

08T(404)C  
MFN: 972

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA

SUPERVISION E INSPECCION DE  
JUNTAS ESTRUCTURALES ELECTROSOLDADAS

*Tesis*

*presentada a la Junta Directiva  
de la  
Facultad de Ingenieria  
de la  
Universidad de San Carlos de Guatemala*



*por:*

**CARLOS ALBERTO QUINTANA GONZALEZ**

*al conferirsele el título de*

**INGENIERO CIVIL**

**PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**Biblioteca Central**

*Guatemala, octubre de 1976*

## **RECONOCIMIENTO**

*Al ingeniero Don Adrián Juárez López por su guía y enseñanza como Jefe del Departamento de Planificación del Proyecto Construcción del Teatro Nacional.*

**JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE LA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Decano  
Vocal Primero  
Vocal Segundo  
Vocal Tercero  
Vocal Cuarto  
Vocal Quinto  
Secretario

Ing. Raul Molina M  
Ing. Julio Campos  
Ing. Roberto Barrios  
Ing. Leonel Aguilar  
Br. Jorge V. Botran  
Br. Alejandro Berganza R  
Ing. Carlos Cabrera G

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO**

Decano  
Examinador  
Examinador  
Examinador  
Secretario

Ing. Hugo Quan Ma  
Ing. Horacio Belteton S.  
Ing. Jacinto Quan C.  
Ing. Carlos Calderon C.  
Ing. Manuel A. Castillo G.

**TESIS DE REFERENCIA**  
**NO**  
**SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA**  
**BIBLIOTECA CENTRAL - USAC.**

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con lo establecido por la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideracion mi trabajo de tesis titulado:

**SUPERVISION E INSPECCION  
DE  
JUNTAS ESTRUCTURALES ELECTROSOLDADAS**

tema que me fuera asignado por la Honorable Junta Directiva de la Facultad de Ingenieria.

**ACTO QUE DEDICO:**

**A MIS PADRES:**

*Carlos Alberto Quintana  
Rosa González de Quintana*

**A MIS HERMANAS:**

*Rosamaría Quintana de Wellman  
Ruth Quintana de Wyss*

**A MIS CUÑADOS:**

*Ing. Jorge Augusto Wellman  
C. Fernando Wyss L.*

**A MIS FAMILIARES Y AMIGOS**

**A LA FACULTAD DE INGENIERIA**

## CONTENIDO

	Pág.
Introducción	
<b>CAPITULO I</b>	
<b>PROCESOS DE SOLDADURA - GENERAL</b>	
A. Soldadura por presión	1
1. Forjado	1
2. Soldadura fuerte	1
3. Soldadura por resistencia	1
B. Soldadura por fusión	3
1. Soldadura Thermita	4
2. Soldadura por llama	5
3. Soldadura de arco eléctrico	6
<b>CAPITULO II</b>	
<b>PROCESOS DE SOLDADURA ESTRUCTURAL</b>	
A. Soldadura de arco eléctrico	9
1. Desarrollo histórico	9
2. Propiedades del arco eléctrico	9
3. Desventajas de la soldadura de arco con electrodo desnudo	11
B. Procesos de soldadura estructural	12
1. Soldadura de arco metálico protegido	12
2. Soldadura de arco sumergido	13
3. Soldadura de arco protegido con gas	14
4. Soldadura de arco con núcleo fundente	15
5. Soldadura con electroescoria	15
6. Soldadura electrogas	15
7. Soldadura de conectores	15
<b>CAPITULO III JUNTAS ESTRUCTURALES SOLDADAS</b>	
A. Tipos de juntas	17
B. Tipos de soldadura	18
1. Soldadura de bisel	19
2. Soldadura de filete	29
3. Soldaduras de tapón y ranura	31
C. Posiciones de soldado	32
D. Metales y electrodos	33
1. Aceros estructurales	33

	Pág.
2. Electroodos	35
E. Símbolos	36
1. Símbolos de soldadura	36
2. Símbolos de ensayos no destructivos	39

#### CAPITULO IV TRATAMIENTOS TERMICOS

A. Influencia de la temperatura en la estructura de los aceros	43
B. Efectos causados por el proceso de soldado en la estructura de metal	44
C. Tratamientos térmicos	47
1. Precalentamiento	47
2. Control de temperatura entre pases	47
3. Tratamientos termicos posteriores	48

#### CAPITULO V ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADO

A. General	53
B. Ventajas del uso de especificaciones de procedimiento de soldado	53
C. Aplicacion	54
D. Aspectos que cubre una especificación de procedimiento	54
E. Ejemplo de especificaciones de procedimiento	58

#### CAPITULO VI CALIFICACION

A. Calificacion de procedimientos de soldado	67
1. Pasos en la calificación de un procedimiento de soldado	68
2. Cambios en un procedimiento ya calificado	70
B. Calificación de soldadores	71
1. Soldadura de planchas y miembros estructurales	72
2. Soldadura de tubería	72
3. Posiciones de soldado	72
4. Ensayo de soldaduras de prueba	75
5. Re-ensayos	75
6. Registros	75

**CAPITULO VII**  
**DEFECTOS DE ENSAMBLES SOLDADOS**

A.	Defectos dimensionales	79
1.	Defectos dimensionales	79
2.	Preparación incorrecta de la junta	80
3.	Tamaño incorrecto del cordón de soldadura	80
4.	Contorno incorrecto de la soldadura	81
B.	Discontinuidades estructurales	84
1.	Porosidad	84
2.	Inclusiones de escoria	85
3.	Falta de fusión	87
4.	Penetración incompleta	88
5.	Socavación	89
6.	Grietas	91
7.	Irregularidades en la superficie	95
C.	Propiedades defectuosas	96
1.	Metal de soldadura	96
2.	Metal base	96

**CAPITULO VIII**  
**ENSAYOS DESTRUCTIVOS DE SOLDADURAS**

A.	Ensayos Químicos	97
1.	Composición química	97
2.	Ensayos de corrosión	98
B.	Ensayos Metalográficos	98
1.	Ensayos macroscópicos y microscópicos	98
2.	Ensayos de dureza	101
C.	Ensayos Mecánicos	104
1.	Propiedades mecánicas	104
2.	Ensayos de metal de soldadura	107
3.	Ensayos de juntas soldadas	109

**CAPITULO IX**  
**ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

A.	Inspección visual	122
B.	Inspección con partícula magnética	126
C.	Inspección con líquidos penetrantes	135
D.	Inspección radiográfica	139
E.	Inspección ultrasónica	149



	Pág.
F. Ensayos electromagnéticos	158
G. Pruebas de carga	160
H. Pruebas de fugas	161
CONCLUSIONES	163
RECOMENDACIONES	164
BIBLIOGRAFIA	165

## INTRODUCCION

El término soldadura denota el proceso de conectar metales bajo la aplicación de calor y/o presión. Con esta definición el arte de la soldadura abarca un período que va desde la Edad del Hierro hasta los días modernos. En este trabajo, el término "soldadura" se referirá únicamente a la soldadura eléctrica de arco, o sea la unión de metales (acero estructural) utilizando el calor generado por un arco eléctrico, sin la necesidad de aplicar presión.

La soldadura eléctrica por arco no fue posible hasta el descubrimiento del arco eléctrico por Sir Humphrey Davy a principios del siglo 19, quien desarrolló métodos para iniciar y mantener el arco. El arco eléctrico se usó para soldar hasta 1881 utilizando electrodos de carbón. El próximo desarrollo, que siguió casi inmediatamente, fue el reemplazo de las varillas de carbón por varillas metálicas que al fundirse y agregarse a la soldadura, no la afectaban adversamente como los electrodos de carbón. Las postrimerias del siglo 19 y primera década de nuestro siglo vieron un gradual desarrollo del nuevo arte, que se vio severamente limitado por la falta de electrodos apropiados, generadores eléctricos adecuados al alto amperaje y bajo voltaje necesarios para iniciar y mantener el arco eléctrico

Los primeros electrodos fueron de alambre desnudo que daban como resultado soldaduras frágiles. El período que precedió a la Primera Guerra Mundial vio la introducción del electrodo con recubrimiento. En la década siguiente existió, en EE.UU., una fuerte controversia entre los adeptos al electrodo desnudo y los adeptos al electrodo recubierto. Tal vez el rasgo más atractivo de los electrodos desnudos era su bajo precio, y esto era un factor más importante en esa época, que el hecho que únicamente el electrodo revestido era capaz de dar soldaduras sanas y dúctiles. El propósito del recubrimiento del electrodo tenía dos fines; el primero crearle al arco una atmósfera gaseosa protectora del aire (el metal, fundido al estar expuesto al aire absorbe oxígeno y nitrógeno que tienden a hacerlo frágil y menos resistentes a la corrosión), resultante de la descomposición de la cubierta del electrodo; y segundo actuar como fundente que hace flotar las impurezas de la superficie del metal fundido. Los electrodos desnudos no eran capaces de descargar las impurezas de la soldadura, ni de prevenir la dañina oxidación que ocurre a elevadas temperaturas debido a la falta de protección. No sería incorrecto definir la pureza de una soldadura en términos de su ductibilidad, los alambres desnudos tienen muy poca ductibilidad. Aún así, en las primeras décadas del siglo, el electrodo desnudo se usó casi con exclusividad en los EE.UU.

El período entre las dos guerras fue uno de rápida expansión, el electrodo recubierto logró su aceptación, el proceso de soldadura comenzó a competir con el uso de remaches como medio de conexión de juntas y muchas estructuras se construyeron por medio de juntas electrosoldadas exclusivamente. La Segunda Guerra Mundial con sus requerimientos de producción rápida influyó grandemente en el desarrollo de la soldadura de arco, en tal modo, que el uso de la soldadura se adelantó a la implantación de procedimientos de soldado seguros. En particular, el problema de la fractura frágil se volvió crítico respecto a la falla de algunos barcos y puentes \*

Paralelamente a su difusión, o más bien causa racional de la misma, la soldadura de arco ha

---

\* Para mayor información sobre el problema de la fractura frágil ver: Lubahn, J. D., "A review of Engineering Approaches to Brittle Fracture Design", ASME - Handbook Metals Engineering-Design, (1965).

perdido su carácter exclusivo de arte para convertirse en una verdadera técnica. El electrodo y corriente más apropiados a cada trabajo, la preparación previa de las juntas, el espesor y longitud de los cordones de soldadura, la secuencia de soldado y tantas otras variables, responden ya a principios científicos solidamente establecidos, constituyendo los factores técnicos que han de ser especificados en las normas de fabricación, que dictarán la ejecución de un trabajo determinado en el taller o en el campo.

No obstante, al lado de estos "factores técnicos" que se han mencionado, existen los llamados "factores personales" que, en sí, constituyen y constituirán siempre una clase de arte. El encendido y mantenimiento del arco, dirigiéndolo mediante movimientos convenientes para depositar el metal allí donde se requiera y en la forma y dimensiones especificadas son, entre otros, factores exclusivamente del operario, que reclaman su atención cada fracción de segundo, desde que salta el arco hasta que se separa el electrodo para apagarlo. Una ligera variación en el movimiento de oscilación puede producir una socavación en los bordes de la junta; una alteración de la longitud del arco puede ser causa de una falta de penetración o de una inclusión de escoria; de la velocidad de la soldadura y del movimiento de oscilación transversal depende que el cordón se ajuste o no al tamaño especificado. Estos constituyen solo algunos de los defectos que es usual encontrar en las juntas soldadas, cuando la soldadura se ejecuta inadecuadamente.

La importancia de tener soldaduras libres de defectos en las juntas de una estructura soldada, es fácilmente apreciada cuando se toma en cuenta la función estructural que les toca desempeñar dentro del conjunto de miembros que integran una estructura. La principal tarea de la ingeniería estructural, es el diseño de estructuras. Por diseño se quiere dar a entender la determinación de la forma general y todas las dimensiones específicas de una estructura particular, de tal manera que ella pueda desarrollar la función para la que fue creada y pueda soportar las influencias a que estará sometida durante su vida útil. Estas influencias son primariamente las cargas que tendrá que soportar, así como otros factores adversos, tales como cambios de temperatura, asentamientos diferenciales, influencias corrosivas, etc. Uno de los elementos estructurales que son objeto de diseño y cálculo lo constituyen las conexiones soldadas para formar miembros armados, o para conectar entre sí miembros de la estructura. La mayoría de las juntas estructurales soldadas se diseñan para tomar esfuerzos calculados: se selecciona la junta más adecuada para el tipo de esfuerzo a que estará solicitada, y se calcula la cantidad de soldadura necesaria para tomar tal esfuerzo. Entre las estructuras que pueden hacerse continuas por medio de juntas soldadas se puede mencionar: edificios, puentes, torres, calderas, tuberías a presión, partes de máquinas, tanques, etc.

Ninguna estructura es más fuerte que la más débil de sus partes. Gran parte de la seguridad de una estructura se hace depender de la sanidad e integridad de sus soldaduras. Las juntas soldadas pueden constituir el talón de Aquiles de una estructura si no se tiene un adecuado control en su fabricación por medio de una supervisión estricta y permanente, ya que soldaduras defectuosas pueden poner en peligro su estabilidad o su habilidad de funcionar adecuadamente, desvirtuándose por completo el cuidado y esmero puesto en el cálculo estructural de la misma.

La inspección de ensambles soldados envuelve muchos factores que no pueden ser delineados dentro de un código o especificación. Estos factores involucran los principios fundamentales de la operación de soldado y aspectos relacionados con el proceso de soldadura mismo. Entre tales factores están las propiedades básicas de las soldaduras y los metales, métodos de ensayo, e interpretación de planos y especificaciones. En este trabajo sólo se presenta la información básica y aspectos

fundamentales de los factores que determinan la calidad de las soldaduras, así como de los métodos de inspección. Por este carácter amplio y generalizado, cada procedimiento de inspección, su alcance y aplicación, así como los estándares de calidad y normas de aceptación para cada estructura particular, estarán determinados por el conjunto de normas que forman el cuerpo de algún código o especificación particular.

Los ejemplos dados y las referencias hechas a códigos son con carácter ilustrativo únicamente.

En general los siguientes tipos de estructuras soldadas están cubiertas por códigos: edificios, puentes de carreteras y ferrocarril, recipientes (calderas) y tuberías a presión, tanques y depósitos de materiales inflamables o explosivos, oleoductos, buques, etc.

Algunos de estos códigos son:

- Código AWS de Soldadura Estructural, se aplica a edificios, puentes y estructuras tubulares.
- Norma AWWA para tanques elevados, tuberías y recipientes soldados para almacenamiento de agua.
- Código ASME para calderas y recipientes a presión.

## CAPITULO I

### PROCESOS DE SOLDADURA - GENERAL

La tecnología y la ciencia de la soldadura han avanzado tan rápidamente en los años recientes que sería largo enumerar los diferentes métodos de soldadura en uso actualmente (aproximadamente 40 procesos de soldadura son clasificados por la AWS, Sociedad Americana de Soldadura). Sin embargo, esta gran variedad de procesos pueden ser ubicados dentro de dos categorías diferentes:

- A. Soldadura por presión
- B. Soldadura por fusión

#### A. SOLDADURA POR PRESION

Es cualquier proceso de unir metales en que no se funden los metales que se van a unir. Las piezas se someten a un calentamiento local, se colocan íntimamente apretadas la una contra la otra y se unen normalmente sin adición de un metal aparte, mediante una presión de temperatura de deformación en caliente.

Existen tres tipos principales de soldadura sin fusión: forjado, soldadura fuerte y soldadura por resistencia.

##### 1. FORJADO

Las piezas de metal a unir se calientan uniformemente en una fragua hasta una temperatura adecuada. Luego son puestas en la posición deseada y martilladas juntas. Los metales se unen con la presión del martilleo.

##### 2. SOLDADURA FUERTE

Esta es similar a la soldadura con estaño pero mucho más fuerte. En este proceso se usa una varilla de soldar (varilla de un metal con un punto de fusión más bajo que el metal que se va a soldar). Se calienta el metal por soldar a una temperatura inferior a su propio punto de fusión, pero superior al punto de fusión de la varilla de soldadura. El metal fundido de la varilla de soldar une las piezas.

##### 3. SOLDADURA POR RESISTENCIA

La soldadura eléctrica por resistencia se basa en la resistencia que ofrecen al paso de la corriente los planos de la junta de las dos piezas que han de unirse. El calor así producido se emplea para soldar. En este proceso de soldado no se alcanza la temperatura de fusión, la conexión íntima de ambas piezas se obtiene empleando además la presión. Las piezas se colocan en dispositivos de máquinas especiales, después de lo cual se aprietan y soldan a presión. Existe un proceso de fusión parcial el cual consta de precalentamiento, la fusión parcial y la presión ejercida sobre las piezas.

El proceso de soldadura por resistencia se subdivide en:

- a) Soldadura a tope
- b) Soldadura por puntos
- c) Soldadura por costura
- d) Soldadura de proyección.

Ver diagramas esquemáticos de estos procesos en Fig 1.1

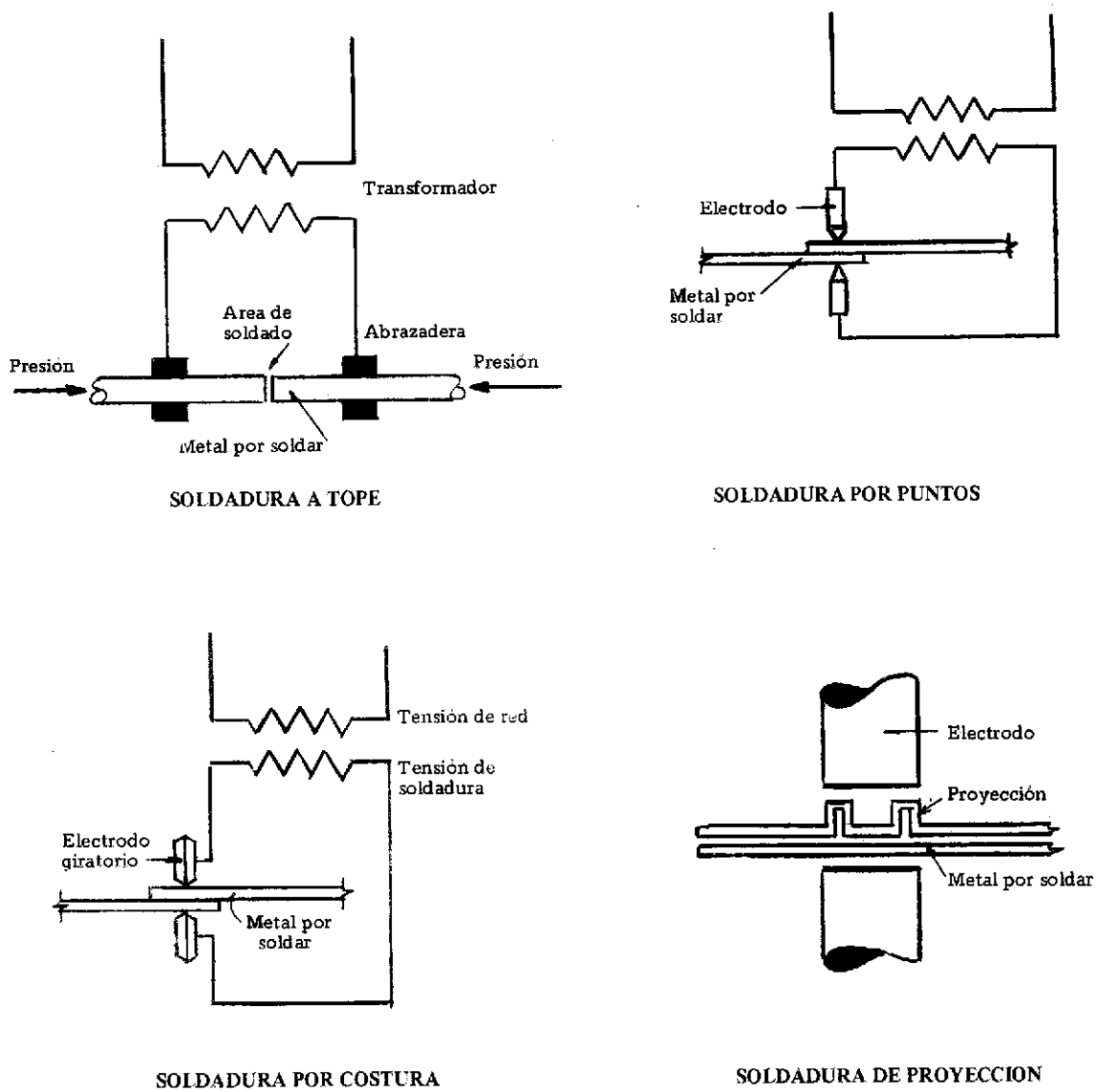


FIGURA 1.1. Fundamentos de los cuatro procedimientos de soldadura por resistencia

a) **Soldadura a tope**

En la soldadura a tope las piezas se colocan punta con punta de modo que la corriente fluya a través de la unión.

b) **Soldadura de punto**

Las piezas son traslapadas y la corriente y presión aplicada en un punto solamente por medio de dos electrodos. Generalmente se aprietan los electrodos a ambos lados de la plancha.

c) **Soldadura de costura**

En la soldadura de costura los electrodos son ruedas móviles que van haciendo soldadura de puntos a intervalos regulares a lo largo de la unión.

d) **Soldadura por proyección**

En la soldadura por proyección se hacen pequeñas protuberancias en la superficie de uno de los metales que se van a soldar. Estas protuberancias o proyecciones son soldadas a otra pieza metálica pasando una corriente eléctrica a través de ella y aplicando presión al mismo tiempo.

En lo esencial, todas las máquinas de soldar por el proceso de soldadura por resistencia se componen de las mismas partes mecánicas y eléctricas. Son el transformador, los dispositivos de fijación y los que ejercen la presión. Se necesitan corrientes de bajas tensiones de soldadura, aproximadamente 2 a 5 voltios y altas intensidades de corriente hasta 100.000 amperios. Los dispositivos de fijación, que se componen de mordazas o electrodos, deben ser buenos conductores de la electricidad, por lo que en general son de cobre. Para eliminar el calor producido durante la soldadura es además necesario emplear el enfriamiento por agua.

La soldadura por resistencia es frecuentemente usada por las industrias metálicas ligeras, en la fabricación de automóviles, refrigeradores, estufas, lavadoras, ductos de calefacción y ventilación, etc.

## B. **SOLDADURA POR FUSION**

La soldadura por fusión es cualquier proceso de unir metales en que se funden los metales que se van a unir. Se realiza exclusivamente por vía térmica, con o sin adición de material análogo (metal de aporte), el cual en fusión ofrece cualidades idénticas o semejantes al metal base. Los principales procesos de soldadura por fusión son:

1. Soldadura Thermita
2. Soldadura por Llama (Gas)

### 3. Soldadura por Arco Eléctrico

Antiguamente tanto la soldadura por llama como la soldadura por arco eléctrico eran permitidos por la AWS (Sociedad Americana de Soldadura), para conectar los miembros de acero estructural. Las disposiciones actuales de la AWS no incluyen el uso de la soldadura de gas en trabajos estructurales; de esta manera, la soldadura de arco eléctrico se ha vuelto el método dominante en la industria de la construcción en acero.

#### 1. SOLDADURA THERMITA

El proceso de soldadura llamado "soldadura Thermita" se utiliza para hacer empalmes soldados en varillas de refuerzo de acero estructural, usado en las construcciones de concreto reforzado.

La soldadura Thermita es un proceso en el cual los extremos de las barras se colocan a tope y son soldados por fusión. La junta se forma alineando las barras y dejando una separación entre ellas. Moldes refractarios se colocan y sellan la junta. Estos moldes tienen unas cavidades que se llenan con polvos exotermicos que se encienden y al quemarse dan suficiente calor para fundir el acero. El acero fundido fluye y llena la separación entre las barras, y otra parte fluye a una segunda cavidad fuera de las barras precalentándolas. El flujo subsecuente completa la fusión. Al enfriarse la junta se abre y retira el molde refractario. (Fig. 1.2).

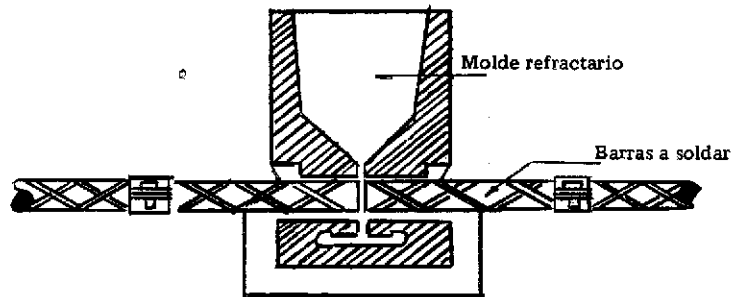


FIGURA 1.2. Soldadura thermita.

Este proceso de soldadura es recomendado por el CRSI (Instituto del Acero del Concreto Reforzado), como una alternativa de la soldadura de arco en la ejecución de empalmes de barras de acero estructural. Sin embargo, cuando no se tiene una inspección adecuada que asegure la ejecución apropiada de las soldaduras, ni se realicen ensayos de control de calidad sobre éstas, el mismo CRSI recomienda el uso de la soldadura Thermita en preferencia a la soldadura de arco para realizar empalmes soldados.



