscilación: \_\_\_\_\_

Distancia Tubo de Contacto-Trabajo: \_\_\_\_\_

Paso Múltiple o Sencillo (Por Lado): \_\_\_\_\_

Electrodo Múltiple o Sencillo: \_\_\_\_\_

Velocidad de Avance: \_\_\_\_\_

Tipo Manual, Semiautomático o Automático: \_\_\_\_\_

Otros: \_\_\_\_\_

## ANEXO 6

La dilución entre los metales base y de aporte que se presenta al realizar una unión soldada es de 20 a 30% dependiendo del proceso de soldadura utilizado.

El problema no es cuando se realiza una unión que se completa con un solo paso de soldadura, sino, el problema es entender la dilución cuando se deben hacer pasadas múltiples para lograr completar la unión.

La estimación de componentes presentes en un cordón de soldadura se puede realizar por medios teóricos (antes de soldar) o por medios prácticos con análisis químico (después de soldar).

La forma teórica se realiza como se explica en la figura A6-1, la cual se presenta a continuación, y sirve para prever la pérdida de elementos de aleación debido a la dilución.

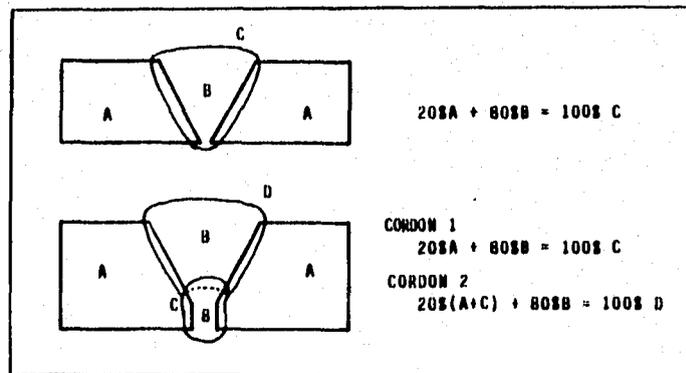


Fig. A6-1. DILUCION EN CORDONES DE SOLDADURA.

De acuerdo con lo anterior podemos decir que en la dilución de los metales el porcentaje de los elementos como el cromo y/o el níquel varía inversamente proporcional al número de cordones que se emplean para llevar a cabo una unión soldada.

A continuación se presenta un diagrama cuya curva describe la pérdida por dilución de elementos de aleación conforme aumenta el número de cordones necesarios para terminar una unión soldada. Los elementos cromo y níquel son los principales que proporcionan la resistencia a la corrosión de los metales.

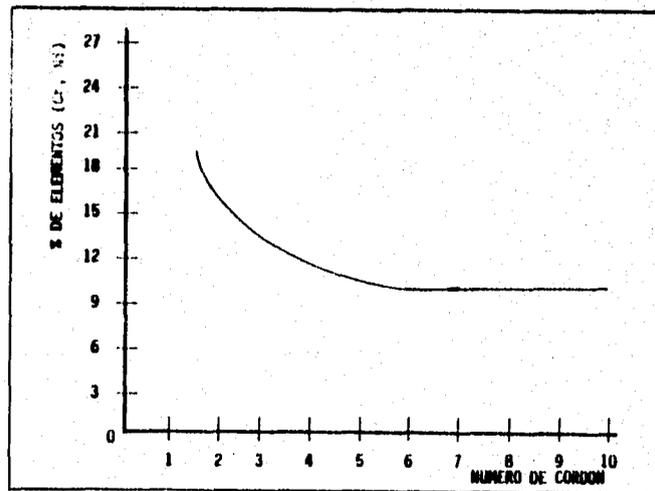


Fig. A6-2 DIAGRAMA NUMERO DE CORDON-% DE ELEMENTOS (Cr, Ni).

## BIBLIOGRAFIA

### BIBLIOGRAFIA

- 1.-Delattre Francois, Soldadura de los Aceros Inoxidables, Trad. J. Azcue, Ed. Urmo, Bilbao España 1967.
- 2.-Southern Africa Stainless Steel Development Association, La Soldadura de los Aceros Inoxidables, Trad. Asociación del Acero Inoxidable, México D. F. 1994.
- 3.-Peckner Donald, Bernstein I. M., Handbook of Stainless Steels, McGraw-Hill Book Company, New York U.S.A. 1977.
- 4.-American Society for Metals, Metals Handbook, Vol. 6, Metals Park Ohio, U.S.A. 1985.
- 5.-Phillips A. L., American Welding Society, Welding Handbook, Vol. I, II, III, IV, V, Florida U.S.A. 1979.
- 6.-Neely John E., Materiales y Procesos de Manufactura, Ed. Noriega Editores, México D. F. 1992.
- 7.-Horwitz Henry, Soldadura: Aplicaciones y Práctica, Ed. Representación y Servicios de Ingeniería S. A., México D. F. 1988.
- 8.-Patton W. J., The Science and Practice of Welding, 5th. ed., Prentice Hall, New Jersey U.S.A. 1987.

- 9.-Eutectic Castolin, Manual de Procesos y Aleaciones, EM Industrias Metalúrgicas S. A., México D. F. 1988.
- 10.-Askeland Donald R., La Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Grupo Editorial Iberoamérica., México D. F. 1992.
- 11.-Mercado León Moises, Tecnología Aplicada en la Capacitación de la Soldadura, 2a. Edición, México D. F. 1982.
- 12.-Great Britain Institute, Welding Process and Faults in Fusion Welds in Constructional Steels.
- 13.-García Cueto A. R., Introducción a los Ensayos no Destructivos, Ed. Ingeniería y Capacitación en END S. C. , 3a. edición México D. F. 1992.
- 14.-Gonzalez Torres Roberto, Pruebas no Destructivas, Instituto Mexicano del Petroleo, México D. F.
- 15.-Briseño Negrete Jose, Tesis de Licenciatura Inspección por Radiografía Industrial.
- 16.-Di Caprio Gabrielle, Los Aceros Inoxidables, Trad. Jose A. V., Ed. Grupinox, Barcelona España 1987.
- 17.-Inchaurza Zabala Adrian, Aceros Inoxidables y Aceros Resistentes al Calor, Ed. Limusa, México D. F. 1981.
- 18.-Enciclopedia de las Ciencias, Tomo V, Ed. Cumbre-Grolier, México D. F. 1981.
- 19.-Selección de Electrodo para Aceros Inoxidables, Información Técnica, Electrodo Monterrey S. A. de C. V.

- 20.-Primeras Jornadas Técnicas de Soldadura, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid España 1975.
- 21.-Latjin Yu M., Metalografía y Tratamiento Térmico de los Metales, 4a. ed. Ed. Mir Moscu U.R.S.S.
- 22.-Avner H. Sydney, Introducción a la Metalurgia Física, 2a. ed. Ed. McGraw-Hill, México D. F. 1988.
- 23.-ASME Code "Boiler and Pressure Vesels" Section II, V, VIII and IX, New York U. S. A. 1992.
- 24.-Welding Inspection, American Welding Society, 2nd. Edition, Miami Fl. U. S. A. 1980.
- 25.-Classroom Training Handbook, Nondestructive Testing, Radiographic, Ultrasonic and Liquid Penetrant Testing, American Society for Nondestructive Testing, General Dinamics, U. S. A. 1983.
- 26.-Welding Inspection and Quality Control, Homestudy and Extension Course, American Welding Society and American Society for Metals, U. S. A. 1979.
- 27.-Castro R., De Cadenet J. J., Welding Metallurgy of Stainless Steels and Heat-Resisting Steels, Cambridge University, London England.