## 2. SOLDADURA POR LLAMA (GAS)

Estos procesos aprovechan el calor producido por los gases al quemarse para fundir los metales. Generalmente se usa la llama de oxi-acetileno, aunque algunas veces se emplean otras mezclas de gas combustible y oxígeno. Los procesos de soldadura con gas son los siguientes:

- Soldadura de gas oxi-acetileno
- Soldadura de gas aire-acetileno
- Soldadura de gas oxi hidrógeno
- Soldadura de oxi-gas de carbón

La soldadura autógena con llama de oxi-acetileno usa dos gases, oxígeno y acetileno. El gas acetileno es la combinación química de dos elementos: carbón e hidrógeno. La combustión del oxígeno con el acetileno produce la llama con temperatura más alta que cualquier combinación gas oxígeno. La temperatura de la llama de oxi-acetileno es aproximadamente de  $3300^{\circ}\text{C}$ . Esta temperatura funde a la mayoría de los metales usados en la industria. Dependiendo del tipo de la junta la unión de las dos piezas puede hacerse o no con metal de aporte suministrado por una varilla de soldadura (Fig. 1.3). La varilla de soldadura es el metal de relleno usado con el soplete, y se fabrican en tantas variedades y tipos como metales hay. Para soldar acero el tipo común de varilla es de acero dulce recubierta con cobre.

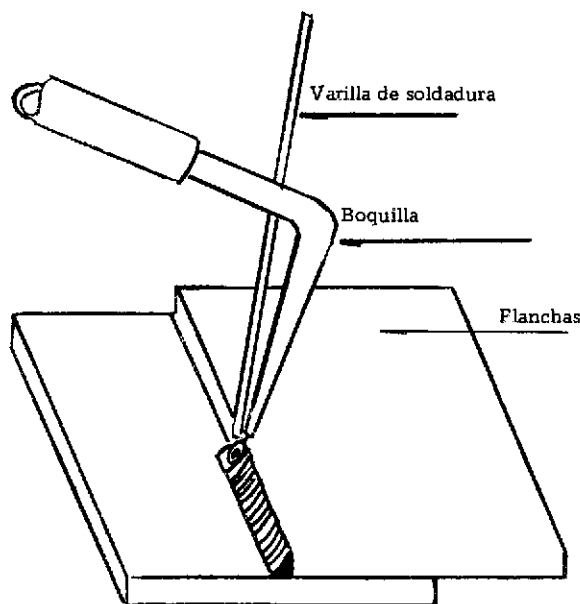


FIGURA 1.3. Soldadura por llama (gas)

### 3. SOLDADURA DE ARCO ELECTRICO

Abarca varios procesos que utilizan las propiedades del arco eléctrico para transformar la energía eléctrica en energía calorífica: es decir, se aprovecha el calor generado por una corriente eléctrica para llevar los metales a la temperatura requerida para la soldadura. El desarrollo de energía térmica es muy grande y puede llegar hasta 4000°C. La fusión del material ocurre sin que se extienda mucho en el metal la zona de elevación de temperatura por lo que se evitan intensas deformaciones, lo que es una ventaja esencial comparada con la soldadura por llama de gases.

#### a) Soldadura con Arco de Carbón

En la soldadura con arco de carbón el arco se establece entre un electrodo de carbón sencillo o doble y los metales por unir. Un portaelectrodo soporta los electrodos de carbón. El arco únicamente provee el calor necesario para ablandar y fundir los metales. No agrega nada al metal base.

#### b) Soldadura con Arco Metálico

En la soldadura de arco metálico se establece una corriente eléctrica entre los metales, y una varilla metálica que sirve como electrodo. Este electrodo es fijado en un portaelectrodos que el soldador sostiene en su mano. El calor requerido para fundir los metales por unir se produce del arco formado cuando salta la corriente eléctrica entre el extremo del electrodo y el metal base. En este proceso son fundidos tanto el metal base como el electrodo.

#### c) Soldadura de Arco Metálico con protección

La soldadura de arco protegido es un método especial, usado para proteger la soldadura. Debido a que el metal fundido con frecuencia se vuelve frágil cuando se expone al aire, se usa un medio de defensa para protegerlo. El medio de defensa puede formarse usando un electrodo recubierto, un gas inerte o un fundente granulado, dependiendo del proceso de soldadura usado.

## RESUMEN

De los procesos de soldadura mencionados anteriormente únicamente los procesos de SOLDADURA DE ARCO METALICO que utilizan algún MEDIO DE PROTECCION, son los que aprueba el Instituto Americano de la Construcción en Acero (AISC), y la AWS para la ejecución de juntas soldadas de miembros de acero estructural.

Los procesos de soldadura de arco recomendados por las últimas especificaciones de la AISC para conectar miembros de acero estructural son:

- Soldadura de arco metálico protegido
- Soldadura de arco sumergido
- Soldadura de arco metálico protegido con gas
- Soldadura de arco con núcleo fundente

De estas técnicas la que se emplea comúnmente en nuestro medio en la construcción de edificios y construcciones de tipo industrial es la primera de ellas: Soldadura de Arco Metálico Protegido ejecutada en forma manual.

Volveremos a hablar de estos procesos de soldadura estructural en el capítulo siguiente.

## CAPITULO II

### PROCESOS DE SOLDADURA ESTRUCTURAL

Como un preámbulo a los procesos para conectar miembros de acero estructural recomendados por la AISC y AWS, es conveniente mencionar brevemente los fundamentos de la soldadura eléctrica de arco, que es la base de dichos procesos.

#### A. SOLDADURA DE ARCO ELECTRICO

##### 1. DESARROLLO HISTORICO

Los primeros usos de la soldadura de arco se remontan a 1885 cuando Benardos aplicó el arco para soldar. En este procedimiento el arco salta entre la pieza (plancha de acero) y un electrodo de carbón, el material adicional consiste en una varilla de hierro que se funde por la alta temperatura del arco. Este método no pudo generalizarse por ofrecer varias desventajas; como son, formación de aleaciones con el carbono, soldaduras porosas y quebradizas.

En 1889 Zereiner desarrolló un procedimiento en el que el arco se forma entre dos electrodos de carbono. Mediante un electroimán alimentado por la corriente de soldadura construido en el portaelectrodos, el arco se desvía de modo que se produce una intensa elevación de temperatura de la pieza. El material adicional es una varilla. Tampoco este procedimiento tuvo aceptación debido a sus inconvenientes.

Slavianoff desarrolló en 1890 el procedimiento que es hoy el más difundido de los métodos de soldadura eléctrica. En este método salta el arco entre la pieza y un electrodo de acero. Este sirve a la vez de material de aporte. Además del acero y de sus diferentes tipos de aleaciones con otros elementos, son soldables así casi todos los metales.

Se necesitaron varios años para obtener máquinas de soldar y electrodos apropiados como resultado de los progresos obtenidos en las primeras experiencias. La Primera Guerra Mundial aceleró en los países industrializados el rápido desarrollo del proceso al necesitarse reparaciones urgentes de armamento. Después de la guerra vinieron técnicas y equipos nuevos a un paso acelerado y se estableció la aceptación de la soldadura como un método para efectuar conexiones. En los EE.UU. las primeras aplicaciones se hicieron en el taller, bajo condiciones controladas y al obtener una mayor experiencia, se aplicó el método en el campo para viguetas continuas y vigas de puentes, o para edificios de 50 o más pisos.

##### 2. PROPIEDADES DEL ARCO ELECTRICO

Para ilustrar el proceso de soldadura de arco, nos referiremos a la Fig. 2.1. La potencia es suministrada por un generador portátil que es conectado por medio del cable de tierra al metal base y por medio del cable del electrodo a un portaelectrodos.

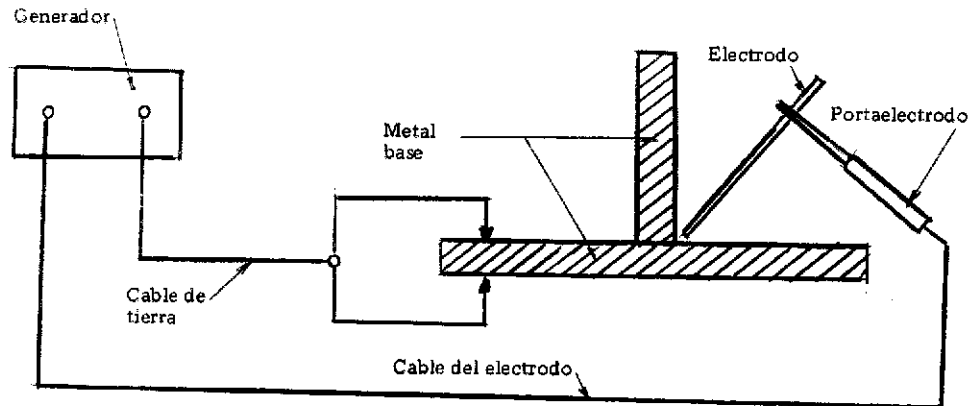


FIGURA 2.1. Esquema del proceso de soldadura de arco.

En condiciones normales el aire no es conductor, la ionización lo convierte en tal. La soldadura se inicia por la formación de un corto circuito (contacto del electrodo con la pieza). El calor así producido conduce a una migración de electrones desde el cátodo (polo negativo) hacia el ánodo (polo positivo). Un átomo se compone del núcleo y electrones que giran alrededor de él en una o varias órbitas. El sistema se encuentra en equilibrio por la fuerza centrífuga de los electrones que giran a alta velocidad. Ese estado de equilibrio se rompe al elevarse la temperatura y encontrarse en estado líquido, pues la pieza y el electrodo por tener polos opuestos ejercen fuerzas de atracción sobre cada uno de esos sistemas compuestos del núcleo y los electrones en rotación alrededor de él. Así el núcleo de signo positivo es atraído por el cátodo en los métodos comunes de soldadura y los electrones de carga negativa, por el ánodo. Los electrones chocan violentamente por su gran velocidad contra la pieza y su energía cinética se transforma en calor adicional. El punto de salida del arco se encuentra en el lugar de temperatura más elevada del cátodo, lo que ha dado en llamarse "mancha catódica".

La polaridad exacta del electrodo y la pieza tiene excepcional importancia para obtener una buena soldadura. Al intentar hacer saltar el arco con un electrodo metálico y una plancha de acero, se ve que si la plancha es el polo positivo y el electrodo el negativo es imposible obtener un arco. Si la polaridad se invierte, al mover el electrodo el arco arde con mucha irregularidad y la migración del material es menor.

Mediante las medidas con el oscilógrafo y la fotografía se ha estudiado la migración en forma de gotitas. Según la clase de electrodo y las condiciones en que se efectúa la soldadura varía de 10 hasta 40 gotitas por segundo. Las características especiales del arco requieren de los dispositivos de soldadura y el material adicional (electrodos), requisitos bien determinados, si quiere obtenerse una buena soldadura.

Las características y propiedades del arco son:

- Al aumentar la intensidad disminuye la tensión del arco.
- La temperatura del polo positivo es más alta que la del negativo.
- El trayecto entre la pieza y el electrodo que al principio no es conductor, adquiere esa propiedad después de establecer el corto circuito.
- Ese trayecto sigue siendo conductor durante un intervalo muy corto, después de la extinción del arco.

Las consideraciones expuestas hasta ahora se refieren al arco producido mediante corriente continua. En la corriente alterna ocurre un cambio continuo de tensión entre el polo positivo y el negativo, lo que significa que el arco se corta y debe encenderse de nuevo. Los electrodos desnudos no sirven para la soldadura con corriente alterna, debe ionizarse adicionalmente el trayecto, es decir, convertirse en conductor. Para este fin han de emplearse electrodos con una cubierta adicional.

### 3. DESVENTAJAS DE LA SOLDADURA DE ARCO CON ELECTRODO DESNUDO

En los procesos de soldadura estructural, la AWS prohíbe la utilización de electrodos desnudos ya que el arco y el metal fundido están en contacto con el oxígeno y el nitrógeno del aire, los cuales modifican la estructura del metal depositado. El oxígeno genera una combustión parcial del material. El material fundido absorbe el nitrógeno y después de su solidificación se hace frágil y menos resistente a la corrosión. Aunque la soldadura haya obtenido una resistencia suficiente, el límite de elasticidad es siempre inferior al del metal base y por consiguiente no resistirá el envejecimiento (pérdida de ductibilidad).

Al soldar con electrodo desnudo el depósito se compone de gotas grandes y el fluido de la fusión es fácil de observar (viscoso, no forma inclusiones). Con un electrodo desnudo, el arco no es de gran regularidad, ya que su punto de cebado se desplaza por causa de los cortos circuitos producidos por la entrada de las grandes gotas al baño de fusión. El arco se reenciende después del paso de cada una de las gotas.

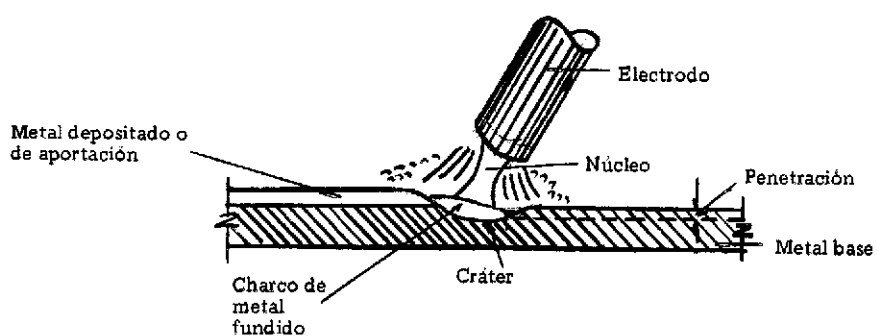


FIGURA 2.2. Soldadura de arco sin protección.

## B. PROCESOS DE SOLDADURA ESTRUCTURAL

Las actuales especificaciones de la AISC recomiendan cuatro tipos de soldadura de arco para realizar las conexiones de elementos de acero estructural, siendo el primero de ellos el más ampliamente usado en nuestro medio para tales fines.

1. Soldadura de arco metálico protegido
2. Soldadura de arco sumergido
3. Soldadura de arco metálico protegido con gas
4. Soldadura de arco y núcleo fundente.

El S.W.C. (Código de Soldadura Estructural) de la AWS señala otros tres procesos de soldadura adicionales.

5. Soldadura con electroescoria
6. Soldadura electrogas
7. Soldadura de conectores

De acuerdo al S.W.C. los cuatro primeros procesos cuando se ejecutan de acuerdo a las recomendaciones contenidas en las diversas secciones de tal Código, se consideran como precalificados y por tanto son aprobados para su uso sin necesidad de efectuar "pruebas de calificación de procedimiento" (la demostración que soldaduras ejecutadas según un procedimiento específico llenan estándares prescritos). Los procesos de soldadura por electroescoria y electrogas pueden ser usados, siempre que los procedimientos (conjunto de pasos que definen en forma detallada la secuencia y forma, de ejecutar una actividad, de acuerdo a normas pre-establecidas) sigan las recomendaciones aplicables, y que el contratista califique tales procedimientos de acuerdo a los requerimientos dados por el Código. La soldadura de conectores puede ser usada cuando los procedimientos empleados conformen los requerimientos aplicables del Código.

### 1. SOLDADURA DE ARCO METALICO PROTEGIDO

Es un proceso de soldadura de arco donde la fusión es producida por calentamiento con un arco eléctrico entre un electrodo de metal con revestimiento y las piezas a soldar. La protección se obtiene de la descomposición de la cubierta del electrodo y el metal de aportación se obtiene del electrodo mismo.

El campo de aplicación de la soldadura por arco experimento un gran aumento por el desarrollo del electrodo revestido, pues tiene la ventaja de mejorar particularmente la bondad de las soldaduras, si se compara con las obtenidas por otros tipos. Así no sólo fue posible obtener en las soldaduras las cualidades del acero sino además aumentarlas. El revestimiento del electrodo se obtiene por inmersión repetida o, en general, por presión.

El revestimiento del electrodo tiene diferentes finalidades:

- Buena ionización del segmento del arco, lo que conduce a una fusión equilibrada y uniforme del electrodo.

- Los gases de combustión que se forman actúan en parte como protectores que dificultan bastante el acceso del oxígeno y del nitrógeno, por lo que se obtienen valores excelentes para el alargamiento y la tenacidad.
- La escoria en fusión cubre al principio el metal en el mismo estado e impide también aquí la absorción del oxígeno y nitrógeno. Además la escoria evita que la soldadura se enfríe rápidamente. Tanto la escoria como las burbujas de gas flotan sobre el metal líquido (metal sin porosidades).
- Finalmente puede agregarse al revestimiento determinados metales o aleaciones de ellos para obtener determinadas cualidades deseadas. Esto es particularmente válido para los electrodos altamente aleados.

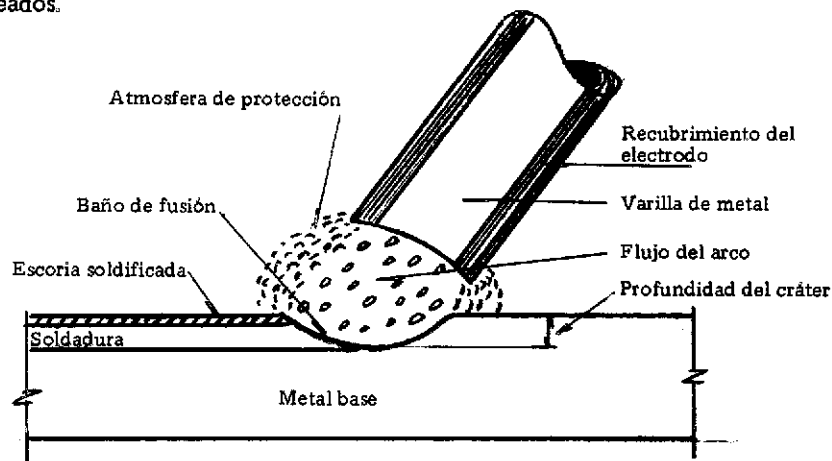


FIGURA 2.3. Soldadura de arco metálico protegido.

## 2. SOLDADURA DE ARCO SUMERGIDO

Es un proceso en que la unión de las piezas se produce por el calentamiento originado por un arco eléctrico (o arcos) entre un electrodo (o electrodos) de metal desnudo y las piezas a soldar. La zona de soldadura es protegida por una capa de material granular fundible, que la cubre totalmente. No se usa presión y el metal de aportación se obtiene del propio electrodo o por una varilla suplementaria. El material fundible de protección, es conocido como "fundente", aunque desempeña funciones adicionales a las de fundir.

En la soldadura de arco sumergido no hay evidencia visible del paso de corriente entre el electrodo y las piezas que se soldan. El electrodo, de hecho, no está en contacto con las piezas, la corriente pasa a través de la separación de los minerales finamente molidos de que se compone el fundente. Es un producto tan especialmente fabricado que, aún cuando se lleva a altas temperaturas en la zona de soldadura, no emana cantidad apreciable de gas. Este material fino, seco y corredizo, se aplica



manual o automáticamente a lo largo de la separación de la junta que se va a soldar.

De esta manera, tanto la punta del electrodo como el baño de soldadura quedan completamente cubiertos durante la operación de soldadura, que se produce debajo del fundente sin chispas, salpicaduras, humo o llamaradas. No se necesita careta de protección, máscara ni expulsador de humo o sistema de ventilación, con excepción de espejuelos rutinarios de los ojos.

El calor producido por este proceso funde el material del fundente alrededor del arco, mientras que la parte superior visible del fundente, se mantiene inalterable en apariencia y propiedades, pudiéndose usar nuevamente. El fundente al fusionarse produce condiciones excepcionalmente convenientes para utilizar altas intensidades de corriente.

Las cualidades de aislamiento del fundente permiten concentrar el calor intenso en una zona de soldadura relativamente pequeña, en donde se fusionan rápidamente el electrodo y las piezas. En estas condiciones es posible hacer soldaduras a altas velocidades, obteniéndose gran penetración debido al calor concentrado. Consecuentemente pueden hacerse soldaduras en ranuras relativamente pequeñas con poca cantidad de metal de aportación.

Este proceso es adaptable a gran variedad de materiales y aplicaciones, tales como soldaduras a tope, de ángulo y de tapón, y es utilizable en trabajos tales como la reconstrucción de superficies desgastadas y reparación de acero fundido. Pueden hacerse soldaduras de uno o dos pases en cualquier grueso de acero desde calibre 16 hasta 3" o más, a velocidades que pueden variar entre 3 y 80 pulgadas por minuto.

Hay una gran variedad de industrias que usan ampliamente este proceso, tales como los fabricantes de calderas, carros y tanques de ferrocarril, barcos, estructuras de maquinaria y otros.

### **3. SOLDADURA DE ARCO PROTEGIDO CON GAS**

En este proceso la unión se obtiene por la fusión producida por un arco eléctrico, mantenido en el extremo de un electrodo de metal consumible (o inconsumible) y las piezas que se van a soldar, estando el arco protegido por un gas alrededor de la zona de soldar. El gas puede o no ser inerte, y puede añadirse o no metal de aportación.

#### **a) Soldadura eléctrica metálica de alimentación constante con protección de gas**

En la soldadura de arco protegido con gas, comúnmente llamado MIG o proceso  $CO_2$ , la unión es producida por el calentamiento originado por un arco eléctrico entre el metal de aporte (consumible) alimentado automáticamente y la pieza a soldar. La protección del arco se obtiene por un gas o mezcla de gas y fundente. El anhídrido carbónico ( $CO_2$ ) proporciona una protección muy económica para la soldadura semiautomática (manual) y para la totalmente automática (operada mecánicamente) en trabajos en acero dulce (acero bajo en carbono, menos de 0.20%) y de aleaciones ligeras.

La transferencia de material a través de la columna del arco protegido con gas es mucho más eficiente que la que se obtiene con los electrodos recubiertos y con los no consumibles del proceso de gas inerte y tungsteno. El metal supercalentado que pasa a través del arco permite hacer

soldaduras muy rápidas, y esto se realiza en una atmósfera que evita la contaminación del oxígeno y nitrógeno del aire.

Generalmente se usa un alambre desnudo como metal de aporte, que produce buenas soldaduras sin las complicaciones de escoria y limpieza requeridas en otros procesos. Viene este alambre en calibres de 0.020" hasta 5/32" de diámetro y en rollos de diferentes pesos.

#### **b) Soldadura eléctrica con electrodos de tungsteno y protección de gas (Tig)**

Se aplica generalmente a la soldadura de metales no ferrosos, como aluminio, acero inoxidable, magnesio, cobre, etc., obteniéndose soldaduras con propiedades químicas, metalúrgicas y físicas iguales a las del metal base.

En este proceso la unión de las piezas a soldar se produce por calentamiento de un arco eléctrico entre un electrodo de tungsteno (no consumible) y la pieza, manteniendo el arco debidamente protegido por un gas o mezcla de gases (que puede contener un gas inerte: argón o helio). Puede usarse presión y puede añadirse metal de aportación según sea necesario. El electrodo de tungsteno no se consume a pesar de la gran intensidad de corriente utilizada. No hay chispas, salpicaduras, ni humo y el calor concentrado en el arco hace posible obtener altas velocidades y soldaduras con mucha penetración y poca deformación del metal base.

### **4. SOLDADURA DE ARCO CON NUCLEO FUNDENTE**

Es un proceso de soldadura de arco donde la fusión es producida por calentamiento con un arco eléctrico, entre un electrodo metálico de aporte continuo y las piezas a soldar. La protección del arco se obtiene del fundente contenido dentro del electrodo. Protección adicional puede o no obtenerse de un gas o mezcla gaseosa suministrada externamente.

### **5. SOLDADURA CON ELECTROESCORIA**

Es un proceso de soldadura donde la fusión es producida por escoria derretida que funde el metal de aportación y las superficies del trabajo a ser soldado. El baño de fusión es protegido por esta escoria que se mueve a lo largo de la sección total de la junta conforme la soldadura progresa. La escoria conductora se mantiene derretida debido a su resistencia al paso de la corriente eléctrica entre el electrodo y las piezas a soldar.

### **6. SOLDADURA ELECTROGAS**

Este no es más que un método de soldadura con arco protegido por gas o soldadura de arco con núcleo fundente, donde moldes confinan al metal de soldadura fundido cuando se está efectuando la soldadura en posición vertical.

### **7. SOLDADURA DE CONECTORES**

Es un proceso de soldadura de arco donde la fusión es producida por calentamiento con un

arco que salta entre un conector de metal o pieza similar y la otra pieza del trabajo, hasta que las superficies a ser soldarse se calientan adecuadamente, cuando son unidas a presión. Puede obtenerse protección parcial por medio de una camisa de cerámica que rodea al conector. Puede o no usarse gas protector o fundente.

## III

## JUNTAS ESTRUCTURALES SOLDADAS

## A TIPOS DE JUNTAS

Existen cinco tipos básicos de juntas soldadas, clasificándose de acuerdo a la posición que guardan entre sí las planchas a unir. Estas son (Fig 3.1):

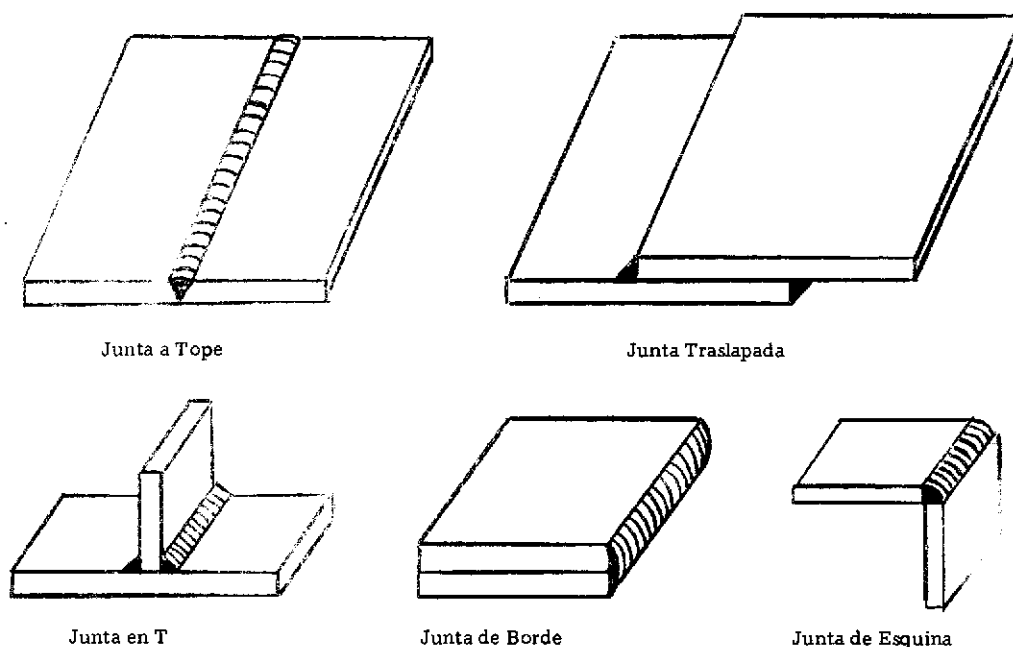


FIGURA 3.1. Tipos de juntas soldadas.

### 1. JUNTA A TOPE:

La junta a tope es la unión entre miembros que caen en el mismo plano.

### 2. JUNTA TRASLAPADA:

La junta traslapada es la unión entre miembros que se traslapan en planos paralelos. Este tipo de unión algunas veces es usado en lugar de la unión a tope, en lugar de poner los extremos de las planchas juntos, éstos se sobreponen.

### 3. JUNTA EN T

Es la unión entre dos miembros que se encuentran localizados formando aproximadamente un ángulo recto en forma de una T.

### 4. JUNTA DE ESQUINA

Es la unión entre dos miembros que se encuentran localizados formando aproximadamente un ángulo recto en forma de una L.

### 5. JUNTA DE BORDE

La junta de borde es la unión entre miembros que tienen sus extremos o filos paralelos.

## B. TIPOS DE SOLDADURA

La unión de juntas estructurales puede realizarse a través de tres tipos básicos de soldaduras (Fig. 3.2), que son:

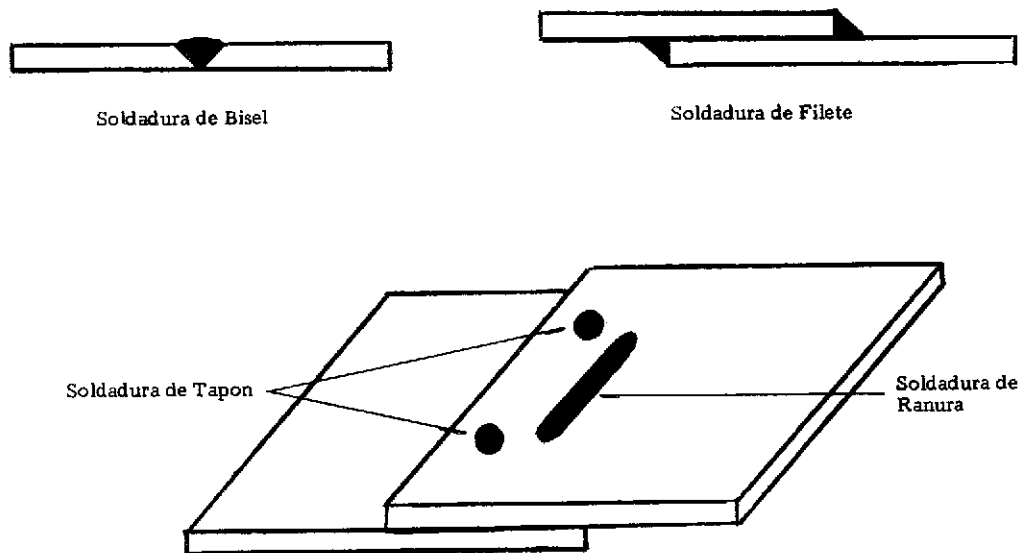


FIGURA 3.2. Tipos de soldaduras de unión.

1. Soldadura de bisel
2. Soldadura de filete
3. Soldaduras de tapón y de ranura

Las soldaduras de bisel y de filete son los dos tipos principales. La diferencia básica entre ellas es la forma en que cada una transmite los esfuerzos. Normalmente, las soldaduras de bisel trabajan en tensión o compresión directas. Mientras que las soldaduras de filete soportan principalmente esfuerzos de corte acompañados por alguna tensión o compresión y flexión. Las soldaduras de filete son prácticamente todas de un tipo, de forma casi triangular y colocadas en el ángulo recto formado por planchas traslapadas.

## 1. SOLDADURA DE BISEL

Las soldaduras de bisel pueden ser de varios tipos, dependiendo de la forma en que estén preparados los cantos de las planchas que forman la junta. Estos son: bisel a escuadra, en V sencilla, en V doble, bisel sencillo, bisel doble, bisel en U sencilla, en U doble, bisel en J sencilla y bisel en J doble (Fig 3.3).

La soldadura de bisel a escuadra no requiere preparación de los bordes de las piezas a ser conectadas, pero no resulta satisfactoria cuando el material tiene más de 5/16" de espesor. Excepto para la junta con bisel a escuadra, el tipo de bisel depende parcialmente del espesor de las planchas que se van a unir, y parcialmente de la posición de soldado. También existen consideraciones de tipo económico, en materiales pesados los biseles dobles y uniones en V ahorran considerable cantidad de soldadura. Por supuesto, es necesario poder soldar por ambos lados la junta. Hacer que los miembros ensamblen correctamente requiere que las piezas sean cortadas con bastante precisión a su longitud exacta y esto resulta caro. Una separación exagerada entre los bordes de las planchas a soldar malgasta metal de soldadura. Para mantener la resistencia es necesario aumentar las dimensiones del cordón según la separación de los bordes. Por estas razones, las conexiones estructurales se hacen comúnmente con soldaduras de filete, aun cuando la soldadura de bisel posee mayor resistencia que la de filete.

Aparte de la división anterior de las soldaduras de bisel, éstas pueden clasificarse en soldaduras de bisel de "penetración completa" o de "penetración parcial", según exista o no fusión completa de la soldadura y del metal base a través de todo el espesor de la junta.

### a) Soldadura de bisel de penetración completa

Es una soldadura de bisel que ha sido depositada de ambos lados de la junta, o de un lado únicamente utilizando del otro lado un material de respaldo (soporte), teniendo penetración completa y fusión de la soldadura y el metal base a través de todo el espesor de la junta. El respaldo es material (metal, asbestos, carbón fundente granulado, etc.) soportando la unión por el lado opuesto durante la operación de soldado para mejorar la calidad de la unión en la raíz. Pueden ser tiras, aros, placas (Fig.3.4).

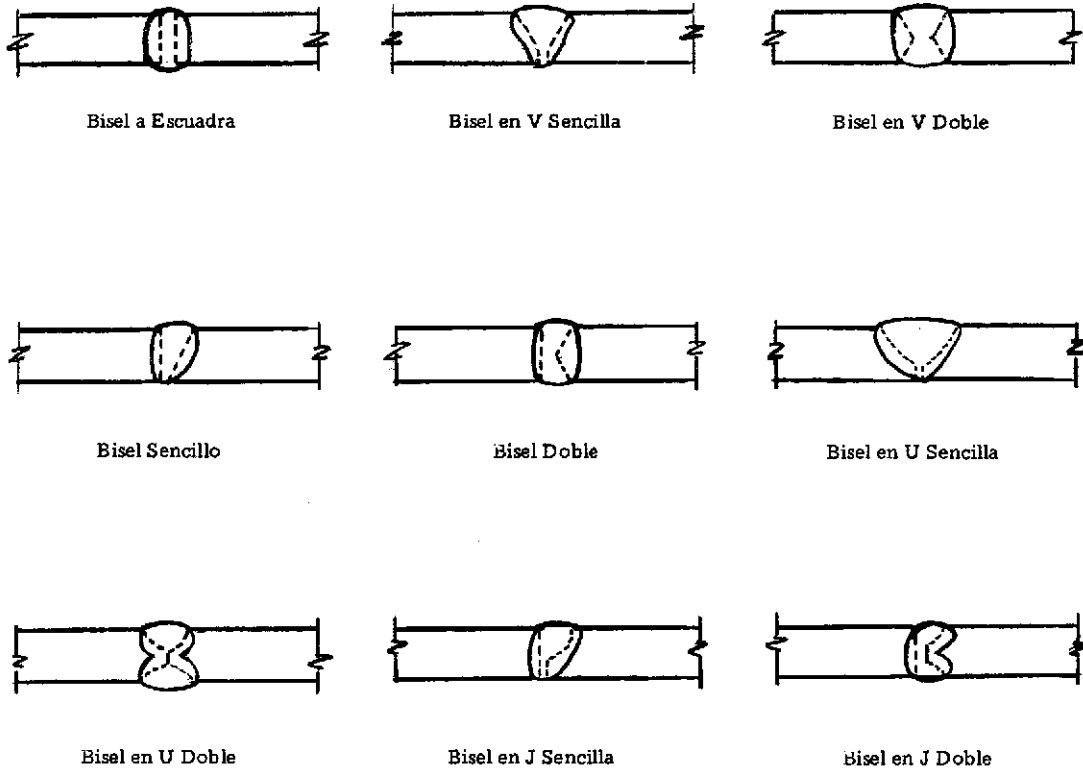


FIGURA 3.3. Tipos de soldaduras de bisel.

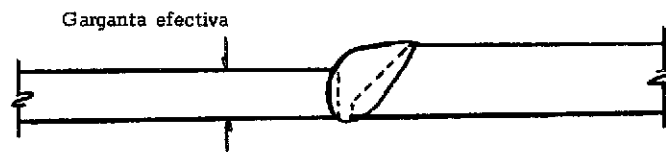


FIGURA 3.4. Soldadura de bisel de penetración completa.

### b) Soldadura de bisel de penetración parcial

Es una soldadura de bisel que ha sido depositada de uno o ambos lados de la junta y que tiene una penetración menor que el espesor total de la junta (Fig. 3.5). Soldaduras efectuadas desde un solo lado sin usar respaldo, o soldadas de ambos lados pero sin haber formado chaflán del otro lado después de haber soldado el primero, se consideran como soldaduras de penetración parcial.

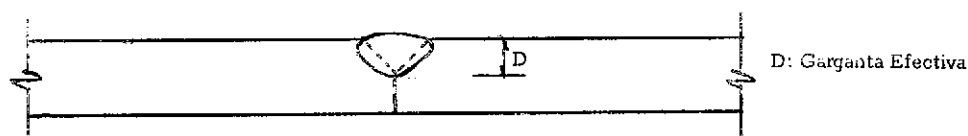


FIGURA 3.5. Soldadura de bisel de penetración parcial.

### c) Dimensiones características de las soldaduras de bisel

En general, el esfuerzo en una soldadura se define como la carga aplicada dividida por el "área efectiva" de la soldadura. A su vez, el área efectiva se define como el producto de la "longitud efectiva" por la "garganta efectiva" de la soldadura

- Longitud efectiva: la longitud efectiva de cualquier soldadura de bisel a escuadra u oblicuo, es el ancho de la pieza unida en dirección perpendicular al esfuerzo.
- Garganta efectiva: El espesor de garganta efectiva en una junta con soldadura de penetración completa es el espesor de la más delgada de las planchas conectadas por la soldadura. En una junta con soldadura de penetración parcial, el espesor mínimo de garganta efectiva es el señalado en la Tabla 3A.



Espesor de la parte más gruesa unida (pulgadas)		Tamaño mínimo de garganta efectiva (pulgadas)
hasta 1/4	incl.	1/8 (I)
1/4 a 1/2	incl.	3/16
1/2 a 3/4	incl.	1/4
3/4 a 1 1/2	incl.	5/16
1 1/2 a 2 1/4	incl.	3/8
2 1/4 a 6	incl.	1/2
más de 6	incl.	5/8
(I) Para puentes el valor mínimo es 3/16.		

**TABLA 3A. Tamaños mínimos de garganta efectiva en juntas de penetración parcial con soldadura de bisel**

#### **d) Juntas precalificadas para soldadura de bisel**

El S.W.C. señala, para los distintos procesos de soldadura aprobados, diversos grupos de juntas soldadas a las que considera precalificadas para determinado proceso, y que por lo tanto pueden ser usadas sin tener que pasar "pruebas de calificación de procedimiento de soldado de juntas". (Ver Capítulo VI: Calificación).

En general, un procedimiento es un conjunto de pasos que definen en forma detallada la secuencia y forma de ejecutar una actividad, de acuerdo a normas pre-establecidas. Entonces, una calificación de procedimiento consiste en la demostración que soldaduras ejecutadas según un procedimiento específico, llenan estándares prescritos.

Las Figs. 3.6, 3.7 y 3.8 muestran juntas soldadas precalificadas para el proceso de soldadura manual de arco metálico protegido. Tales juntas se consideran precalificadas siempre que se ajusten a los detalles especificados en las figuras, con las limitaciones señaladas en las secciones 2.9 y 2.10 del S.W.C., y que se ejecuten con soldadura manual de arco metálico protegido, de acuerdo a los requerimientos de manufactura y técnicas señaladas por el Código. No reproducimos los otros grupos de juntas que se consideran como precalificados para cada uno de los demás procesos de soldadura, por no ser dichos procesos de uso común en nuestro medio.

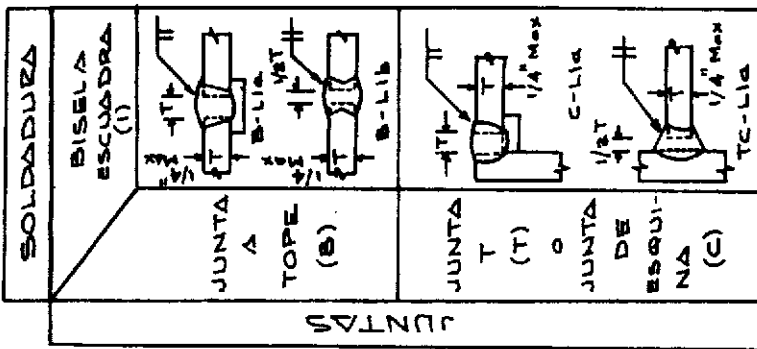
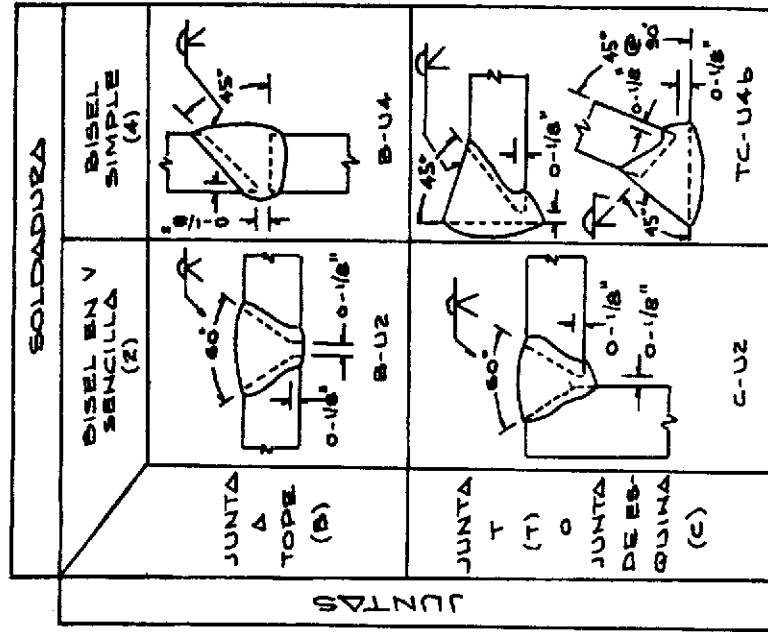
Señala el S.W.C. que los detalles de junta pueden apartarse de los detalles prescritos en las Figs. 3.6 y 3.7 y 3.8, únicamente si el Contratista somete a la aprobación del Ingeniero (persona que vela por los intereses del propietario y actúa en su nombre) sus juntas y procedimientos de soldado propuestos, y de su bolsillo demuestra que son adecuados según los procedimientos de calificación del Código y están de acuerdo a las demás recomendaciones aplicables del mismo.

Es conveniente señalar que aun cuando teóricamente las juntas precalificadas por especificación, deberían ser juntas que pueden fabricarse con poca dificultad por un soldador calificado, algunas de estas juntas pueden presentar dificultades si su ejecución no se ajusta a tolerancias estrictas, especialmente cuando se exigen ensayos radiográficos de calidad.

BISEL EN V		BISEL		BISEL EN U		BISEL EN J																																								
		V SIMPLE (2)	V DOBLE (3)	SIMPLE (4)	DOBLE (5)	U SIMPLE (6)	U DOBLE (7)	J SIMPLE (8)	J DOBLE (9)																																					
A TOPE (B)																																														
T (T) O DE ESQUINA (C)																																														
LIMITACIONES PARA JUNTAS B-U2a, B-U3a Y C-U2a		LIMITACIONES PARA JUNTAS TC-U4c, TC-U4d, TC-U5a Y TC-U5c		LIMITACIONES PARA JUNTAS B-U6, B-U7 Y C-U6		LIMITACIONES PARA JUNTAS TC-U8a, TC-U8b, TC-U8a Y TC-U8b		LIMITACIONES PARA JUNTAS TC-U8a, TC-U8b, TC-U8a Y TC-U8b																																						
<table border="1"> <tr><td>α</td><td>R</td><td>POSICIONES PERMITIDAS</td></tr> <tr><td>45°</td><td>1/4"</td><td>TODAS</td></tr> <tr><td>30°</td><td>3/8"</td><td>POSICION PLANA Y SOBRECABEZA</td></tr> <tr><td>20°</td><td>1/2"</td><td>SOBRECABEZA</td></tr> </table>		α	R	POSICIONES PERMITIDAS	45°	1/4"	TODAS	30°	3/8"	POSICION PLANA Y SOBRECABEZA	20°	1/2"	SOBRECABEZA	<table border="1"> <tr><td>α</td><td>R</td><td>POSICIONES PERMITIDAS</td></tr> <tr><td>45°</td><td>1/4"</td><td>TODAS</td></tr> <tr><td>30°</td><td>3/8"</td><td>PLANA Y SOBRECABEZA</td></tr> </table>		α	R	POSICIONES PERMITIDAS	45°	1/4"	TODAS	30°	3/8"	PLANA Y SOBRECABEZA	<table border="1"> <tr><td>α</td><td>R</td><td>POSICIONES PERMITIDAS</td></tr> <tr><td>45°</td><td>TODAS</td><td>TODAS</td></tr> <tr><td>30°</td><td>PLANA Y SOBRECABEZA</td><td>PLANA Y SOBRECABEZA</td></tr> </table>		α	R	POSICIONES PERMITIDAS	45°	TODAS	TODAS	30°	PLANA Y SOBRECABEZA	PLANA Y SOBRECABEZA	<table border="1"> <tr><td>α</td><td>R</td><td>POSICIONES PERMITIDAS</td></tr> <tr><td>45°</td><td>TODAS</td><td>TODAS</td></tr> <tr><td>30°</td><td>PLANA Y SOBRECABEZA</td><td>PLANA Y SOBRECABEZA</td></tr> </table>		α	R	POSICIONES PERMITIDAS	45°	TODAS	TODAS	30°	PLANA Y SOBRECABEZA	PLANA Y SOBRECABEZA
α	R	POSICIONES PERMITIDAS																																												
45°	1/4"	TODAS																																												
30°	3/8"	POSICION PLANA Y SOBRECABEZA																																												
20°	1/2"	SOBRECABEZA																																												
α	R	POSICIONES PERMITIDAS																																												
45°	1/4"	TODAS																																												
30°	3/8"	PLANA Y SOBRECABEZA																																												
α	R	POSICIONES PERMITIDAS																																												
45°	TODAS	TODAS																																												
30°	PLANA Y SOBRECABEZA	PLANA Y SOBRECABEZA																																												
α	R	POSICIONES PERMITIDAS																																												
45°	TODAS	TODAS																																												
30°	PLANA Y SOBRECABEZA	PLANA Y SOBRECABEZA																																												

FIG. 3.6

JUNTAS SOLDADAS DE PENETRACION COMPLETA PRECALIFICADAS PARA SOLDADURA MANUAL DE ARCO METALICO PROTEGIDO - METAL BASE DE ESPESOR LIMITADO (U)



JUNTAS SOLDADAS DE PENETRACION COMPLETA PRECALIFICADAS PARA SOLDADURA MANUAL DE ARCO METALICO PROTEGIDO.  
METAL BASE DE ESPESOR LIMITADO (U)

JUNTAS SOLDADAS DE PENETRACION COMPLETA PRECALIFICADAS PARA SOLDADURA MANUAL DE ARCO METALICO PROTEGIDO.  
METAL BASE DE ESPESOR ILIMITADO (U)

FIG. 3.7



SOLDADURA			
BISEL A ESCUADRA		BISEL EN V SENCILLA	
<p>1/32 - 1/8" T T</p>	<p>3/32" MIN T T</p>	<p>1/32 - 1/8" 3/32 MIN T T</p>	<p>0 - 1/8" 3/32 MIN T T</p>
<p>GARGANTA EFECT T T MAX = 1/8" B-P1a **</p>	<p>GARGANTA EFECT T T MAX = 1/4" B-P1b</p>	<p>GARGANTA EFECT T T MAX = 1/4" B-P1c **</p>	<p>GARGANTA EFECT T T MAX = 1/2" B-P2 **</p>

\*\* Juntas soldadas únicamente de un lado

SOLDADURA							
BISEL EN V		BISEL		BISEL EN U		BISEL EN J	
<p>60° T T</p>	<p>45° T T</p>	<p>45° 1/4" R T T</p>	<p>45° 1/8" R T T</p>	<p>45° 1/4" R T T</p>	<p>45° 1/4" R T T</p>	<p>45° 1/8" R T T</p>	<p>45° 1/8" R T T</p>
<p>GARGANTA * EFECTIVA = D BC-P2</p>	<p>GARGANTA * EFECT = D - 1/8" BTC-P4</p>	<p>GARGANTA * EFECT = D - 1/8" BTC-P5</p>	<p>GARGANTA * EFECTIVA = D * BC-P6</p>	<p>GARGANTA * EFECT = D * BTC-P7</p>	<p>GARGANTA * EFECT = D * BTC-P8</p>	<p>GARGANTA * EFECT = D * BTC-P9</p>	<p>GARGANTA * EFECT = D * BTC-P9</p>

\* Garganta mínima efectiva según tabla 3A

FIG. 3.8  
JUNTAS SOLDADAS DE PENETRACION PARCIAL (P) PRECALIFICADAS  
PARA SOLDADURA MANUAL DE ARCO METALICO PROTEGIDO

## 2. SOLDADURA DE FILETE

Ensayos han mostrado que la falla de soldaduras de filete es comúnmente debido a debilidad en corte en la garganta. Por tanto la resistencia de tales soldaduras se calcula en base al corte en la "garganta efectiva", independientemente de la dirección de la carga aplicada

El "tamaño" de una soldadura de filete (Fig.3.9), es la longitud del lado AB o BC del mayor triángulo rectángulo isósceles que pueda inscribirse en la sección transversal de la soldadura. La "raiz" del filete es el punto B.

L: lado  
G: garganta efectiva  
B: raiz

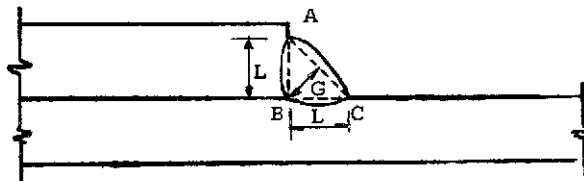
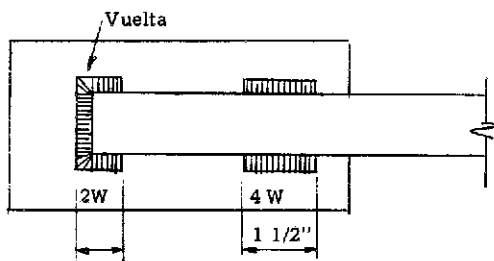


FIGURA 3.9. Soldadura de filete.

Una soldadura de filete generalmente tiene una superficie ligeramente convexa. Este material adicional, llamado "refuerzo", no se incluye en la determinación de la resistencia de la soldadura. El espesor de "garganta efectiva" (garganta teorica) es la distancia más corta de la raíz a la cara de la soldadura diagramática

La "longitud efectiva" de una soldadura de filete es su largo total, incluyendo vueltas en los extremos. El valor mínimo de esta longitud no puede ser menor que cuatro veces el tamaño nominal de la soldadura, o se considera que esta no excede 1/4 de su longitud (Fig.3.10). El "área efectiva" de una soldadura de filete es el largo efectivo multiplicado por el espesor de garganta efectiva.



W: tamaño del filete de soldadura.

Vuelta mínima:  $2W$

Longitud mínima:  $4W$  ó  $1\ 1/2''$

FIGURA 3.10. Dimensiones mínimas de longitud efectiva.

a) **Tamaño mínimo de filete**

Cuando se usa una soldadura pequeña en planchas relativamente gruesas (por ejemplo una soldadura de 5/16" en planchas de 2"), el proceso de soldado no calentará las planchas más allá de la vecindad inmediata de la soldadura. La gran masa de las planchas gruesas enfría la soldadura muy rápido y como consecuencia tiende a hacerla quebradiza (frágil). Para ayudar a controlar esta situación, el S.W.C. especifica el tamaño mínimo de filete para determinado espesor de las planchas a soldar. El tamaño de la soldadura lo determina la pieza más gruesa. Ver tamaño mínimo de soldadura en Tabla 3B.

Espesor del metal base de la parte más gruesa unida (pulgadas)	Tamaño soldadura de filete (I) (pulgadas)
hasta 1/4	1/8 (2)
1/4 a 1/2	3/16
1/2 a 3/4	1/4
3/4 a 1 1/2	5/16
1 1/2 a 2 1/4	3/8
2 1/4 a 6	1/2
más de 6	5/8

- (1) Excepto que el tamaño de la soldadura no necesita exceder el espesor de la pieza más delgada de las que forman la junta.  
 (2) Para puentes se usa 3/16".

TABLA 3B: Tamaño Mínimo de Soldaduras de Filete

b) **Tamaño máximo efectivo de filete**

El tamaño de una soldadura de filete no debe ser tan grande que exceda la capacidad de las planchas de absorber carga. El tamaño máximo del filete puede ser igual al grosor de la pieza, siempre que ésta sea menor que 1/4". Para planchas de 1/4" o más de espesor, el tamaño máximo de la soldadura es 1/16" menor que el espesor del material.

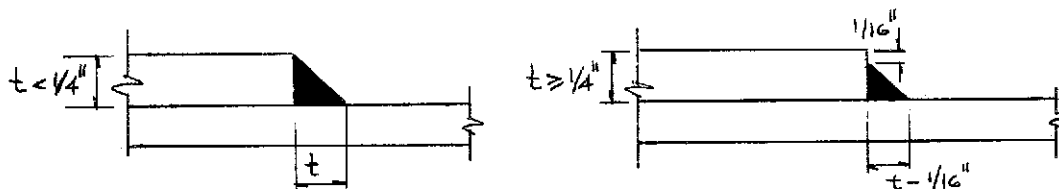


FIGURA 3.11. Tamaño máximo efectivo de filete.

Para transmitir corte o para prevenir pandeo o separación de planchas traslapadas pueden usarse soldaduras de filete en agujeros o en ranuras en juntas traslapadas. Estas soldaduras no son iguales a las de tapón o de ranura, pues con éstas se llena la cavidad a medias o completamente.

Pueden usarse soldaduras de filete en juntas oblicuas que tienen un ángulo incluido no menor de  $60^\circ$ .

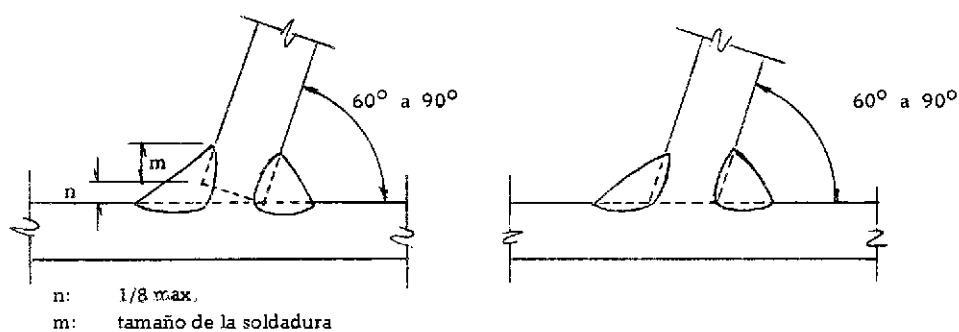


FIGURA 3.12. Juntas T oblicuas con filete.

### 3. SOLDADURAS DE TAPON Y DE RANURA

Otro método de conectar dos planchas traslapadas es llenar parcial o completamente, con metal de soldadura, un agujero circular o un agujero oblongo en una o ambas planchas. Las soldaduras de tapón o de ranura se usan ocasionalmente cuando no hay espacio suficiente disponible para usar soldaduras de filete (Fig. 3.13)

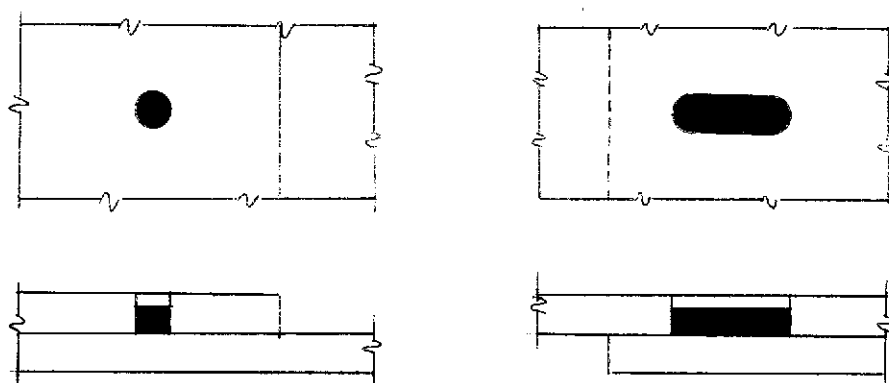


FIGURA 3.13. Soldaduras de tapón y de ranura.

Las soldaduras de tapon y de ranura se usan para transmitir corte, para prevenir pandeo o la separación de piezas traslapadas. El "área efectiva" de tales soldaduras es el área nominal del agujero circular o de la ranura en el plano de contacto de las superficies. Ver recomendaciones respecto a estas soldaduras en sección 2.8 del S.W.C.

### C. POSICIONES DE SOLDADO

La soldadura también se clasifica según la posición desde la cual se efectúa esta. Hay cuatro posiciones básicas para soldar (Fig 3.14):

1. Posición plana
2. Posición horizontal
3. Posición vertical
4. Posición sobrecabeza

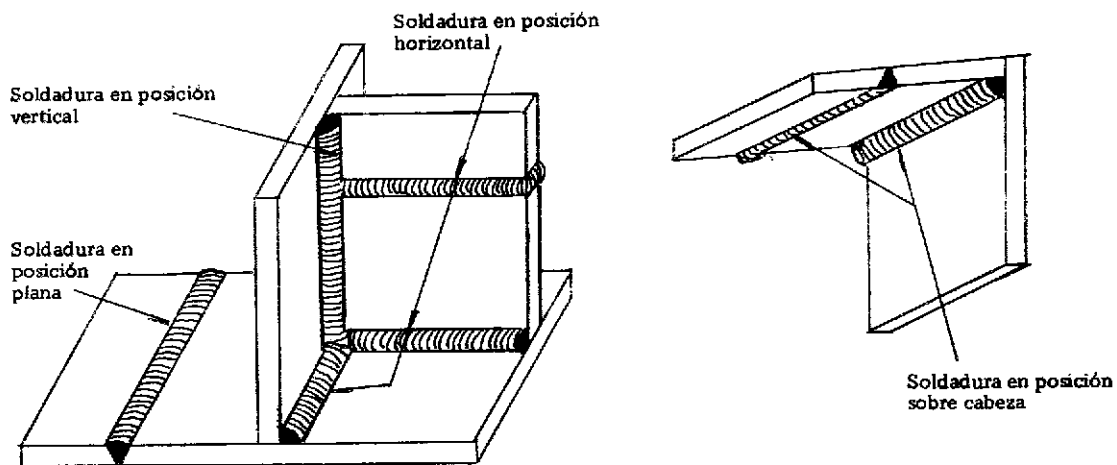


FIGURA 3.14. Posiciones de soldado.

Estas posiciones se usan para todos los procesos de soldadura, y son independientes del proceso utilizado. La única diferencia es la posición en que se deposita el metal de soldadura. Las soldaduras verticales y sobrecabeza son posibles debido a que el metal fundido es conducido de la varilla a la junta por el campo electromagnético producido por el arco, y no por la acción de la gravedad.



La calidad de la soldadura es afectada por la posición de las partes a ser soldadas. Es preferible la soldadura en posición plana y debe usarse siempre que sea práctico. El manejo más fácil y los cordones tersos obtenidos por soldadura en posición vertical descendente, inducen a menudo a efectuar esta soldadura que no siempre es conveniente. Es condición esencial la gran intensidad de la corriente de soldadura y la alta velocidad de la operación. Existe un gran peligro en la fusión insuficiente de la raíz y en la débil sección del cordón que puede originar su desgarramiento.

No todos los electrodos pueden usarse para soldar en todas las posiciones, muchos de ellos se especifican para ser usados en una posición particular, y deben ser usados en esa posición para obtener los mejores resultados. Obviamente la mejor posición para soldar es la posición plana, la soldadura en esta posición puede hacerse 4 veces más rápido que en la posición sobre cabeza.

#### **D. MATERIALES Y ELECTRODOS**

Una juiciosa selección del material y electrodo es necesaria para producir una soldadura sana. Aun cuando cualquier acero puede ser soldado bajo condiciones apropiadas, el proceso de soldado en si no implica que se obtendrá necesariamente una soldadura satisfactoria. Una soldadura satisfactoria requiere ciertas propiedades del material y cierta composición química tanto en el acero como en el electrodo.

##### **1. ACEROS ESTRUCTURALES**

Hay siete grados de aceros estructurales ASTM disponibles en perfiles laminados, planchas y barras, aprobados por las actuales especificaciones de la AISC. Dos de ellos son aceros en carbono: A36 y A529; y cinco son aceros de alta resistencia: A242, A440, A441, A572 y A588.

##### **a) Aceros estructurales al carbono**

Estos aceros dependen de la cantidad de carbono usado para desarrollar su resistencia, a través de un rango amplio de espesores. De este tipo son los aceros ASTM A36 y A529. Los valores mínimos de los esfuerzos correspondientes al punto de fluencia y a la resistencia a la tensión se dan en la Tabla 3C.

Designación ASTM	Uso	Mínimo R T (1)	Mínimo P.F. (2)
A36	Construcción de puentes y edificios y estructuras de propósitos generales	58-80	36
A529	Edificios y construcciones similares de no más de 1/2" de espesor	60-85	42

- (1) Resistencia mínima a la tensión (ksi)  
(2) Punto de fluencia mínimo (ksi)

TABLA 3C. Propiedades Mecánicas de los Aceros al Carbono.

**b) Aceros de alta resistencia y baja aleación**

Los aceros de alta resistencia A242, A440, A441 y A588 se utilizan en miembros estructurales cuando se desea disminuir peso y dar mayor durabilidad a la estructura. El punto de fluencia de estos aceros varía de acuerdo con los diferentes espesores del material, y el ingeniero debe considerar esta variable en sus diseños. Este grupo de aceros (aceros de alta resistencia y baja aleación) derivan sus niveles de altas resistencias de la aplicación de diferentes cantidades de elementos de aleación. El tipo ASTM A242 se considera generalmente como un acero cuya resistencia a la corrosión, bajo condiciones atmosféricas, es igual o mayor del doble que la del acero estructural al carbono. Los puntos de fluencia y las resistencias a tensión mínimos se indican en la Tabla 3D.

Espesor de plancha (pulgadas)		Mínimo R T (1)	Mínimo P.F. (2)
A242, A440, A441	A588		
3/4 y menos	4 y menos	70	50
3/4 a 1 1/2	4 a 5	67	46
1 1/2 a 4	5 a 8	63	42

- (1) Resistencia mínima a la tensión (ksi)  
(2) Resistencia mínima de fluencia (ksi)

TABLA 3D. Propiedades Mecánicas de los Aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación

El acero ASTM A572 es también un acero de alta resistencia y baja aleación de columbio-vanadio. Consiste en seis subgrados que se designan por sus puntos de fluencia mínimos: 42, 45, 50, 55, 60 y 65 ksi, que corresponden a resistencias de tensión de 60, 65, 70, 75 y 80 ksi respectivamente.

### c) Aceros de aleación tratados y templados

También se encuentra aprobado para su uso el acero de aleación tratado y templado A514, que se halla disponible únicamente en planchas. Su punto de fluencia mínimo puede ser tan alto como 100 ksi y su resistencia a la tensión es 135 ksi.

Los aceros de aleación tratados y templados, como el A514, requieren además del carbono, de varios elementos de aleación y de tratamientos térmicos para obtener sus elevadas resistencias de fluencia y de tensión. De manera similar a los aceros de alta resistencia y baja aleación, estos aceros tienen diferentes niveles de resistencia para diferentes espesores. Estos aceros tienen una resistencia a la corrosión atmosférica equivalente al doble de la del acero estructural al carbono.

## 2. ELECTRODOS

Las propiedades químicas y mecánicas del metal de soldadura deben ser tan similares como sea posible a las del metal base. Estas propiedades deben permitir soldaduras sanas bajo gran variedad de condiciones de trabajo. Por tanto, cada combinación de acero, condición de soldado y posición de soldado requiere el uso de un electrodo particular o fundente. Por ejemplo, para el proceso de soldadura de arco metálico protegido, electrodos E60XX o E70XX deben usarse para aceros A36 y A529, para que las soldaduras puedan diseñarse en base al esfuerzo permisible del metal base; electrodos E70XX se requieren para aceros A242, A441, A572 (grados 42 a 60) y A588.

La ASTM en cooperación con la AWS tienen especificaciones para electrodos, por ejemplo ASTM A233. Estas específicamente dan, entre otros datos y requerimientos, un sistema de numeración que en sí constituye una clasificación de los electrodos. Para electrodos utilizados en el proceso de soldadura de arco metálico protegido, el número es del tipo EXXXX, donde cada 'X' representa un dígito. La letra E significa soldadura de arco, los siguientes dos dígitos designan la resistencia mínima a la tensión del metal de aporte (en ksi), el tercer dígito representa las posiciones de soldado en las cuales, el electrodo es capaz de dar soldaduras sanas, 1 significa todas las posiciones (plana, horizontal, vertical y sobrecabeza); 2 indica posición plana y horizontal; 3 indica posición plana solamente. El cuarto dígito se refiere a la corriente de soldadura y al tipo de recubrimiento del electrodo. Así, E6012 es un electrodo con una resistencia mínima a la tensión de 60 ksi, que puede usarse para soldar en cualquier posición, tiene un recubrimiento de polvo de hierro y titanio y puede emplearse con corriente directa, de cualquier polaridad, o corriente alterna.

Los electrodos usados en los otros procesos de soldadura eléctrica siguen un sistema de numeración parecido al de los electrodos para soldadura de arco metálico protegido.

Existe un medio de identificación adicional para los electrodos de soldadura de arco metálico protegido, éste consiste en un código de colores establecido por la N.E.M.A. (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos). Consiste en puntos de colores característicos impresos en los electrodos que permite identificarlos según el código numérico de la AWS.

### a) Electrodo con hierro en polvo

Actualmente muchos electrodos contienen hierro en polvo en el recubrimiento. La cantidad de hierro en polvo agregada al recubrimiento va desde cantidades muy pequeñas hasta 60%. La estabilidad del arco es un problema cuando se solda con corriente alterna y electrodos ordinarios. Una máquina de 60% de ciclo de trabajo y la inversión de la corriente alterna trata de interrumpir el arco 120 veces por segundo. Esto hace que desaparezca el arco o se pegue el electrodo. El agregar hierro en polvo elimina esto. El agregar hierro en polvo tiene otras muchas ventajas:

- Facilidad para quitar la escoria
- Mayor velocidad de soldado
- Pueden ser operados a un amperaje más alto
- Dan soldaduras de excelente ductibilidad

### b) Electrodo de bajo hidrógeno

La presencia del hidrógeno en el metal fundido aumenta la tendencia a la formación de porosidades durante la solidificación del metal de la soldadura. También aumenta la posibilidad de agrietamientos debajo del cordón. Por tanto el electrodo con recubrimiento de bajo hidrógeno fue desarrollado para mantener un contenido de baja humedad, evitando la introducción del hidrógeno del electrodo en la soldadura. Para mantener secos estos electrodos se deben guardar en lugares secos, generalmente se guardan en hornos encendidos hasta que se necesitan.

Estos electrodos se usan en trabajos de alta calidad o en soldaduras de aceros de aleación.

## E. SIMBOLOS

Se acostumbra a usar en los planos de fabricación de estructuras soldadas ciertos símbolos que sirven para dar información en una forma resumida, éstos símbolos son de dos tipos:

1. Símbolos de soldadura
2. Símbolos de ensayos no destructivos

### 1. SIMBOLOS DE SOLDADURA

Con el objeto de establecer designaciones estándar para los diferentes tipos de soldaduras, la AWS ha especificado un conjunto de símbolos (AWS A2.0-68 "Símbolos Estándar de Soldadura") que proporcionan los medios de dar, en los planos, una información completa y concisa en cuanto a soldadura. Estos símbolos llevan la información de soldadura a aquellos que se encargarán de la fabricación. Los símbolos son de tipo ideográfico e indican los tipos de soldadura requeridos (Fig.3.15).

Los símbolos de soldadura permiten establecer un entendimiento común de los proyectos y

requisitos de diseño, entre ingenieros calculistas, el taller, la inspección y representantes del cliente.

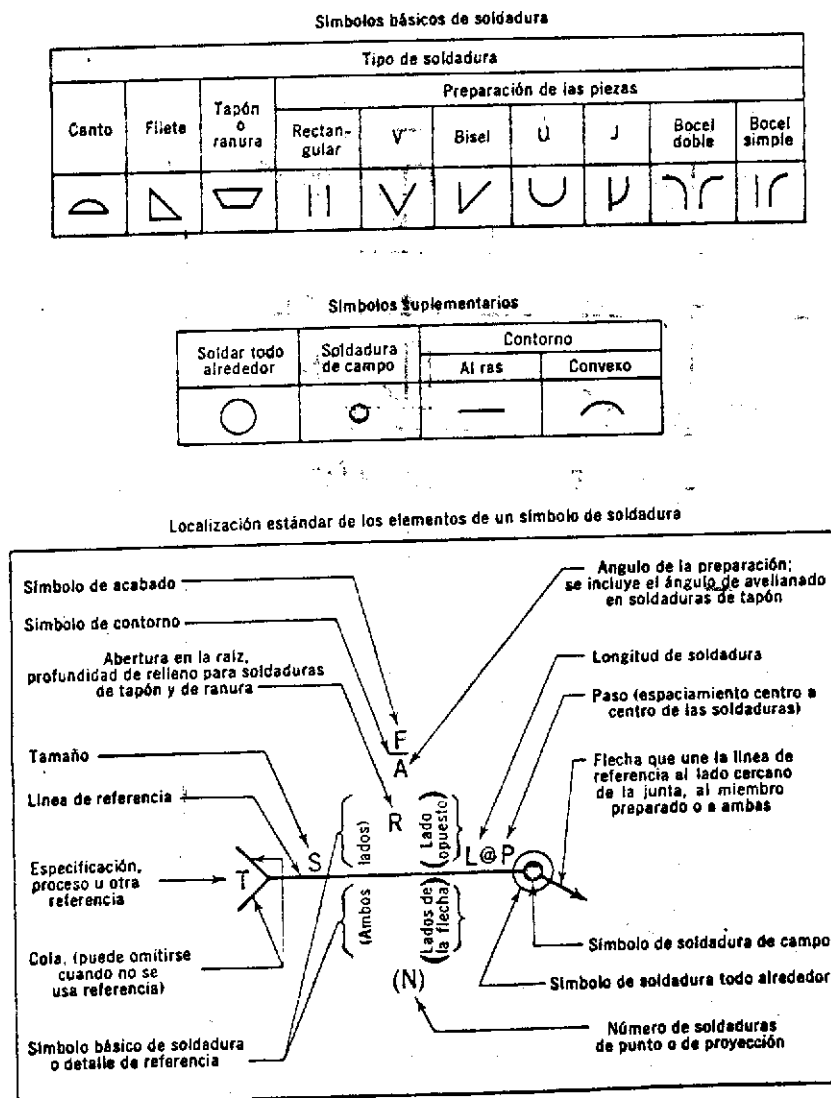


FIGURA 3.15. Símbolos de soldadura.

Un aspecto importante del uso de los símbolos de soldadura es que permite un control sobre las instrucciones específicas del diseño para el taller, en relación con las dimensiones de la soldadura y la preparación de los bordes de las planchas. Esto permite eliminar la fabricación deficiente, por soldadura insuficiente o excesiva, debido a falta de información definida. Los mismos símbolos permiten la eliminación de detalles innecesarios en los planos cuando esos detalles se hacen con el único propósito de indicar medidas y especificaciones de soldadura.

En las figuras 3.16 y 3.17 se muestran algunos ejemplos del empleo de símbolos de soldadura. Para mayor información consultar Norma A2.0-68 "Símbolos Estándar de Soldadura" de la AWS.

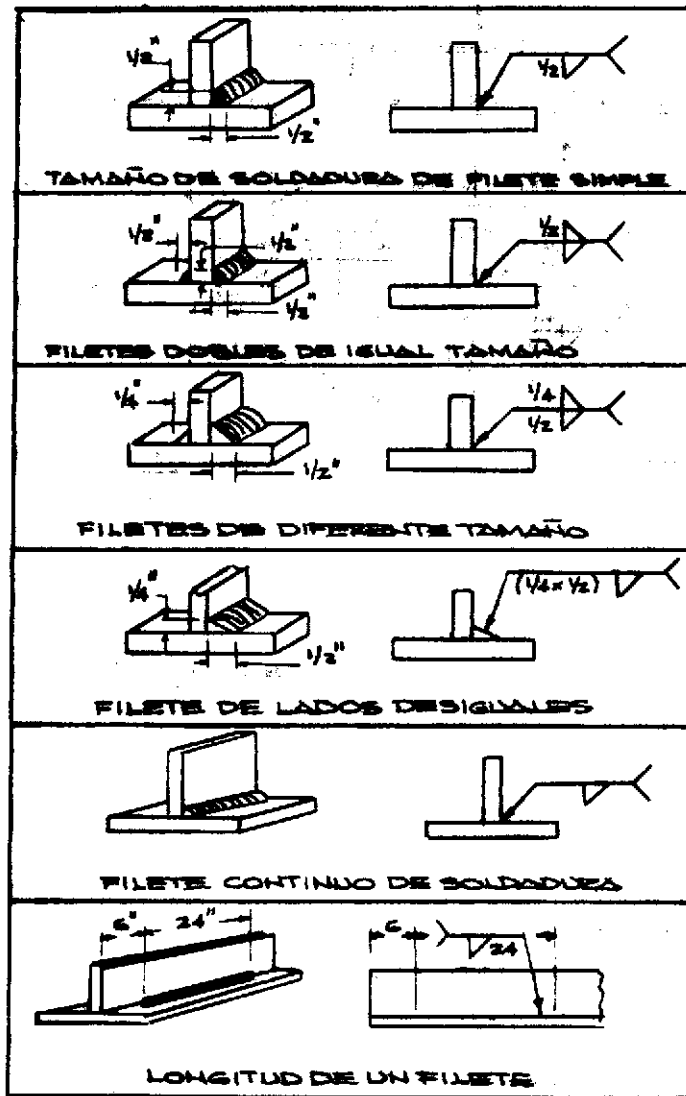


FIG. 3.16. EJEMPLOS DE SOLDADURAS TÍPICAS DE FILETE Y SÍMBOLOS CORRESPONDIENTES.

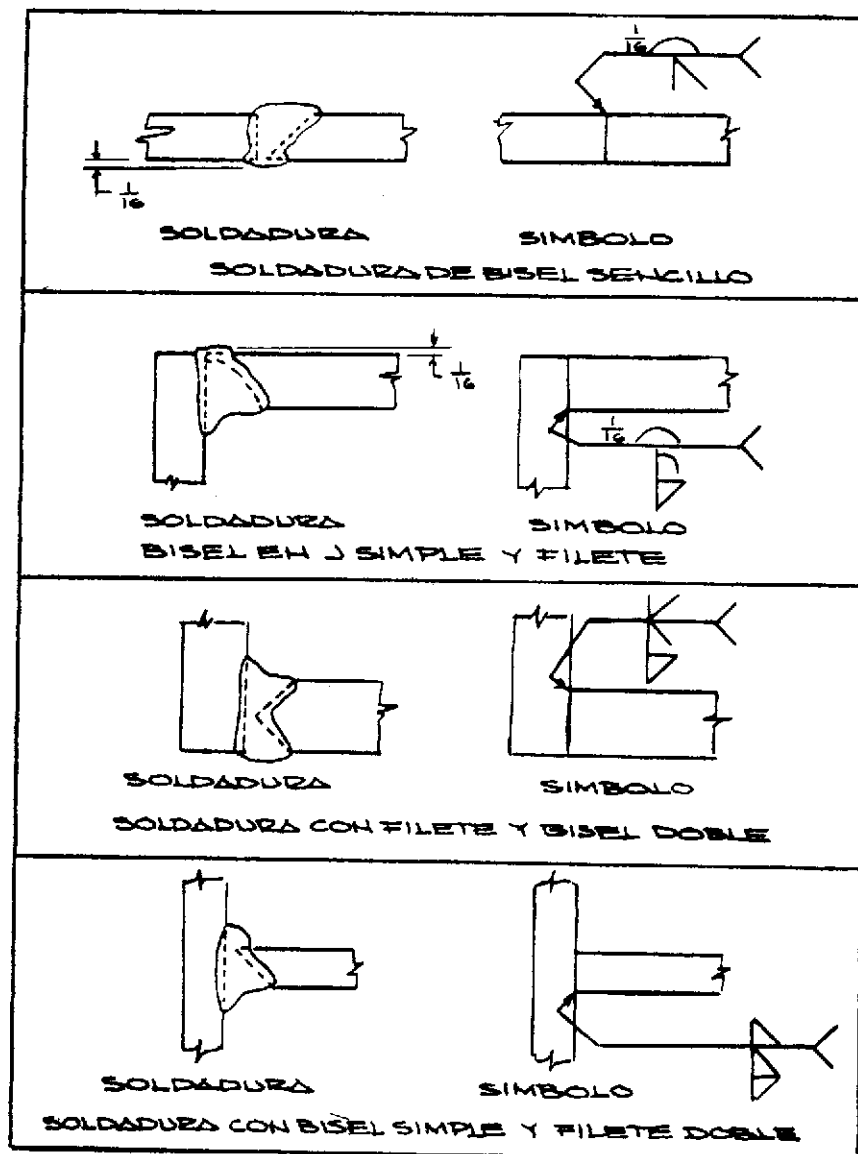


FIG. 3.17. COMBINACIONES TÍPICAS DE SOLDADURAS Y SIMBOLOS CORRESPONDIENTES.

## 2. SIMBOLOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Donde se requieren ensayos no destructivos, es deseable indicar la naturaleza y alcance de tal inspección. Esto puede hacerse utilizando los símbolos estandarizados por la AWS, Norma A2.2-69 "Símbolos de Ensayos no Destructivos".

Los símbolos básicos de ensayos no destructivos consisten de los siguientes elementos, que se encuentran localizados uno respecto al otro, como se muestra en la figura 3.18:

1. Línea de referencia
2. Flecha
3. Símbolo de ensayo básico
4. Símbolo de ensayo básico en todo el contorno
5. Número de ensayos (N)
6. Cola
7. Longitud a ensayar (L)
8. Especificación, proceso u otra referencia (T)

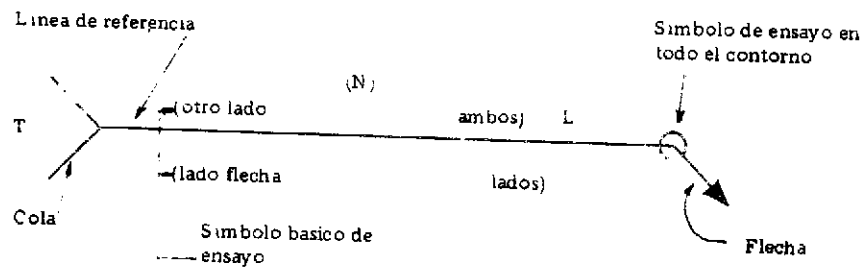


FIGURA 3 18 Localización Estándar de los Elementos en un Símbolo de Ensayo no Destructivo

#### a) Símbolos de ensayos

Los símbolos usados para indicar ensayos no destructivos son los siguientes:

Tipo de ensayo	Símbolo
Radiográfico	RT
Partícula Magnética	MT
Penetrantes	PT
Ultrasonidos	UT

El uso de los elementos de un símbolo de ensayo no destructivo sigue los mismos principios empleados en los símbolos de soldadura. Ambos símbolos pueden combinarse en uno solo, así como diferentes símbolos de ensayo pueden combinarse en un solo símbolo. En la Fig 3 19 se muestran algunos usos convencionales de los símbolos de ensayo.



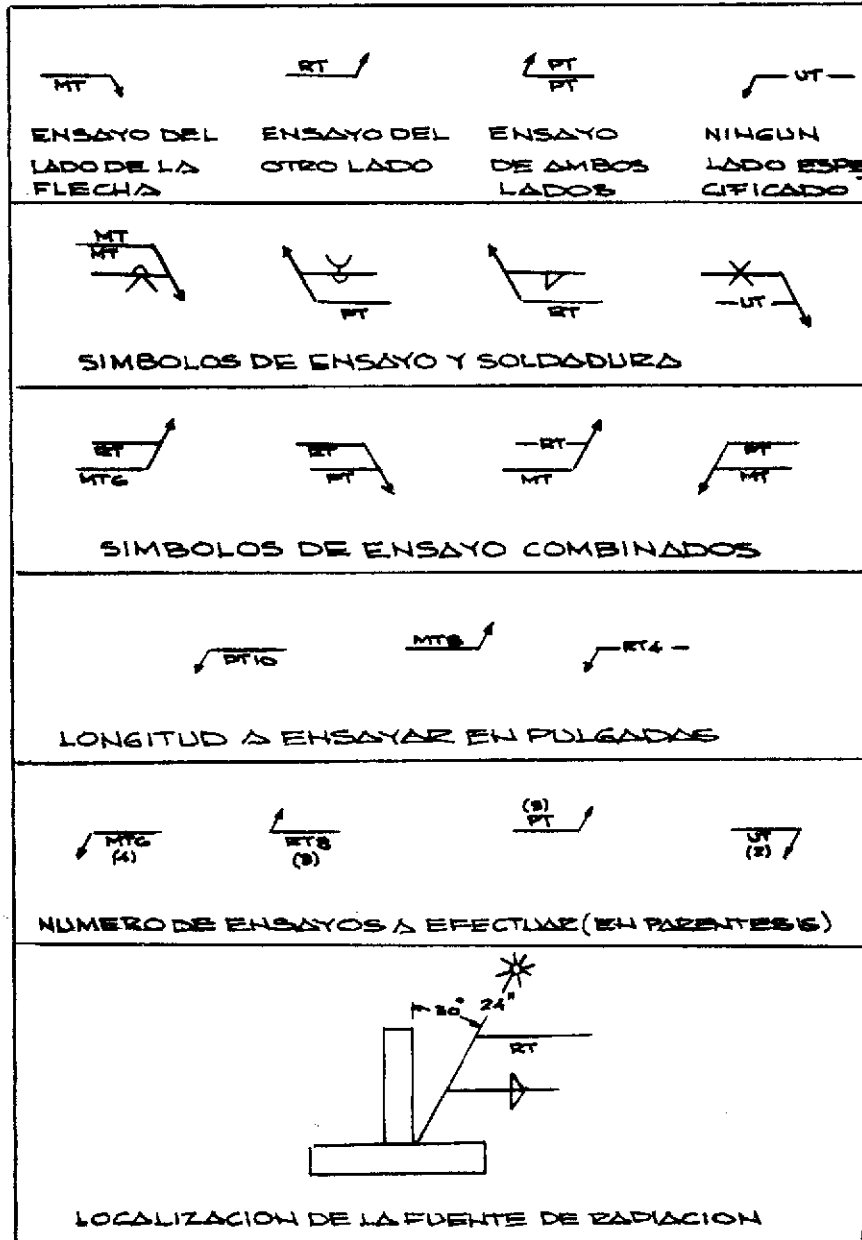


FIG. 3.19. USO CONVENCIONAL DE SIMBOLOS DE ENSAYO

## CAPITULO IV

### TRATAMIENTOS TERMICOS

#### A. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA ESTRUCTURA DE LOS ACEROS

El acero, como todos los metales, tiene una estructura cristalina, es decir, está formado por cierta cantidad de pequeños cristales. Los elementos aleados con el acero aparecen en combinación química con éste, por lo que la estructura experimenta modificaciones esenciales. Por ejemplo el carbono aparece en combinación con el hierro formando el "carburo de hierro"  $Fe_3C$  (con 6.67% de C.). Para un contenido de carbono por debajo del 0.9%, la estructura se compone de puros cristales de hierro llamados "ferrita", entre los que se encuentra otro componente que contiene carbono. Este componente no es carburo puro de hierro, sino una mezcla muy fina de ferrita y carburo de hierro. Este componente se llama "perlita".

Al aumentar el contenido de carbono, crece la proporción de perlita, hasta llegar al 0.9% donde sólo aparece ésta. Por encima de este límite se produce, además de la perlita, carburo libre de hierro llamado "cementita". Esto es válido hasta un contenido de 1.7% de carbono. Entonces aparece la "ledeburita" que es otro componente de la estructura.

Las propiedades de estos componentes, en cada una de esas estructuras, son completamente diferentes. La ferrita es muy blanda, la perlita es más dura, aunque todavía fácil de trabajar, pero la cementita, por el contrario, es muy dura. A eso corresponde un incremento de resistencia.

Esas estructuras existen a temperatura ordinaria. Al elevarse la temperatura no sólo cambian la forma y las dimensiones de los cristales, sino también su fórmula química. Al aumentar la temperatura crece la solubilidad del carbono en el hierro. Así se produce, por encima de cierta temperatura, una nueva estructura llamada "austenita".

La temperatura a la cual se producen esas transformaciones, llamada "punto de transformación", depende del contenido de carbono. Al aumentar éste desciende la temperatura propia de ellas; para el hierro puro es de  $910^{\circ}C$ , y disminuye hasta  $720^{\circ}C$  si el contenido de carbono es de 0.9%.

Para entender mejor esos cambios conviene explicar los fenómenos químicos correlativos. Por encima de esa línea de temperaturas el carbono está disuelto uniformemente en el hierro, aunque el acero se encuentra en estado sólido. Esta nueva estructura llamada "austenita", tiene propiedades esencialmente distintas que la estructura del mismo acero con análoga composición, a la temperatura ambiente; por ejemplo, es blando y carece de propiedades magnéticas. Para un acero que se encuentra en el intervalo de la austenita sólo se obtiene la estructura primitiva después de un enfriamiento lento (recocido), necesario para la transformación de la estructura. Si el enfriamiento es rápido, los cristales o los agregados de ellos no tienen posibilidad de cambiar, por lo que se encuentran, poco más o menos, en un estado de coerción.

La nueva estructura así producida se llama "martensita", es muy dura y quebradiza. Se llama

“fraguado” al fenómeno que consiste en calentar un acero por encima de su punto superior de transformación y enfriarlo después bruscamente. El temple ocurre según las condiciones del fraguado, la clase de acero, etc., en agua, aceite o aire. La formación de la martensita, o sea el temple, depende de un contenido mínimo de carbono del 0.2 hasta el 0.3<sup>o</sup>/. Además tiene gran influencia sobre el grado de dureza obtenido por la rapidez de enfriamiento. Si este se prolonga, se producen estructuras llamadas “troostita y sorbita”, que no poseen la dureza de la martensita.

Todos los componentes de estructuras citados hasta ahora aparecen por elevación y disminución de temperatura cuando el acero se encuentra en estado sólido. Si el enfriamiento ocurre después de un estado de fusión, como al fabricar acero fundido o al soldar dos piezas por fusión, la ferrita y la perlita no se depositan ya en granos de forma regular, sino en capas de forma estrellada que forman grupos y cuya forma es irregular y con puntas. Esta estructura es muy sensible a los golpes, y la tenacidad respecto de la resiliencia disminuye muchísimo.

## B. EFECTOS CAUSADOS POR EL PROCESO DE SOLDADO EN LA ESTRUCTURA DE METAL

De lo dicho anteriormente se deduce que la observación de los fenómenos descritos al elevar o disminuir la temperatura, no solo tienen gran importancia para la producción y el tratamiento posterior de los aceros, sino que tienen otra tanta para el especialista en soldadura. Al soldar dos piezas, si se observa toda la junta, podrán encontrarse en cada una de las zonas todas las temperaturas, desde la fusión para la cual el metal fluye en estado líquido, hasta la temperatura ambiente. De esto resultan diversas propiedades. Se distinguen tres zonas:

- a) Zona de fusión
- b) Zona de la pieza sometida a la acción del calor
- c) Zona de la pieza no sometida a la acción del calor.

Si se observa la estructura en cada caso (Fig. 41), se encuentra en la soldadura las que corresponden a la fundición, a lo que sigue una granulación muy gruesa (intervalo de temperatura por encima de 900°C hasta el punto de fusión) que pasa por gradaciones insensibles a otra más fina (temperatura alrededor de 900°C), hasta terminar en la estructura que proviene de la laminación de la pieza.

Si en los aceros normales de construcción se sobrepasa con mucho el punto de transformación (alrededor de 900°C) los granos adquieren un aspecto grueso debido al aumento de tamaño. Se dice entonces que el acero se ha “requemado”, lo que debe evitarse en lo posible, pues la formación de esos granos gruesos disminuye la resistencia. Al soldar es inevitable esto, si no se emplea un tratamiento térmico posterior, aunque influye también el método elegido de soldado (intensidad de la corriente, elección del diámetro de los electrodos, velocidad de soldadura, número de capas).

Ha de distinguirse entre el requemado y la oxidación espontánea de un acero. Si la temperatura es aún más alta, arde el carbono, los granos cristalinos se combinan con el oxígeno del aire formando óxidos y los productos de la combustión se depositan en la superficie de los granos. Un acero dañado así no sirve ya para nada (por su débil resistencia) y no hay tratamiento alguno que lo componga.

Los esquemas demuestran el efecto del calentamiento provocado al soldar un acero de construcción con un contenido de 0,1 a 0,2% en C sobre las diferentes secciones de la costura y sus alrededores.

Costura  
(agrandada)

Secciones aisladas bajo el  
microscopio  
(agrandada unas 500 veces)

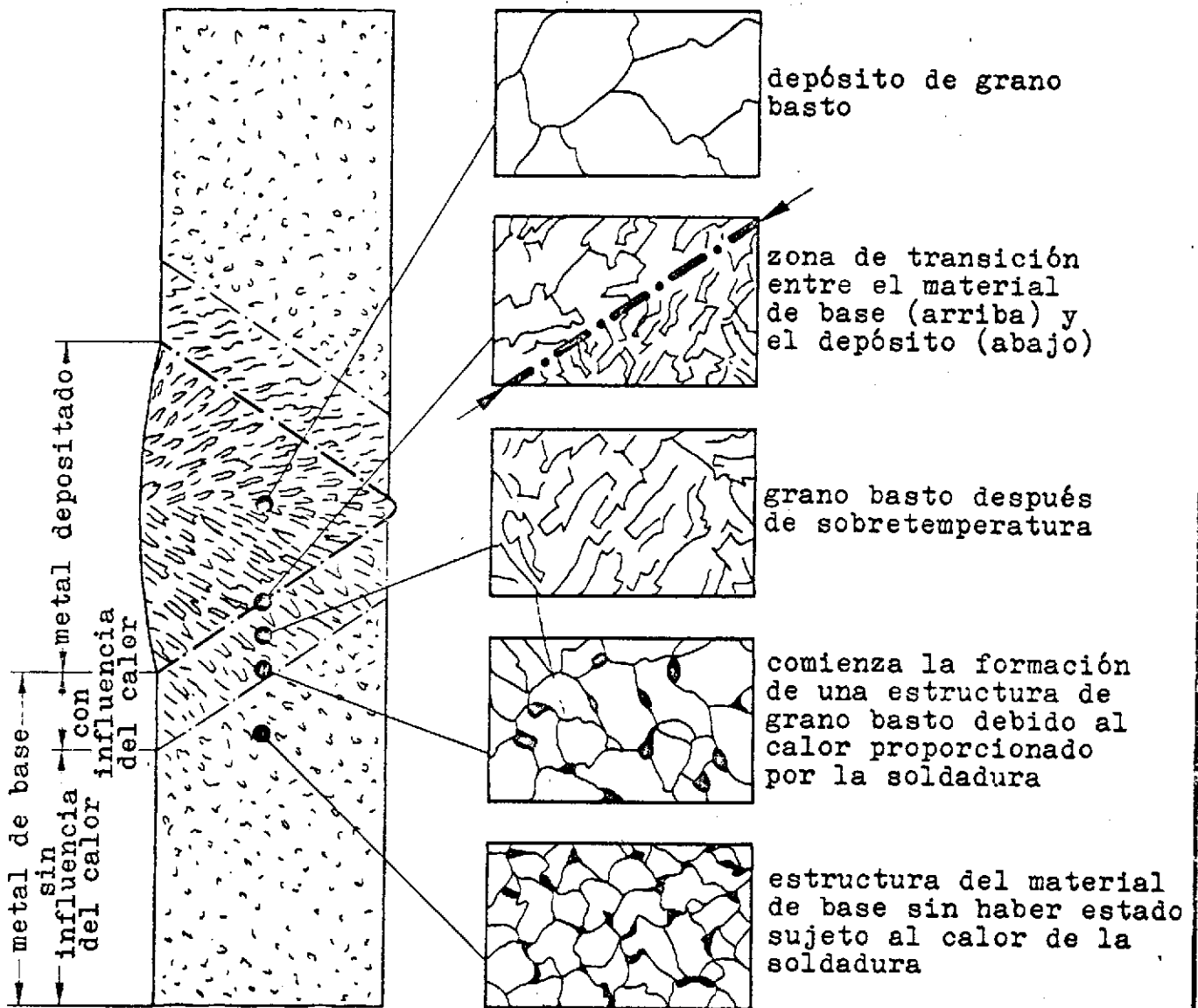


Fig. 4.I Estructura de la Junta Soldada sin Tratamiento Posterior

## C. TRATAMIENTOS TERMICOS

El control térmico antes y durante el soldado, junto con los tratamientos térmicos después de soldar son factores importantes para lograr la soldadura exitosa de ciertos metales y estructuras. Siempre que puedan afectar los resultados finales deben incluirse en la especificación de procedimiento de soldado (Fig. 4.2).

### 1. PRECALENTAMIENTO

El precalentamiento consiste en la aplicación de calor, con el fin de elevar la temperatura, en la vecindad de la zona de soldadura. Esto reduce la diferencia en temperatura entre el metal de soldadura y el metal base adyacente. Al ser menos el diferencial de temperatura, el metal caliente en la soldadura y cerca de ella tiene una razón de enfriamiento menor, esto es una condición deseable, ya que:

- generalmente, reduce la magnitud de los esfuerzos residuales que podrían causar agrietamiento en la soldadura o en sus inmediaciones, o provocar distorsión excesiva.
- además ayuda a prevenir la formación de zonas duras y frágiles en las soldaduras o áreas inmediatas a ellas

Usualmente se requiere un incremento en la temperatura de precalentamiento en estructuras muy rígidas o complejas, secciones muy gruesas o metales con alto contenido de aleaciones. El precalentamiento permite contraerse a los elementos de construcción rígidos y gruesos, lo que elimina las tensiones críticas desfavorables.

Las piezas a soldar se deben mantener a la temperatura de precalentamiento y protegerse de las corrientes de aire. El enfriamiento después de soldar debe hacerse lo más lentamente posible. Las temperaturas de precalentamiento dependen de la composición del acero, tipo de electrodo, espesor de la pieza a soldar y el proceso de soldadura utilizado. Se hallan comprendidas entre 50 y 550°C.

El precalentamiento completo del ensamble es a veces necesario, sin embargo, muchas veces se aplica únicamente a amplias áreas de éste. El calentamiento usualmente se aplica por medio de hornos, soplete o inducción eléctrica. La temperatura alcanzada se mide por medio de pirómetros de contacto, crayones indicadores, pinturas o granos que se funden o cambian de color a temperaturas conocidas.

En la medida de lo posible hay que dar preferencia al precalentamiento porque aminora el peligro de la fisuración y resulta menos costoso.

### 2. CONTROL DE LA TEMPERATURA ENTRE PASES

Se llama "temperatura entre pases", a la temperatura de la soldadura y metal base adyacente justamente antes de efectuar los pases de soldado subsiguientes. Para asegurar que las soldaduras desarrollen toda su resistencia, la mayoría de las especificaciones estructurales prescriben el tipo de

electrodo a usar y la temperatura de las piezas que serán conectadas. Por ejemplo, las Especificaciones AISC para edificios (1) señalan como requisito que el metal base sea calentado antes de depositar la soldadura, a las temperaturas requeridas que se especifican en la Tabla 4A, la cual muestra las temperaturas mínimas de precalentamiento y entre pases de soldadura, para electrodos ordinarios y electrodos de bajo hidrogeno.

Soldadura de arco metálico protegido		
Espesor de la parte más gruesa en el punto de soldadura	Electrodo corriente	Electrodo de bajo hidrógeno
	Acero ASTM A-36	
hasta 3/4" incl	ninguna	ninguna
3/4 a 1 1/2	150	70
1 1/2 a 2 1/2	225	150
mas de 2 1/2	300	225

TABLA 4A. Temperaturas Mínimas de Precalentamiento y entre Pases de Soldadura en °F.

Nota: Para otros procesos de soldadura y metales, ver el Structural Welding Code de la AWS, especificaciones de la AASHO, normas de la AISC o cualquier otra especificación aplicable.

### 3. TRATAMIENTOS TERMICOS POSTERIORES

Los tratamientos termicos posteriores pueden ser necesarios por varias razones, y pueden variar desde un simple enfriamiento controlado hasta alcanzar la temperatura ambiente despues de soldar, hasta un tratamiento completo que puede incluir endurecimiento y templeado u otro tipo de reacciones metalurgicas inducidas termicamente. La soldadura, los metales involucrados, y las propiedades deseadas despues del proceso determinan el grado de tratamiento. Detalles del tratamiento pueden incluirse como parte de la especificacion de procedimiento de soldado, como parte de los planos de fabricacion, o bien como instructivos separados de la especificacion de procedimiento.

La soldadura provoca esfuerzos internos en las piezas a soldar. Estas tensiones se producen como consecuencia de la contraccion con el enfriamiento despues de soldar. Estos esfuerzos en si ya pueden provocar deformaciones indeseables o grietas. El "relevado de esfuerzos" es el calentamiento uniforme de la estructura o porcion de ella a una temperatura suficiente para aliviar la mayor parte de los esfuerzos residuales, seguido de un enfriamiento uniforme de la pieza. Con materiales ferriticos esto se hace a temperaturas abajo del rango de la fase critica de transformacion. Los ensambles completos pueden calentarse en un horno, o calentar solo parte de ellos, en este caso un control de temperatura es esencial para prevenir gradientes termicos extremos.

Los tratamientos termicos de recocido siguientes, clasificados según las temperaturas empleadas, permiten a minorar o suprimir los esfuerzos residuales.

#### a) Revenido (autógeno)

Para atenuar las tensiones de elementos de construcción soldados que, a causa de sus dimensiones, no permiten el recocido de normalización, se utiliza un procedimiento autógeno. En el revenido autógeno se crean a derecha y a la izquierda de la soldadura zonas calientes con un soplete. Las tensiones longitudinales así provocadas en el cordón de soldadura que no se hayan tratado termicamente, se llevan más allá del límite de alargamiento. De allí resulta una ligera deformación plástica de la costura, lo que conduce a una disminución de la tensión en esta. En el enfriamiento

(1) AISC - Especificaciones para el diseño, fabricación y montaje de acero estructural para edificios.



por conducción que sigue directamente, se produce un ligero aumento en la tensión en las zonas vecinas al cordón de soldadura, lo que permite una mejor repartición de los esfuerzos. Este tratamiento térmico no tiene ninguna influencia en las propiedades del material de base.

#### b) Recocido de estabilización

La resistencia a la deformación del material se reduce por el calentamiento. En el recocido de estabilización, las temperaturas se hallan comprendidas entre  $550^{\circ}\text{C}$  y  $650^{\circ}\text{C}$ . A estas temperaturas, la resistencia a la deformación es tan pequeña que las tensiones internas provocan deformaciones plásticas y desaparecen (Fig. 4.3).

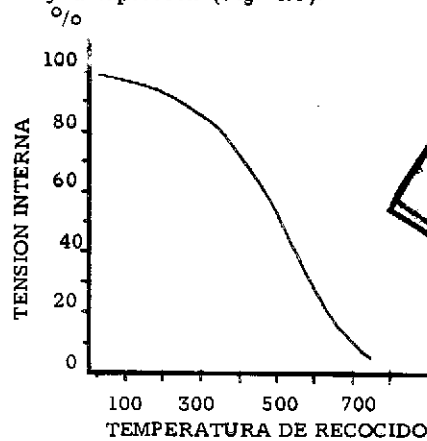
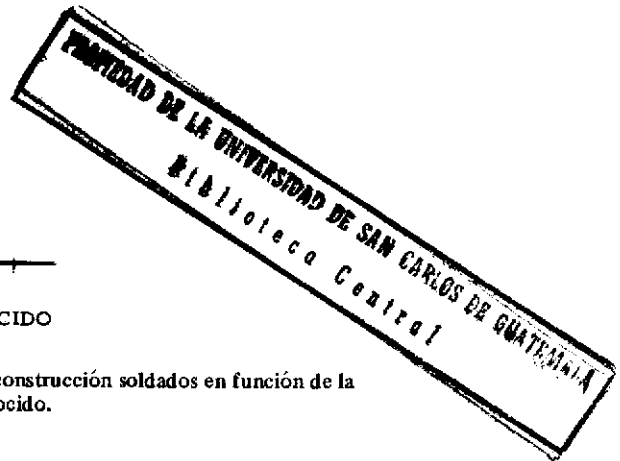


FIGURA 4.3 Tensión interna de elementos de construcción soldados en función de la temperatura de recocido.



El recocido de estabilización se hace, la mayoría de las veces, en un horno de recocer. Según el elemento de construcción, el aumento medio de temperatura debe hallarse entre  $30^{\circ}$  y  $50^{\circ}\text{C}$  por hora. El enfriamiento se hace con el horno cerrado (hasta unos  $100^{\circ}\text{C}$ ). La velocidad de enfriamiento no debe sobrepasar  $10^{\circ}$  a  $15^{\circ}\text{C}$  por hora.

#### c) Recocido de normalización

Antes del recocido de normalización, podría ser que el cordón de soldadura tenga una estructura a grano basto. Esta estructura a grano basto es más sensible a la fisuración que una estructura a grano fino. El recocido de normalización provoca la formación de una estructura a grano fino en el material de base y el metal de soldadura. Así se mejora la deformabilidad.

El recocido de normalización se efectúa en un horno de recocer que lleva la pieza a temperaturas de  $800^{\circ}\text{C}$  a  $920^{\circ}\text{C}$ , según el contenido de carbono. El enfriamiento que se hace después tiene particular importancia. Importa pasar lo más rápidamente posible por el campo de temperaturas comprendidas entre  $920^{\circ}\text{C}$  y  $600^{\circ}\text{C}$ . De  $600^{\circ}\text{C}$  a la temperatura ambiente, el enfriamiento se efectúa lentamente en el horno. Las elevadas temperaturas del recocido de normalización pueden provocar deformaciones del elemento de construcción, debidas a su propio peso. Esto es la razón por la cual hay que apuntalar y asegurar bien el elemento de construcción antes de recocer.



Los costos del recocido de normalización son mucho más elevados que los del recocido de estabilización.

## V

**ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADO****A. GENERAL**

Cada operación de soldado envuelve numerosos factores o variables, las cuales influyen las propiedades de la soldadura resultante. Es por esta razón que se utilizan "especificaciones de procedimiento de soldado", que tienen por objeto definir y documentar los detalles que deberán llevarse a cabo para efectuar el proceso de soldado de materiales o partes específicas, y limitar las variables involucradas en el proceso. Para que una "especificación de procedimiento de soldado" sea de la máxima utilidad, debe ser lo suficientemente detallada para cubrir todos los factores pertinentes y limitar las variables a un grado tal, que todas las soldaduras efectuadas por soldadores competentes bajo tal especificación posean sustancialmente las mismas propiedades.

Las prácticas esenciales a utilizar en el proceso de soldado se demuestra que son adecuadas, ya sea por "pruebas de calificación de procedimiento", o porque su uso continuado previo y su comportamiento adecuado garantizan su confiabilidad.

Existen dos tipos de "especificaciones de procedimiento de soldado": generales y particulares. Las primeras, como su nombre lo indica son de carácter amplio y se aplican a todas las soldaduras de una clase dada, en un material específico, ver ejemplo en página 59 al final de este capítulo. Son éstas las que generalmente piden los códigos, instituciones gubernamentales o clientes privados. Las especificaciones particulares tienen carácter más reducido e indican en detalle el soldado de un tipo y tamaño de junta en un material o parte específica. Este tipo de especificación es más frecuentemente usado por el taller de fabricación con fines de control en planta de operaciones de soldado de carácter repetitivo. Ver ejemplo ilustrativo en página 65 y 66 al final de este capítulo.

Los arreglos y detalles de las "especificaciones sobre procedimiento de soldado" deben estar de acuerdo al contrato de fabricación y dentro de lo que constituye buena práctica de manufactura. Deben ser lo suficientemente detalladas para satisfacer los requerimientos del código que se esté usando, y las especificaciones del contrato.

**B. VENTAJAS DEL USO DE ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADO****1. CONTROL DE CALIDAD**

Cuando los resultados de un procedimiento de soldado determinado son sometidos a prueba y se demuestran satisfactorios para una aplicación dada, todas las demás soldaduras que se realicen siguiendo el mismo procedimiento serán de una calidad aceptable. Las soldaduras ejecutadas de acuerdo a una especificación de procedimiento de soldado llenarán los requerimientos mínimos cuando son ejecutadas por soldadores competentes.

## 2. ESTANDARIZACION DE PRACTICAS

La adopción de una especificación de procedimiento de soldado constituye en sí una forma de estandarización. La posibilidad de que varios soldadores puedan escoger diferentes tamaños de electrodos o empleen diferente técnica de soldado para una misma junta resulta inconveniente, y los resultados pueden llegar a ser incontrolables; la adopción de una especificación de procedimiento de soldado dará como resultado el uso de un solo procedimiento estándar por todos los soldadores, lográndose así uniformidad en el producto.

## 3. FACILIDAD DE INSPECCION

Una especificación de procedimiento de soldado proporciona al inspector un documento escrito de referencia, que le permite juzgar si la soldadura se está efectuando de manera aceptable, particularmente en lo que se refiere a la preparación de la junta y al proceso de soldado.

## 4. ECONOMIA

El control de calidad y la uniformidad de resultados garantizan que el rechazo de juntas por no llenar especificaciones será un mínimo. La misma estandarización obliga a la selección de tipos y tamaños de electrodos más económicos y a evitar soldaduras mayores que las necesarias para cumplir con los requisitos de diseño.

## C. APLICACION

Algunas veces, las especificaciones de procedimiento de soldado son establecidas por el comprador para ser aplicadas por el fabricante en el taller en la fabricación de un producto dado; aunque más frecuentemente, el comprador únicamente da las especificaciones sobre las propiedades que deben llenar las ensambladuras, dejando al fabricante en libertad de escoger el procedimiento de soldado que dé los resultados especificados. En este último caso el fabricante deberá ensayar el procedimiento propuesto por él, demostrar que las soldaduras resultantes llenan los requisitos especificados por el comprador, y seguir este procedimiento durante la producción.

## D. ASPECTOS QUE CUBRE UNA ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADO

Los siguientes factores se dan únicamente como ilustración para servir de guía en la preparación de una especificación de procedimiento de soldado, no constituyen patrones o reglas inalterables. Debido a la diversidad de métodos de soldado y requisitos de aplicación, algunos de los factores serán de mayor o menor importancia, o estar ausentes del todo en una aplicación dada.

Los factores más importantes se llaman "variables esenciales", cuando son alteradas o

cambiadas, se hace necesaria una recalificación del procedimiento.

### **1. ALCANCE**

Se define los tipos de soldadura, el material y las especificaciones aplicables.

### **2. METAL BASE**

Se debe especificar el metal base, ya sea dando su composición química o su especificación aplicable (por ejemplo, acero ASTM A529), esto último es lo más usual. Cualquier tratamiento, templeado, normalizado, trabajado en frío, etc., que deba dársele al metal antes de soldarlo debe señalarse en la especificación. Estos factores son importantes ya que un procedimiento de soldado que es satisfactorio para una clase de metal, puede no serlo para otra, o aun con el mismo material pero con diferente tratamiento térmico.

### **3. METAL DE APORTE**

La composición, identificación o clasificación del metal de aporte (alambre continuo o electrodo) debe darse siempre para evitar usos inapropiados. Condiciones especiales de almacenaje y manipuleo de los electrodos deben señalarse en la especificación de procedimiento.

### **4. CORRIENTE ELECTRICA**

Cada tipo de electrodo tiene un tipo de corriente con el cual se desempeña mejor; es por ello que se debe dar en la especificación de la clase de corriente, alterna o directa, que se debe emplear con determinado electrodo. Con corriente directa es necesario además especificar la polaridad. Se debe incluir también el rango de corriente a emplear con cada tamaño de electrodo, posición de soldado y espesor de metal a unir.

### **5. CALIFICACION DE SOLDADORES**

Los requisitos de calificación de soldadores deben incluirse en la especificación de procedimiento de soldado, o hacer referencia que tal calificación se hará de acuerdo a una especificación ya escrita, tal como la norma "B3.041 Procedimiento estándar de calificación" de la AWS.

### **6. DISEÑO DE JUNTAS Y TOLERANCIAS**

Los detalles de la especificación, así también la secuencia de soldado. Esto puede hacerse por medio de "sketches" que muestran el espesor del material, abertura de raíz, ángulo de bisel, etc., o haciendo referencia a detalles de junta estándar (figs. 3.6, 3.7 ó 3.8 en páginas 23, 25 y 27). La tolerancia para cada una de las medidas debe indicarse en los esquemas de las juntas.

## 7. PREPARACION DE LA JUNTA

Los métodos permisibles que pueden usarse para preparar las juntas y el grado de limpieza superficial debe detallarse en la especificación de procedimiento. La preparación puede hacerse por corte con oxígeno, seguido de esmerilado y una limpieza final.

## 8. DETALLES DE SOLDADO DE JUNTAS

En la especificación deben indicarse aquellos detalles que son determinantes en la calidad de la soldadura, tales como: tamaños de electrodo a usar en cada porción de la junta y en cada posición de soldar; el arreglo, espesor y ancho de los pases de soldadura, rangos de corriente y cualquier otro detalle que sea importante.

## 9. POSICIONES DE SOLDADO

Una especificación de procedimiento debe señalar las posiciones en las cuales la soldadura debe o puede realizarse, además debe indicar para cada posición la manera en que debe efectuarse el proceso de soldado.

## 10. PUNTEO DE SUJECION

Siempre que la práctica de soldado por puntos pueda afectar los resultados finales, detalles concernientes a lo que debe hacerse en relación con los puntos de soldadura deben ser incluidos en la especificación de procedimiento de soldado.

## 11. PRECALENTAMIENTO Y TEMPERATURA ENTRE PASES

Cuando el procedimiento de soldado involucra la aplicación de precalentamiento, debe indicarse el rango de temperatura a aplicar. La temperatura entre pases (temperatura que tiene el metal base justamente antes de depositar el segundo y pases subsiguientes) también debe especificarse, con el fin de que ninguna soldadura se efectue cuando la temperatura del metal base está por debajo de la temperatura mínima de precalentamiento.

Cuando se utilizan aceros aleados con tratamiento térmico, la temperatura de precalentamiento o la temperatura entre pases no debe exceder la temperatura final de templado que se utilizó para el tratamiento calorífico. En muchos casos el precalentamiento y la temperatura entre pases debe mantenerse dentro de un rango bien definido para evitar la degradación de la zona afectada por el calor en el metal base.

La temperatura de precalentamiento y entre pases se puede determinar tocando la pieza cercana a la junta con pirometros de contacto y crayones o pinturas indicadoras que cambian de color según la temperatura. La temperatura entre pases se chequea sobre la soldadura o el metal base adyacente, antes de efectuar el siguiente pase.

## 12. MARTILLO MECANICO

Se usa algunas veces para evitar el alabeo o el agrietamiento de la soldadura o el metal base y para causar en la soldadura alargamientos locales para aliviarla de esfuerzos producidos por contracción, los detalles de su aplicación deben estar cubiertos en la especificación de procedimiento aprobada y los resultados deben verificarse de acuerdo a "pruebas de calificación de soldado".

## 13. ENERGIA TERMICA APORTADA

El aporte de energía térmica durante la operación de soldado es de gran importancia (sobre todo cuando se soldan aceros con tratamiento térmico y aleaciones). Siempre que el aporte calorífico pueda influir en la soldadura, este debe prescribirse en la especificación de procedimiento de soldado junto con los detalles de control.

## 14. PREPARACION DEL OTRO LADO DE LA JUNTA

En los casos en que las juntas deban ser soldadas de ambos lados de la junta, en la especificación de procedimiento deben señalarse los métodos que pueden emplearse para preparar el material base en el segundo lado de la junta. Estos métodos pueden ser, cincelado, esmerilado, o ranurado con oxiacetileno. La preparación del otro lado de la junta antes de soldar, es importante para obtener juntas libres de grietas u otros defectos.

## 15. REPARACIONES

Cuando la soldadura de una junta resulta inaceptable debe ser removida en la parte defectuosa. La remoción o escarificado puede hacerse por cualquiera de los métodos que se utilizan en la preparación del otro lado de la junta, el método a usar debe indicarse en la especificación de procedimiento. Los detalles de los métodos de reparación posteriores a la remoción de la soldadura defectuosa, deben ser claramente delineados en la especificación.

## 16. INSPECCION

La especificación de procedimiento de soldado debe definir el tipo y grado de inspección que cada junta soldada debe recibir. La inspección puede ser únicamente visual, o se pueden requerir técnicas más especializadas de inspección como radiografías, ultrasonidos, partícula magnética, etc.

## 17. POSTCALENTAMIENTO

Una especificación de procedimiento debe señalar, para los materiales o estructuras que así lo requieran, el tratamiento térmico a aplicar para aliviar los esfuerzos producidos después del soldado, o para asegurar el desarrollo de las propiedades mecánicas requeridas en la junta. Se debe incluir una

descripción completa del tratamiento térmico, o se puede hacer referencia a otra especificación de procedimiento, plano o documento existente.

## **18. REGISTROS**

Cuando se requieren registros detallados del soldado de juntas, los requisitos específicos de estos registros deben incluirse en la especificación de procedimiento de soldado.

No todos los factores anteriormente citados se aplican a cada proceso de soldado, los factores mencionados anteriormente son los más frecuentes en una especificación de procedimiento de soldado.

## **E. EJEMPLO DE "ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADO"**

Las especificaciones de procedimiento de soldado, ya sea del tipo general o particular, pueden prepararse de diferentes maneras y pueden ser cortas o muy largas y detalladas. Se muestra a continuación un ejemplo de una Especificación General de Procedimiento de Soldado, y dos muestras de una Especificación Particular de Procedimiento de Soldado para una junta. Los ejemplos únicamente ilustran la forma general de tratar los detalles de la especificación, no los detalles específicos a tratar en una aplicación particular.

Especificación de Procedimiento de Soldado No. \_\_\_\_\_  
Publicación No. \_\_\_\_ , \_\_\_\_ Fecha)

**ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADO PARA SOLDADURA  
MANUAL DE ARCO METALICO PROTEGIDO DE (UN ACERO)**

**CONTENIDO**

- 1.0 Alcance
- 2.0 Metales base y especificaciones aplicables
- 3.0 Almacenaje de electrodos, manipuleo, condiciones de uso, distribución y control
- 4.0 Combinaciones de metal base y electrodos aplicables
- 5.0 Tipo de corriente
- 6.0 Calificación de soldadores
- 7.0 Posiciones de soldar
- 8.0 Precalentamiento y temperatura entre pases
- 9.0 Martilleo mecánico
10. Diseño de juntas, tolerancias y métodos para corregir el ajuste
- 11.0 Preparación de la junta y limpieza
- 12.0 Detalles de soldado de juntas
- 13.0 Ranurado trasero en juntas de penetración completa
- 14.0 Inspección
- 15.0 Tratamientos térmicos después de soldar
- 16.0 Reparación de soldaduras
- 17.0 Registros

**EJEMPLO ILUSTRATIVO DE UNA  
"ESPECIFICACION GENERAL DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADO"**



**ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADO  
PARA SOLDADURA MANUAL DE ARCO METALICO PROTEGIDO DE (un acero)**

1 0    ALCANCE

1.1    Esta especificación de procedimiento cubre la soldadura manual de arco metálico protegido de acero \_\_\_\_\_ del tipo \_\_\_\_\_ para \_\_\_\_\_ según los requerimientos de la Especificación \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ (fecha) \_\_\_\_\_

2 0    METALES BASE Y ESPECIFICACIONES APLICABLES

2.1    \_\_\_\_\_ (un acero) : Designación ASTM \_\_\_\_\_  
 2.2    \_\_\_\_\_ (un acero) : Designación ASTM \_\_\_\_\_  
 2.3    Espesor del material: (un rango de espesores) \_\_\_\_\_

3 0    ALMACENAJE DE ELECTRODOS, MANIPULEO, CONDICIONES DE USO, DISTRIBUCION Y CONTROL

3.1    ALMACENAJE: toda la existencia de electrodos debe estar guardada en los envases de fabrica y deben mantenerse en un area limpia y seca

3.2    MANIPULEO: el manipuleo de electrodos, tanto antes de sacarlos del envase de fabrica como despues de ello, debe hacerse con sumo cuidado para evitar dañarlos fisicamente, o que sufran contaminación con suciedad, grasa, agua u otra materia extraña

3.3    CONDICION DE USO: los electrodos recibidos en recipientes herméticamente sellados deberan ser usados dentro de un periodo de \_\_\_\_\_ horas despues de haber sido retirados del envase

3.4    DISTRIBUCION: la entrega de electrodos a operarios sera efectuada unicamente por personal autorizado

3.5    ALMACENAJE DE ELECTRODOS, MANIPULEO, CONDICION Y CONTROL DE DISTRIBUCION: estos factores deben ser comprobados semanalmente por el departamento de control de calidad, debiendose llevar registros de los resultados de tal control

4 0    COMBINACIONES DE METALES BASE Y ELECTRODOS APLICABLES

4.1    Metales Base: (dar especificacion ASTM y rango de espesores utilizable)

4.2    Electrodos aplicables: (especificar tipo AWS/ASTM)

## 5 0 TIPO DE CORRIENTE

5.1 Corriente directa, polaridad inversa o corriente alterna.

## 6 0 CALIFICACION DE SOLDADORES

6.1 Segun los requerimientos de los párrafos \_\_\_\_\_ de la Especificacion \_\_\_\_\_

## 7 0 POSICIONES DE SOLDAR

7.1 Todas las posiciones

## 8 0 PRECALENTAMIENTO Y TEMPERATURA ENTRE PASES

8 1 Como sigue:

Espesor Plancha	Pre calentamiento y Temperatura entre Pases	
	Min	Max
1/2" y menor	_____ °C	_____ °C
1/2" a 1 1/2	_____ °C	_____ °C
mas de 1 1/2	_____ °C	_____ °C

8.2 Punteo de sujeción: igual que el soldado de juntas principales.

8.3 Métodos de Aplicación del Pre calentamiento: se hará por resistencia eléctrica o por radiación para todas las juntas principales mayores de \_\_\_\_\_ pulgadas de longitud; el calentamiento con soplete es permisible para juntas más pequeñas y para punteo de sujeción.

8.4 Areas de pre calentamiento:

8.4.1 Para soldado de juntas: toda el área a ser soldada, más \_\_\_\_\_ pulgadas como mínimo en todas direcciones.

8.4.2 Para punteo de sujeción: al menos \_\_\_\_\_ pulgadas más allá de los extremos de la soldadura.

8.5 Medición de la temperatura: se hará por medio de pirómetros de contacto o con crayones indicadores.

## 9 0 Martilleo mecanico

9.1 Ninguno, a menos que sea permitido para control de alabeos; entonces ningun martilleo mecanico se hara a la primera y ultima capa de soldadura en las juntas. Cualquier martilleo mecanico se hara de acuerdo a la Especificacion. \_\_\_\_\_

## 10.0 DISEÑOS DE JUNTA, TOLERANCIAS Y METODOS DE CORRECCION DE AJUSTE

### 10.1 Diseños de junta:

- 10.1.1 Juntas en T con filetes de soldadura
- 10.1.2 Juntas con T con bisel a 45° simple o doble
- 10.1.3 Juntas con bisel a 35° juntas con bisel en J simple o doble.
- 10.1.4 Bisel a 60° juntas a tope con preparación en V simple o doble.
- 10.1.5 Bisel a 20° juntas a tope con preparación en V simple o doble

### 10.2 Tolerancias:

- 10.2.1 Juntas en T con filetes: de \_\_\_" a \_\_\_" de abertura máxima de raíz, o de cero a 1/2 T, lo que sea menor. T es el espesor del alma.
- 10.2.2 Juntas en T con bisel sencillo o doble y juntas a tope con bisel en V: de \_\_\_" a \_\_\_" de abertura de raíz.
- 10.2.3 Juntas a tope con bisel en J sencillo o doble o bisel en U: de \_\_\_" a \_\_\_" de abertura de raíz.

### 10.3 Métodos de corrección de ajuste: de acuerdo con la Especificación. \_\_\_\_\_

## 11.0 PREPARACION DE LA JUNTA Y LIMPIEZA

- 11.1 Las juntas pueden prepararse por maquinado, corte con oxígeno, cincelado o esmerilado. Los bordes cortados con oxígeno no necesitan ser esmerilados, si están suficientemente lisos, libres de entalladuras, y laminaciones del cortado; de otra manera deberá esmerilarse para obtener un acabado razonablemente parejo y limpio.
- 11.2 Limpieza: Antes de ajustar las juntas, su superficie debe limpiarse de óxido, costras, pintura u otro material extraño. La limpieza puede efectuarse con cepillo de alambre, esmerilado, chorro de arena o algún otro medio aceptable.

## 12.0 DETALLES DE SOLDADO DE JUNTA

- 12.1 El arreglo de los pases de soldadura debe ser similar a los arreglos aplicables mostrados en las figuras \_\_\_\_\_ o \_\_\_\_\_.
- 12.2 Electrodo de los tamaños mostrados en los dibujos de las figuras \_\_\_\_\_ deben usarse normalmente para soldar los diferentes tipos de juntas en las posiciones mostradas. Tamaños más pequeños pueden usarse donde se requiera por condiciones especiales o para control adecuado del metal de soldadura.
- 12.3 El amperaje usado para soldar juntas en las diferentes posiciones debe estar normalmente dentro de los límites dados por las Tablas \_\_\_\_\_.
- 12.4 Detalles de soldado y notas técnicas
  - 12.4.1 Pueden usarse oscilaciones en cada pase de soldadura hasta

diámetros del núcleo del electrodo.

- 12.4.2 Las capas de soldadura no deben exceder de \_\_\_\_" de espesor en posiciones de soldado plana o sobre cabeza, o \_\_\_\_\_" en juntas en posición vertical u horizontal
- 12.4.3 Puntos de soldadura agrietados o defectuosos se removerán antes de terminar el soldado de juntas.
- 12.4.4 Los pases de soldadura deberán limpirse de escoria u otro material extraño antes de la deposición de los pases adicionales.
- 12.4.5 La escoria y salpicaduras se removerá de las soldaduras terminadas.
- 12.4.6 La socavación en los bordes de las soldaduras terminadas debe mantenerse en un mínimo y en ningún caso debiera exceder \_\_\_\_" o \_\_\_\_% del espesor de la plancha, lo que sea menor.

### 13.0 RANURADO TRASERO EN JUNTAS DE PENETRACION COMPLETA

- 13.1 Todas las juntas de penetración completa deberán ser ranuradas por atrás hasta encontrar metal sano antes de soldar el segundo lado.
- 13.2 El ranurado posterior de las juntas puede hacerse por cincelado, esmerilado o escopladura.
- 13.3 Si el ranurado se hace con oxígeno las superficies deberán estar limpias de metal carburizado antes de soldar.

### 14.0 INSPECCION

- 14.1 Todas las juntas deberán ser visualmente inspeccionadas antes de soldar para verificar su conformidad con los detalles de las especificaciones, y después de soldar para chequear la uniformidad superficial, socavaciones o cualquier otra indicación superficial que señale deficiencias en la soldadura.
- 14.2 Las juntas que deberán inspeccionarse por radiografía, ultrasonidos o por partícula magnética deberán indicarse en los planos de diseño. Los detalles de inspección deberán estar de acuerdo a la Especificación \_\_\_\_\_ para la inspección radiográfica y ultrasonica o la Especificación \_\_\_\_\_ para inspección ultrasonica.

### 15.0 TRATAMIENTOS TERMICOS DESPUES DE SOLDAR

- 15.1 Ninguno, excepto donde se indique para partes específicas en los planos de diseño.
- 15.2 Cuando sea requerido el tratamiento térmico después de soldar debiera hacerse de acuerdo con la Especificación \_\_\_\_\_

### 16.0 REPARACION DE SOLDADURAS

- 16.1 Cualquier soldadura que requiera reparación por tener socavación o por faltarle

tamaño deberá ser precalentada y soldada de acuerdo a las recomendaciones generales de esta Especificación

- 16.2 Las soldaduras que por falta de sanidad requieran ser reparadas deberán removerse totalmente hasta el metal sano por medio de cincelado, esmerilado o escopladura, después de lo cual se limpiará, precalentará y se hará la reparación soldando de acuerdo a las recomendaciones generales de esta Especificación
- 16.3 Las reparaciones de soldaduras que requiera tratamiento térmico después de soldar se harán antes del tratamiento térmico final.

#### 17.0 REGISTROS

- 17.1 No se requiere ninguno para soldaduras secundarias. El nombre y el símbolo de todos los soldadores e inspectores que han trabajado en juntas, así como los detalles de inspección y de cualquier reparación, deberán ser registrados para todas las juntas soldadas que requieran inspección radiográfica, con partícula magnética o ultrasónica.
- 17.2 Durante el proceso de fabricación, los registros deberán estar disponibles al comprador o a sus representantes autorizados. Al terminar la fabricación se le entregarán al comprador.

Preparado por: \_\_\_\_\_  
Aprobado por: \_\_\_\_\_

## 12. MARTILLO MECANICO

Se usa algunas veces para evitar el alabeo o el agrietamiento de la soldadura o el metal base y para causar en la soldadura alargamientos locales para aliviaria de esfuerzos producidos por contraccion. Los detalles de su aplicacion deben estar cubiertos en la especificacion de procedimiento aprobada y los resultados deben verificarse de acuerdo a "pruebas de calificacion de soldado".

## 13. ENERGIA TERMICA APORTADA

El aporte de energia termica durante la operacion de soldado es de gran importancia (sobre todo cuando se soldan aceros con tratamiento termico y aleaciones). Siempre que el aporte calorifico pueda influir en la soldadura, este debe prescribirse en la especificacion de procedimiento de soldado junto con los detalles de control.

## 14. PREPARACION DEL OTRO LADO DE LA JUNTA

En los casos en que las juntas deban ser soldadas de ambos lados de la junta, en la especificacion de procedimiento deben señalarse los metodos que pueden emplearse para preparar el material que en el segundo lado de la junta. Estos metodos pueden ser: esmerinado, o ranurado con oxiacetileno. La preparacion de otro lado de la junta antes de soldar es importante para obtener juntas libres de grietas u otros defectos.

## 15. REPARACIONES

Cuando la soldadura de una junta resulta inadecuada debe ser removida en la parte defectuosa. La remocion o escarificado puede hacerse por cualquiera de los metodos que se utilizan en la preparacion del otro lado de la junta, el metodo a usar debe estar en la especificacion de procedimiento. Los detalles de los metodos de reparacion por remocion de la soldadura defectuosa deben ser claramente detallados en la especificacion.

## 16. INSPECCION

La especificacion de procedimiento de soldado debe indicar el tipo y grado de inspeccion que cada junta soldada debe recibir. La inspeccion puede ser únicamente visual, o se pueden requerir tecnicas mas especializadas de inspeccion como radiografias, ultrasonidos, particula magnetica, etc.

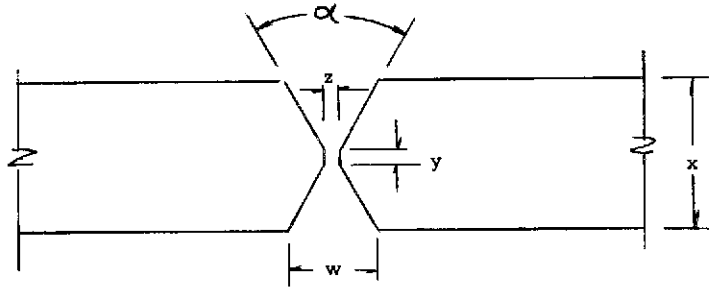
## 17. POSTCALENTAMIENTO

Una especificacion de procedimiento debe señalar, para los materiales o estructuras que así lo requieran, el tratamiento termico a aplicar para aliviar los esfuerzos producidos despues del soldado, o para asegurar el desarrollo de las propiedades mecanicas requeridas en la junta. Se debe incluir una

**PROCEDIMIENTO DE SOLDADO DE JUNTA:**

Especificación No. \_\_\_\_\_

Junta \_\_\_\_\_



**Procedimiento de Soldado - General**

Metal base (especificación No.) \_\_\_\_\_

Electrodo (clasificación o nombre comercial) \_\_\_\_\_

Fuente de Potencia (AC o DC y polaridad si DC) \_\_\_\_\_

Soporte o tratamiento de raíz \_\_\_\_\_

Pre calentamiento \_\_\_\_\_

Post calentamiento \_\_\_\_\_

Posiciones de soldar \_\_\_\_\_

**Detalles del procedimiento de soldar:**

Pase No.	Tamaño electrodo	Rango de corriente	Voltaje del arco	Localización y secuencia de los pases

## CAPITULO VI

### CALIFICACION

Existen tres medios de control, que juntos aseguran la producción de soldaduras satisfactorias:

- A. Calificación de procedimientos de soldado
- B. Calificación de soldadores
- C. Supervisión e inspección durante el soldado, para comprobar que los detalles del procedimiento se cumplen durante el proceso de soldado.

Con estos tres medios de control es posible lograr soldaduras consistentes de propiedades conocidas.

Usualmente se obtienen soldaduras satisfactorias en una estructura cuando se utiliza un procedimiento adecuado y cuando las soldaduras son realizadas por operarios competentes. Existen procedimientos estandar de calificación (por ejemplo los desarrollados por la AWS) consistentes en dos partes: calificación de los procedimientos y calificación del operario. La calificación de los procedimientos se refiere a las propiedades del metal base y del de aportación, del tipo y tamaño de los electrodos, del tipo de preparación de la junta y de la posición de soldar, de la corriente y voltaje a usar y de los usos posibles del precalentamiento o del tratamiento térmico de las partes después de soldar. La calificación del operario requiere que el soldador realice ciertos especímenes de prueba, los cuales deberán tener una resistencia y ductibilidad especificadas. Las soldaduras de prueba deben simular el tipo y las condiciones de soldado en el campo, y se suministran diferentes calificaciones para los distintos tipos de soldadura; numerosas comparaciones hechas entre los resultados obtenidos con especímenes de prueba y especímenes reales de campo, indican que los operarios que hacen buenos especímenes de prueba también hacen, en general, buenas soldaduras de campo o en el taller. Sin embargo, no es suficiente confiar solamente en las pruebas de calificación, sino debe mantenerse una inspección adecuada de todas las soldaduras en la estructura para asegurarse que son satisfactorias. Los métodos existentes de supervisión requieren ser efectuados por personal competente que sea capaz de interpretar los resultados.

#### A. CALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADO

La resistencia, ductibilidad y la adecuabilidad general de las juntas soldadas depende en mucho de los materiales y métodos empleados en el proceso de soldado. Los materiales y métodos a utilizar se establecen en las "especificaciones de procedimiento de soldado".

Es erróneo creer que para lograr una estructura soldada satisfactoria es suficiente con disponer de un equipo de soldadores calificados para su fabricación; la experiencia ha demostrado que un factor de igual o mayor importancia es el "procedimiento de soldado" que es utilizado por el soldador en la ejecución del trabajo. Para un cierto procedimiento particular de soldado aplicado a un



cierto material, diseño de junta específico y un electrodo determinado, podría ser imposible aun para el soldador más hábil producir una soldadura satisfactoria. Es por esta razón, que antes de aplicar un procedimiento nuevo en la producción, es necesario fabricar juntas soldadas de muestra ejecutadas con ese procedimiento y establecer por medio de pruebas, que tales soldaduras poseen las propiedades requeridas para esa aplicación en particular. Esta práctica se conoce con el nombre de "calificación de un procedimiento de soldado". Así pues, el propósito de los ensayos de calificación de procedimiento es la determinación positiva, a través de la preparación de especímenes soldados y su ensayo subsiguiente de que los materiales y métodos prescritos en una especificación de procedimiento producirán efectivamente juntas soldadas que cumplirán las especificaciones aplicables.

Algunas especificaciones toman en cuenta el uso anterior de ciertos métodos y procedimientos de soldado ampliamente utilizados, y no requieren la repetición de ensayos de calificación de procedimiento para estos casos, pues ya los consideran como precalificados. Un ejemplo de estas especificaciones al Código de Soldadura Estructural (S.W.C.) de la AWS.

## **1. PASOS EN LA CALIFICACION DE UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADO**

### **a) Preparación de muestras de juntas para calificación de procedimiento**

Las muestras soldadas se preparan de acuerdo a la especificación de procedimiento de soldado de junta que se va a calificar. El tamaño, tipo y espesor de la muestra son fijados por el espesor y tipo de material a ser soldados en las operaciones reales de producción, y del tipo, tamaño y número de especímenes a obtener para ensayo. Esto último se encuentra usualmente prescrito en el código aplicable (Ver S.W.C., sección 5).

### **b) Ensayo de las soldaduras de calificación de procedimiento**

Especímenes de prueba se cortan de las juntas soldadas de muestra con el fin de determinar ciertas propiedades a través de ensayos (Fig. 6.1). El tipo y número de especímenes a ser ensayados depende de los requerimientos de la especificación aplicable. El Código de Soldadura Estructural de la AWS delinea una serie de ensayos para determinar las propiedades mecánicas y la sanidad de las juntas soldadas y ejecutadas bajo una especificación de procedimiento dada. Los ensayos a realizar son los siguientes:

Para soldaduras de bisel:

- ensayo de tensión en sección reducida (resistencia a la tensión)
- ensayo de doblado de raíz (sanidad)
- ensayo de doblado de cara (sanidad)
- ensayo de doblado de lado (sanidad)
- ensayo del metal de soldadura (propiedades mecánicas)

Para soldaduras de filete:

- ensayo metalográfico de macroespecímenes

En el capítulo sobre "Ensayos Destructivos" volveremos a hablar sobre estos ensayos

Es esencial llevar un registro mostrando como se hicieron las soldaduras para las pruebas de calificación de procedimiento.

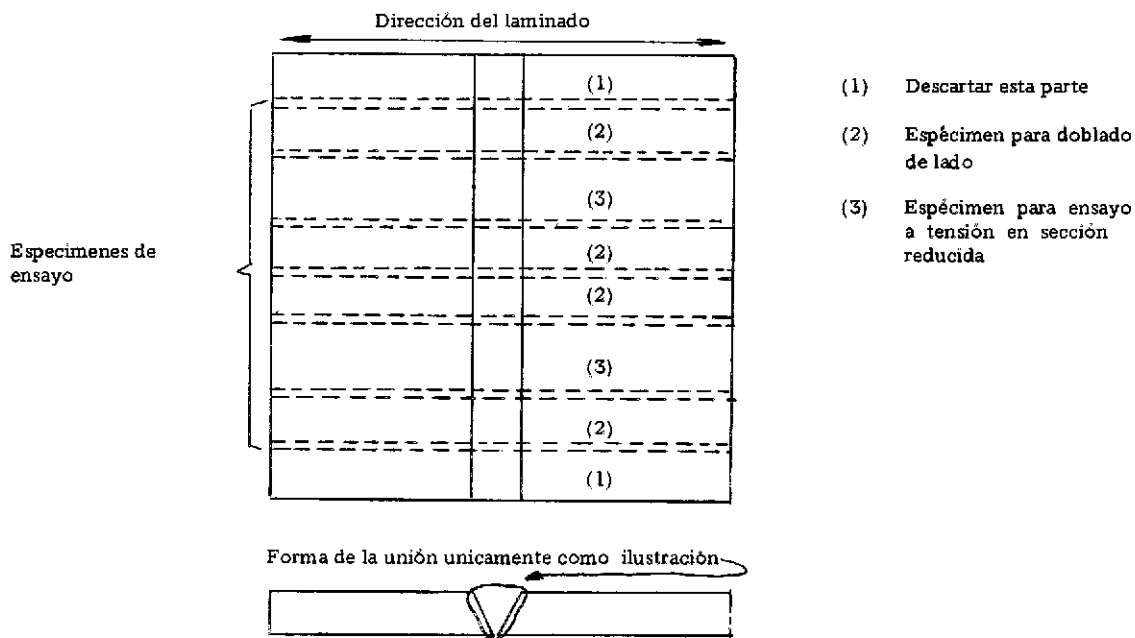


FIGURA 6.1 Orden de corte de especímenes de ensayo de una plancha soldada de muestra para espesores mayores de 3/4" con fines de ensayo de calificación de procedimiento.

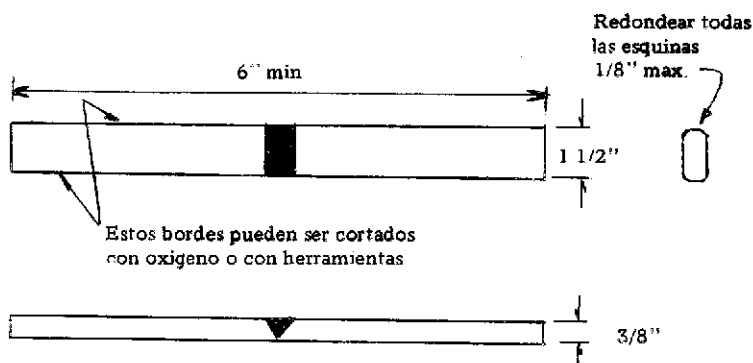


Fig. 6.2 Especímenes para Doblado de Cara y de Raíz.

Ver sección 5.10 del S.W.C. para mayores detalles sobre especímenes de ensayo (número, tipo y preparación)

c) **Evaluación de los resultados del ensayo**

Los resultados del ensayo son revisados con el objeto de determinar si llenan los requerimientos especificados. Si todos los requerimientos son satisfechos, el procedimiento de soldado se considera como calificado. Según el código S.W.C., sección 5.12, algunos de los requerimientos de los resultados de los ensayos son los siguientes:

**“5.12.1.1 Ensayo de Tensión en Sección Reducida**

La resistencia a la tensión no será menos que el mínimo del rango de resistencias a tensión especificadas del metal base usado.

**5.12.1.2 Ensayos de Doblado de Raíz, Cara y Lado**

La superficie convexa del espécimen deberá examinarse en busca de la aparición de grietas u otros defectos abiertos. Cualquier espécimen en el cual una grieta u otro defecto abierto está presente después del doblado, excediendo 1/8" medido en cualquier dirección, debe considerarse como que ha fallado la prueba. Grietas que ocurran en las esquinas del espécimen durante el ensayo no deberán ser consideradas.”

Etc. etc.

d) **Aprobación de los ensayos de calificación y especificaciones de procedimiento**

La entidad gubernamental o privada que contrata la fabricación de una estructura soldada, es a la que corresponde la aprobación de los ensayos de calificación de procedimiento y de los resultados obtenidos en la aplicación de éstos. Tal aprobación es necesaria antes de efectuar cualquier soldadura bajo los requerimientos de una especificación de procedimiento dada, en la fabricación de la estructura en el taller.

## **2. CAMBIOS DE UN PROCEDIMIENTO YA CALIFICADO**

Si un fabricante que ha calificado un procedimiento de soldadura, desea en una fecha posterior hacer algún cambio en dicho procedimiento, y cuando ese cambio pueda alterar las propiedades de las soldaduras resultantes, será necesario efectuar ensayos adicionales de calificación con el objeto de establecer que con tal cambio en el procedimiento, aún se obtendrán resultados satisfactorios.

Para cada proceso de soldadura (soldadura de arco metálico protegido, soldadura de arco sumergido, etc.) hay ciertos cambios que se consideran cambios esenciales para un procedimiento de soldado dado, y que requieren el establecimiento de un nuevo procedimiento y su consiguiente calificación.

Para soldadura de arco metálico protegido algunos de los cambios que requieren recalificación son los siguientes:

- Un aumento en la resistencia del electrodo utilizado, por ejemplo un cambio de electrodo E70XX a E80XX, pero no viceversa.

- Uso de un electrodo de diámetro mayor que el indicado en la especificación de procedimiento.
- Omisión en el uso de material de soporte en la junta, pero no viceversa, etc. etc.

Ver S.W.C., sección 5.5, para ampliar información sobre el tipo de cambios que ordinariamente requieren recalificación del procedimiento de soldado.

## B. CALIFICACION DE SOLDADORES

Las pruebas para calificación de soldadores u operarios de máquinas o equipo de soldadura automática, se emplean para demostrar la habilidad de éstos para realizar soldaduras que llenen estándares prescritos, utilizando un procedimiento de soldado específico.

Estas pruebas de calificación constituyen uno de los medios de control que ayudan a lograr soldaduras satisfactorias en los ensambles. Debe tenerse presente sin embargo, que las soldaduras de prueba son más bien soldaduras especiales ejecutadas con particular esmero, que ponen de manifiesto si un individuo puede producir juntas soldadas de sanidad aceptable, pero que no son una garantía de que el individuo las producirá normalmente en su trabajo. Por esta razón no debe depositarse una confianza absoluta en las pruebas de calificación de soldadores, la calidad de las soldaduras en el trabajo de producción debe determinarse por inspección durante y después de completar el proceso de soldado.

Diferentes códigos prescriben métodos y detalles para la calificación de soldadores, algunos métodos presentan pequeñas diferencias entre sí, sin embargo, los aspectos principales son usualmente los mismos.

Las pruebas de calificación descritas en los códigos son especialmente diseñadas para determinar la habilidad del soldador para producir soldaduras sanas. No se pretende que las pruebas de calificación sean usadas como guía de soldado durante el proceso constructivo. Esto último debe ejecutarse de acuerdo a los requerimientos de las "especificaciones de procedimiento de soldado". Esto se debe a que las soldaduras utilizadas para calificación no corresponden usualmente en cada detalle al procedimiento que el soldador empleará en la fabricación, por haber sido estandarizados los ensayos con el propósito de eliminar la necesidad de hacer pruebas de calificación adicionales cada vez que cada uno de los procedimientos se ve ligeramente alterado. Naturalmente, pruebas de calificación separadas se requieren cuando los procedimientos son radicalmente diferentes.

Por lo anterior vemos que no es suficiente con entrenar a los operadores únicamente al grado requerido para pasar las pruebas prescritas de calificación, sino que debe ser responsabilidad del fabricante proporcionar entrenamiento adicional suficiente en los procedimientos específicos con los que se encontrará el operario en el proceso real de fabricación.

Los aspectos que frecuentemente cubre una especificación de calificación de operarios son los siguientes:

1. Soldadura de planchas y miembros estructurales
2. Soldadura de tubería
3. Posiciones de soldar
4. Ensayo de las soldaduras de prueba
5. Re-ensayos
6. Registros

### **1. SOLDADURA DE PLANCHAS Y MIEMBROS ESTRUCTURALES**

Los requerimientos de calificación para soldadura de planchas y partes estructurales (incluyendo recipientes a presión), usualmente exigen que cada soldador u operador de equipo de soldadura automática debe efectuar una o más soldaduras de prueba en especímenes utilizando un procedimiento de soldado calificado. Cada soldadura de calificación es sometida a ensayos específicos. Un ejemplo de tales especímenes de ensayo se muestra en la página siguiente.

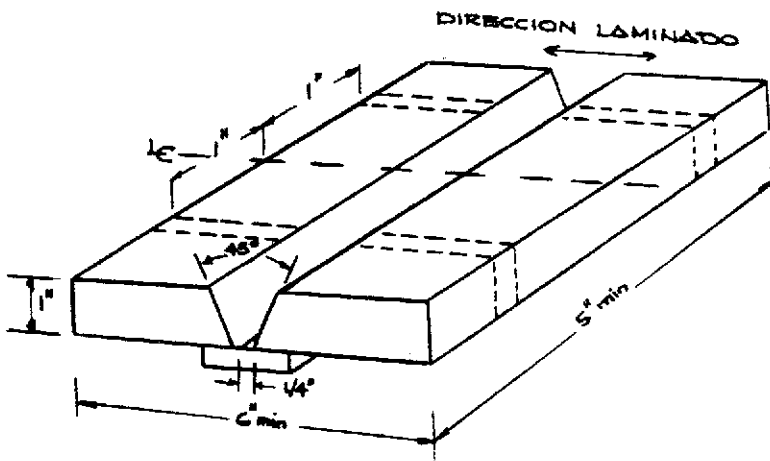
El S.W.C. señala que cualquier calificación efectuada con uno de los aceros permitidos para soldar por tal código, debe considerarse como válida para los restantes aceros permitidos. Así mismo, la calificación con un electrodo dado, automáticamente califica para los demás electrodos que se clasifican dentro de su grupo.

### **2. SOLDADURA DE TUBERIA**

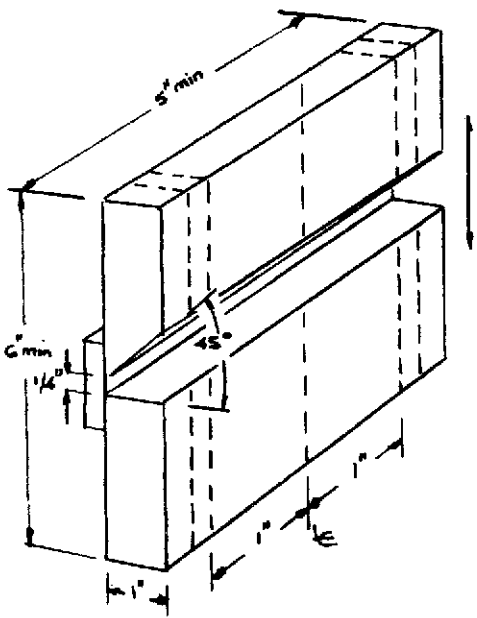
Los requerimientos de calificación para soldadura de tubería difieren de aquellos para soldadura de planchas y miembros estructurales principalmente en los especímenes de prueba.

### **3. POSICIONES DE SOLDADO**

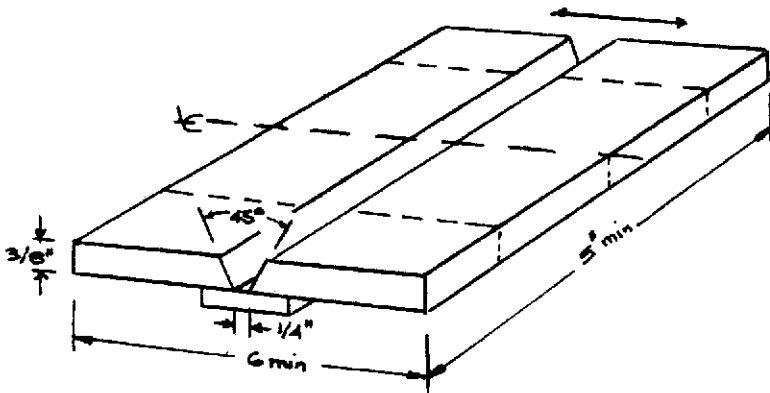
Los códigos y especificaciones casi siempre requieren que las pruebas de calificación de soldadores se efectúen para las posiciones de soldar más difíciles que se encontrarán en el proceso de fabricación. Usualmente la calificación en una posición más difícil, por ejemplo sobre cabeza, califica para soldar en posiciones con menor grado de dificultad, como posición horizontal o plana.



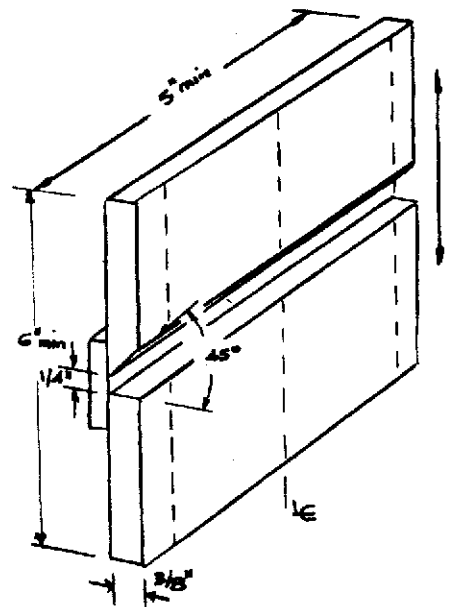
PLANCHA DE ENSAYO PARA ESPESOR ILIMITADO



PLANCHA OPCIONAL DE ENSAYO PARA ESPESOR ILIMITADO (POSICION HORIZONTAL)



PLANCHA DE ENSAYO PARA ESPESOR LIMITADO (TODAS LAS POSICIONES)



PLANCHA OPCIONAL DE ENSAYO PARA ESPESOR LIMITADO (POSICION HORIZONTAL)

PLANCHAS PARA CALIFICACION DE SOLDADORES (CODIGO DE SOLDADURA ESTRUCTURAL (AWS D1.1-REV 2-74))

#### 4. ENSAYO DE LAS SOLDADURAS DE PRUEBA

Los especímenes o probetas soldadas son probadas para determinar si llenan los requerimientos del código o especificación aplicable. Si la soldadura llena los requerimientos prescritos, el operador se considera como calificado para emplear el procedimiento de soldado utilizado, y procedimientos similares dentro de límites especificados.

Los ensayos generalmente consisten en pruebas de doblado mecánico de probetas cortadas de lugares específicos de las planchas de ensayo. También pueden ser requeridas pruebas radiográficas de las probetas de ensayo con el fin de calificar al soldador.

Usualmente el requisito principal es que las soldaduras de prueba estén sanas y que presenten fusión completa hasta el metal base. Propiedades tales como resistencia a la tensión o ductibilidad del metal de soldadura no se especifican como condiciones para calificación, ya que depende del metal base, el metal de aporte y de los detalles del procedimiento de soldado, que están fuera del control del operario. Ver detalles particulares de los ensayos de calificación en sección 5.27 de S.W.C.

#### 5. RE-ENSAYOS

En caso de que el soldador no logre llenar los requerimientos para calificación en una o más soldaduras de prueba, una repetición del ensayo se permite bajo las siguientes condiciones:

- a) Repetición inmediata del ensayo consistente en dos soldaduras de prueba de cada tipo de las que fallaron el examen, debiendo ambas llenar los requerimientos especificados para tales soldaduras.
- b) Repetición posterior del ensayo puede hacerse, siempre que haya evidencia de que el soldador ha logrado mayor entrenamiento y práctica. En este caso la repetición de las pruebas será total.

#### 6. REGISTROS

Records de los resultados de las pruebas deben llevarse por el fabricante o contratista, y deben estar a la disposición de las personas autorizadas para examinarlos. Estos registros deben indicar las pruebas que se efectuaron para la calificación de los soldadores y el proceso para el cual califican. Ver ejemplo ilustrativo de un registro de calificación de soldador en la página siguiente.

# CALIFICACION DE SOLDADOR

## PRUEBA Y RESULTADOS

EMPRESA TEATED NACIONAL GUATEMALA C.A. CODIGO A.W.S. D1.1-72  
 FECHA 29 ENERO 1974 NORMA \_\_\_\_\_  
 NOMBRE DEL SOLDADOR PAUL OVANDO CHAVEZ RESULTADO APROBADO  
 PROCESO DE SOLDAR MANUAL  
 MATERIAL ACERO A-36 A.S.T.M.  
 POSICIONES: NORMAL  VERTICAL  S/CABEZA   
 DIRECCION: ESCURRIDO  LEVANTADO   
 No. DE ESPECIFICACION (2)

### MATERIAL

DIMENSION 3" X 5 (2 PLACAS) BISEL 22.5°  
 ESPESOR 1" TIPO V SENCILLA  
 TIPO DE METAL ACERO ESTRUCTURAL RAIZ 1/4"  
 RANGO QUE ABARCA LA PRUEBA ESPESOR ILIMITADO

### DETALLES

ELECTRODO E-6010 Y 6011 DIAMETRO 1/8" 5/32" 3/16"  
 MARCA HOBART  
 RESPALDO 3" X 6" X 1/4" HOMBRO NINGUNO

### MAQUINA DE SOLDAR

TIPO RECTIFICADOR  
 MARCA LINCOLN  
 CAPACIDAD 400 AMPS. A-C Y D-C

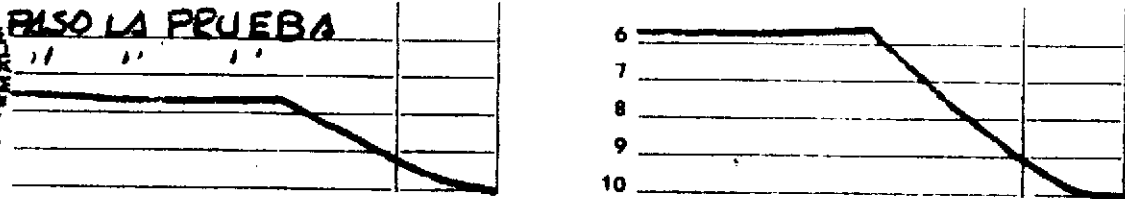
### SOLDADORA

AMPS. 100, 130 Y 160 RESPECTIVAMENTE  
 VOLTS. 28  
 VEL. DE AVANCE NORMAL

### ESPECIMENES

DOBLEZ  RAYOS X  SANIDAD

#### DESCRIPCION



NOTAS: - CERTIFICAMOS QUE ESTOS DATOS SON CORRECTOS APEGADOS A LA NORMA MENCIONADA Y QUE LA EVALUACION Y CLASIFICACION DE LOS MISMOS ES OBJETIVA.

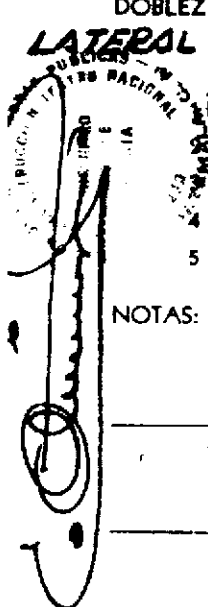
\_\_\_\_\_  
CONSULTOR

\_\_\_\_\_  
TESTIGO  
LA EMPRESA

*Adolfo Ch. Martinez*  
EXAMINADO POR

**ADOLFO CH. MARTINEZ**

\_\_\_\_\_  
TESTIGO  
DELEGADO





## CAPITULO VII

### DEFECTOS EN ENSAMBLES SOLDADOS

Cuando un ensamble no llena especificaciones, se dice que presenta defectos. El defecto o deficiencia del ensamble puede estar relacionado con las dimensiones del mismo, discontinuidades estructurales, u otro atributo del producto. Para que un defecto sirva de base para el rechazo de un ensamble, éste debe estar fuera de las tolerancias que acepta el código o especificaciones aplicables.

Los defectos en ensambles soldados pueden clasificarse en tres grupos:

- A. Defectos dimensionales
- B. Discontinuidades estructurales en la soldadura
- C. Propiedades defectuosas

Un conocimiento completo de las limitaciones del proceso de soldadura utilizado, así como una comprensión de las condiciones que propician la formación de defectos, permitirá juzgar de antemano la probabilidad de obtener soldaduras satisfactorias.

#### A. DEFECTOS DIMENSIONALES

Toda desviación de las dimensiones indicadas en los planos o de los requerimientos que señalan las especificaciones o los códigos, ya sea en tamaño o forma de los cordones o en las dimensiones finales del conjunto de piezas soldadas se puede catalogar como un defecto dimensional. Tales defectos deben ser corregidos antes de la aceptación final del montaje.

##### 1. DISTORSIONES

La operación de soldar lleva consigo la aplicación de calor y la fusión del metal en puntos localizados de las piezas a ensamblar. Debido a las expansiones y contracciones térmicas se establecen esfuerzos de gran magnitud que persisten en las piezas después que la estructura se ha enfriado, y que tienden a deformar las partes que han sido soldadas. El calentamiento desigual e irregular, provocado por un orden o secuencia de soldadura inadecuado crea también expansiones desiguales de las piezas. Estas piezas al enfriarse se contraen también de una manera desigual e irregular, dando lugar a pandeos, desalineamientos, falta de perpendicularidad entre piezas y otros tipos de distorsiones comunes

Para minimizar la distorsión es recomendable:

- Puntear la junta o sujetar las piezas a soldar con grapas rígidas.
- Conformar las piezas antes de soldarlas.

- Eliminar las tensiones de laminación o conformación antes de soldar.
- Distribuir la soldadura para que el calentamiento sea uniforme
- Inspeccionar la estructura y seleccionar una secuencia lógica de soldado que introduzca esfuerzos opuestos que se anulen
- Usar para soldar la técnica de salto atrás (técnica de soldar en la que los tramos de soldadura se depositan en sentido contrario a la dirección progresiva de avance), para reducir las deformaciones y mantener el material alineado.

La corrección de los miembros distorsionados por la operación de soldado usualmente se hace por medio de uno o más de los procedimientos siguientes:

- Operación de enderezado por medios mecánicos o por la aplicación cuidadosamente supervisada de una cantidad limitada y localizada de calor, cuya temperatura no debe exceder 590°C para aceros tratados y templados, ni 650°C (color hígado) para otros aceros.
- Remoción de soldadura o soldaduras defectuosas y volver a soldar.
- Quitando o agregando metal de soldadura donde sea necesario.

Ver requerimientos dimensionales, control de distorsiones y tolerancias en secciones 3.3, 3.4, 3.5 del S.W.C.

## **2. PREPARACION INCORRECTA DE LA JUNTA**

La práctica establecida de soldadura requiere que se usen las dimensiones adecuadas para cada tipo de junta y que sean consistentes con el espesor de las planchas que han de unirse por soldadura. Cualquier desviación de estos requerimientos puede traer consigo una mayor tendencia a producir muchos de los defectos conocidos como "discontinuidades estructurales" en la soldadura. Es por esto importante que la junta se prepare tal como muestran los planos o lo mandan las especificaciones.

Después que las piezas se arman para soldarlas, es necesario verificar si existe alguna incorrección en la separación de la raíz, en el tamaño del hombro, en el ángulo del chaflán o cualquier otro detalle de la preparación de la junta. La preparación del canto de las planchas debe de estar de acuerdo al proceso de soldadura que se va a usar, al espesor de las planchas, al tipo de junta y al grado de penetración que se desea obtener.

## **3. TAMAÑO INCORRECTO DEL CORDON DE SOLDADURA**

El tamaño de una soldadura de filete para soldaduras de ángulo con lados iguales, es la longitud del lado mayor del triángulo recto isósceles que pueda inscribirse en la sección transversal de

la soldadura. Para soldadura de ángulo con lados desiguales, el tamaño viene dado por la longitud del lado mayor del triángulo recto que pueda inscribirse en la sección transversal de la soldadura.

El tamaño de una soldadura de bisel (garganta efectiva) es la profundidad de éste, más la profundidad adicional de fusión cuando ésta exista (Fig. 7.1).

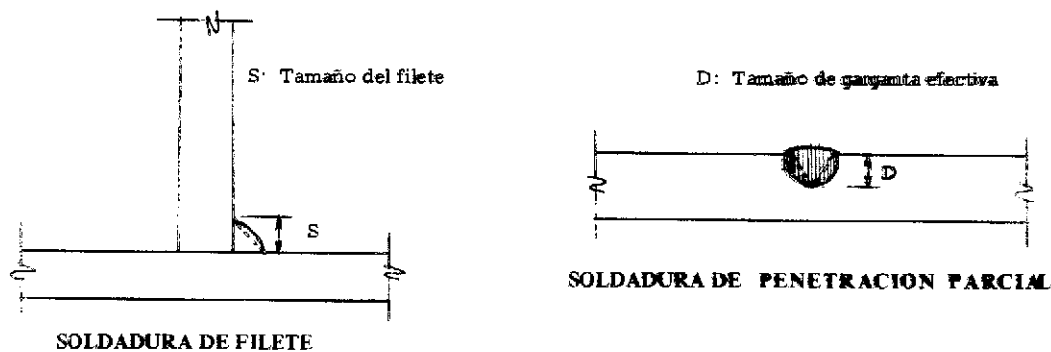


FIGURA 7.1. Tamaños de soldaduras de filete y bisel.

Cualquier deficiencia debida a un tamaño insuficiente o excesivo puede ser determinada por medio de una "inspección visual" o con un calibrador de soldaduras.

#### 4. CONTORNO INCORRECTO DE LA SOLDADURA

El contorno de una soldadura terminada puede tener considerable efecto en su comportamiento bajo carga en condiciones de servicio. Así, el contorno de una de las capas de soldadura, en el caso de las soldaduras de capas múltiples, puede tener efecto determinante sobre la tendencia a producir defectos tales como falta de fusión o inclusiones de escoria cuando las capas subsiguientes son depositadas.

Todo cambio repentino de sección que ocurre en una pieza debido a la soldadura se conoce con el nombre de entalladura. El cambio de sección provoca una desviación de las líneas de fuerza siguiendo el contorno de la entalladura y cuyo efecto es producir prematuramente agrietamientos y roturas (Fig. 7.2)

Requerimientos relativos a defectos de esta naturaleza en soldaduras terminadas se incluyen usualmente en las especificaciones o planos de fabricación. Cualquier disconformidad con tales requerimientos se cataloga como un defecto de soldadura que debe ser corregido antes de la aceptación de la junta (Fig. 7.3)

Los tipos más usuales de defectos de este tipo son:

- a) Sobremonta
- b) Convexidad excesiva
- c) Concavidad excesiva
- d) Exceso de refuerzo

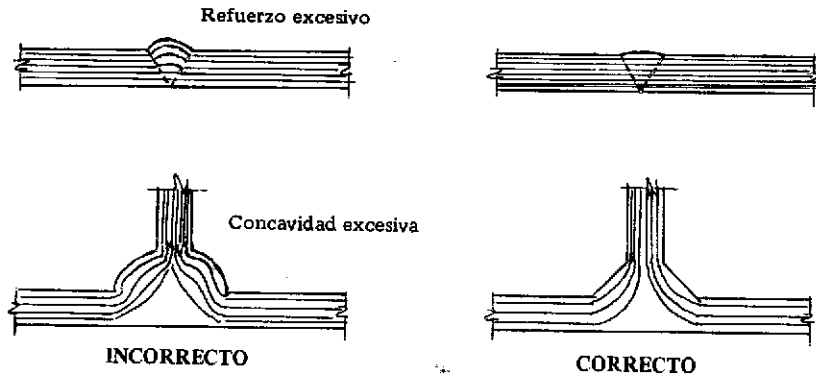
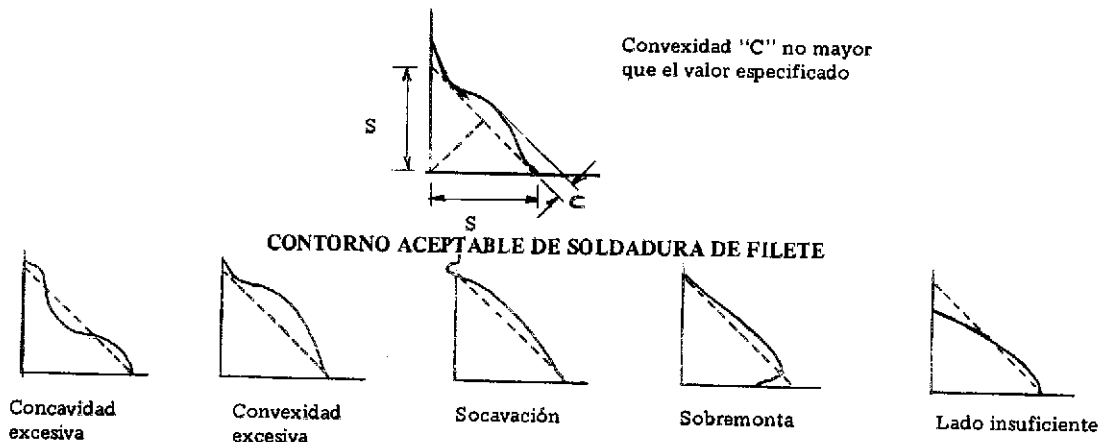
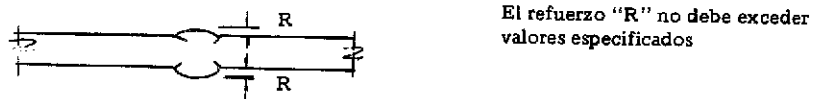


FIGURA 7.2. Líneas de fuerza en las uniones soldadas.

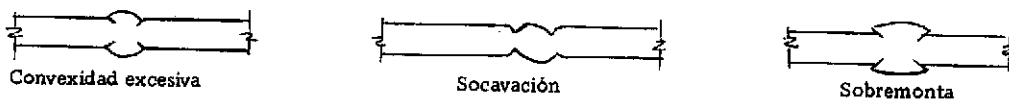


CONTORNO ACEPTABLE DE SOLDADURA DE FILETE

CONTORNOS DEFECTUOSOS EN SOLDADURAS DE FILETE



CONTORNO ACEPTABLE DE SOLDADURA A TOPE



CONTORNO DEFECTUOSO EN SOLDADURAS A TOPE

FIGURA 7.3. Contornos de soldadura aceptables y defectuosos.

a) **Sobremonta**

Se llama así a aquella cantidad de metal que ha sido depositada sobre las planchas que conforman la junta sin llegar a formar una unión perfecta con éstas. Generalmente ocurre en las soldaduras de filete, en forma de protusión del metal de aporte al pie del filete, más allá de los límites de fusión (Fig. 7.4). La soldadura con sobremonta se considera defectuosa por tener más pequeño el tamaño efectivo del filete, además de poseer la tendencia a producir grietas que son dañinas por la concentración de esfuerzos que ocurren bajo carga.

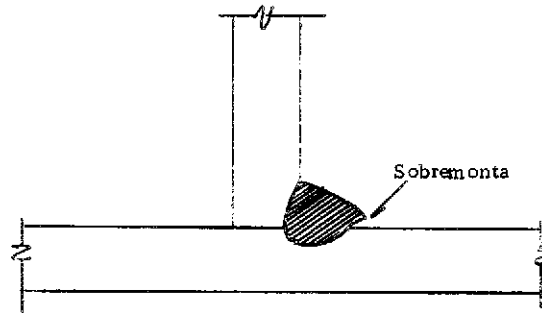


FIGURA 7.4. Filete de soldadura con sobremonta.

La sobremonta generalmente es causada por el empleo de una técnica incorrecta en la soldadura, avance muy lento; o condiciones eléctricas incorrectas (amperaje muy bajo). La sobremonta también puede presentarse al pie del refuerzo de las soldaduras a tope.

b) **Convexidad excesiva**

Este tipo de defecto generalmente es producido por el uso de un amperaje muy bajo o debido al empleo de una técnica de soldado inapropiada. En soldaduras de filete, al igual que la sobremonta, el exceso de convexidad tiende a producir grietas que son dañinas debido a la concentración de esfuerzos. En el caso de soldaduras de capas múltiples, un exceso de convexidad en una de las capas intermedias puede ser propicio a que ocurra falta de fusión o inclusiones de escoria, a menos que se corrija el defecto por medio de un limado o cincelado antes de depositar las capas subsiguientes (Fig. 7.3).

c) **Concavidad excesiva**

Este defecto usualmente se haya asociado a soldaduras de filete. La resistencia real de tales soldaduras es considerablemente menor que la del filete normal, por ser el tamaño de la garganta menor (Fig. 7.3).

La concavidad excesiva es provocada generalmente por usar amperajes muy altos y arcos

muy largos durante la operación de soldado. Ocurre cuando se solda en posición plana, una excepción es cuando se solda de arriba para abajo un filete en posición vertical. En soldadura en posición plana es posible evitar este defecto reduciendo el amperaje. No existe ningún remedio cuando la posición es vertical, optando únicamente por darle al filete una garganta igual a la del filete estándar requerido, no guiándose por el tamaño del lado del filete que se ha obtenido.

#### d) Refuerzo excesivo

Se encuentra asociado usualmente a soldaduras de bisel. Es indeseable ya que rigidiza la junta y establece muescas que crean condiciones indeseables de esfuerzo. Este tipo de defecto es producido por el empleo de una técnica inadecuada de soldado, o la utilización de un amperaje muy bajo (Fig. 7.3).

## B. DISCONTINUIDADES ESTRUCTURALES

Bajo este nombre se incluyen todos aquellos defectos que están relacionados con discontinuidades en la estructura de la soldadura, ya sea falta de metal de aporte o falta de fusión. Defectos de este tipo son las porosidades, grietas, penetración incompleta, inclusiones de escoria, etc. El término "discontinuidades estructurales" no indica que exista un cambio en la estructura metalográfica en el punto donde se presentan estos defectos, sino simplemente señala que allí se tiene falta de metal de soldadura o falta de fusión.

### 1. POROSIDAD

Se entiende por porosidad aquella cavidad de forma globular llena de gases que algunas veces se halla presente en las soldaduras. Estos gases provienen del metal fundido, que al estarse enfriando va reduciendo su solubilidad; además provienen de reacciones químicas que se dan en la soldadura. Cuando el metal fundido se solidifica rápidamente, los gases que se forman no disponen de tiempo para salir del baño de fusión y llegar a la superficie del cordón de soldadura, por lo que quedan atrapados en forma de burbujas. Los electrodos de revestimiento fundente produce, por lo general, soldaduras sin poros, mientras que los desnudos y los de revestimiento delgado conducen fácilmente a soldaduras llenas de poros. Son particularmente perjudiciales las porosidades por contener óxidos que se producen con esos últimos electrodos al operar con altas intensidades de corriente o con un arco muy largo. Un alto consumo de los elementos de oxidantes que forman el revestimiento de los electrodos utilizados para soldadura de arco metálico protegido, puede ocurrir durante el soldado si se usan amperajes muy altos o arcos excesivos, dejando cantidades insuficientes de estos elementos de oxidantes disponibles para combinarse con los gases en el metal fundido durante el enfriamiento (Fig. 7.5)

Desde el punto de vista estructural, los poros son dañinos pues provocan concentraciones de esfuerzos en sus inmediaciones; la magnitud de estos esfuerzos puede llegar a ser hasta tres veces el valor del esfuerzo promedio en la sección.

La distribución que pueden tener los poros en el interior de la soldadura es de importancia, generalmente se clasifica así:

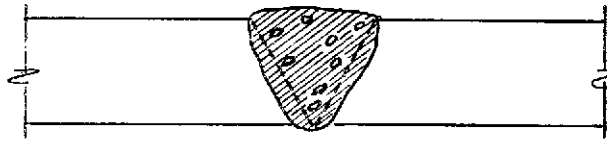


FIGURA 7.5. Soldadura con porosidades.

**a) Porosidad uniformemente dispersa**

La distribución es tal que los poros se encuentran dispersos uniformemente a través del volumen de la soldadura. Las cavidades individuales pueden variar desde un tamaño microscópico hasta  $1/8''$  o más.

**b) Porosidad agrupada**

Ocurre cuando las cavidades se presentan en grupos o racimos, separadas por distancias considerables de metal fundido libre de porosidades. Este tipo de defectos se produce cuando ocurre un cambio en las condiciones de soldado, tales como cambios en las condiciones del arco al parar o iniciar el soldado, o cuando se cambian electrodos.

**c) Porosidad lineal**

La porosidad lineal generalmente se presenta en el pase inicial de soldadura que se hace en la raíz de la junta. La porosidad lineal es aquella condición en la cual tres o más cavidades con diámetro promedio no menor de  $1/8''$  se encuentran distribuidas en una línea paralela al eje longitudinal de la soldadura. La distancia promedio entre cualquiera de tres o más cavidades no es más de  $3/4''$ , ni menor de  $1/16''$ .

## 2. INCLUSIONES DE ESCORIA

Se llama así a aquellas cavidades de forma elongada y globular que algunas veces se hallan presentes en la soldadura, y en cuyo interior se encuentran óxidos y otros sólidos no metálicos. Durante la deposición del metal de aporte y subsiguiente solidificación del metal fundido, ocurren muchas reacciones químicas entre el metal, el arco, los materiales que forman el revestimiento del electrodo y

con la escoria producida. Algunos de los productos de estas reacciones son compuestos no metálicos ligeramente solubles en el metal fundido. Su menor gravedad específica los hace buscar la superficie del baño de fusión a menos que algo se los impida.

Cuando se solda con electrodo recubierto utilizando el proceso de soldadura de arco metálico, la escoria producida puede ser forzada, por la acción de batido del arco durante la operación de soldado, bajo el baño de metal fundido. Esta escoria puede fluir adelantándose al charco causando que el metal fundido corra y se deposite sobre ella. Especialmente al depositar la primera capa de soldadura en la raíz de la junta, tiende la escoria muy fluida a correrse. Al soldar las capas superiores no funden enteramente esos lugares defectuosos, por lo que permanecen en el cordón de soldadura inclusiones de escoria. Al soldar con poca intensidad de corriente aumenta el peligro de producción de estos defectos.

Cuando la escoria se halla presente dentro del metal fundido, por su menor gravedad específica tiende a subir a la superficie. Esta tendencia puede ser impedida por alta viscosidad del metal, solidificación rápida o temperatura muy baja. En una ranura en forma de V aguda es frecuente encontrar escoria atrapada en la soldadura. Puede suceder que el arco no llegue a calentar el fondo de la ranura hasta una temperatura lo suficientemente alta que permita a la escoria flotar a la superficie. Una condición similar ocurre donde hay una cavidad aguda provocada por socavación o convexidad excesiva de los cordones previamente depositados. Las inclusiones de escoria de este tipo generalmente son de forma elongada y si son de tamaño considerable o se encuentran muy cercanas unas de otras, la resistencia de la junta puede ser materialmente reducida.

La mayoría de las inclusiones de escoria pueden ser evitadas por medio de una preparación adecuada de la junta antes de cada pasada y corrigiendo aquellos contornos que sean difíciles de penetrar con el arco. Todos aquellos factores que hagan al metal menos viscoso y que retarden su solidificación, tales como precalentamiento y alto aporte térmico por pulgada por unidad de tiempo ayudarán a la escoria a salir a la superficie del baño fundido.

Cuando se solda en posición sobre cabeza pueden aparecer inclusiones de escoria finamente divididas o de forma globular, puede haber sido forzada dentro del metal fundido o formada allí por reacciones químicas.

#### a) Escoria en la raíz

Al hacer el primer pase de soldado en la raíz de la junta, puede suceder que el arco toque uno de los lados del bisel en vez de la raíz, haciendo que la escoria fluya dentro de la abertura de la raíz, o que quede atrapada dentro del metal de soldadura del primer pase.

Otra de las causas de que exista presencia de escoria en la raíz, en el caso de juntas que se soldan de los dos lados, es el esmerilado o cincelado imperfecto del otro lado de la junta antes de depositar el pase de raíz de ese lado. La primera capa de soldadura en el primer lado de la plancha no necesariamente penetra toda la abertura de la raíz, y si lo hace arrastra escoria con ella. El metal de este cordón, por no estar protegido al otro lado de la junta, estará altamente oxidado. La escoria, el óxido y las protuberancias irregulares deben ser removidas por medio de esmerilado o cincelado, con el fin de limpiar el metal antes de empezar a soldar en el lado opuesto.



### b) Escoria en planos de fusión

Antes de efectuar los pases subsiguientes en las juntas soldadas de pases múltiples, se debe remover la escoria remanente. Puede suceder que alguna permanezca en la esquina formada por el cordón y la cara del bisel. En la mayoría de los casos esta escoria será derretida y subirá a la superficie. Cuando esto no suceda permanecerá como una inclusión elongada en el plano de fusión entre el metal anteriormente depositado y el nuevo.

### c) Escoria dispersa

Donde la limpieza es imperfecta la escoria puede permanecer adherida a la superficie de la última capa de soldadura depositada en áreas aisladas. Esta escoria tiende a interrumpir el arco y a evitar la fusión del metal de soldadura, como resultado se tienen inclusiones de escoria distribuidas dentro del metal de soldadura. (Fig. 7.6).

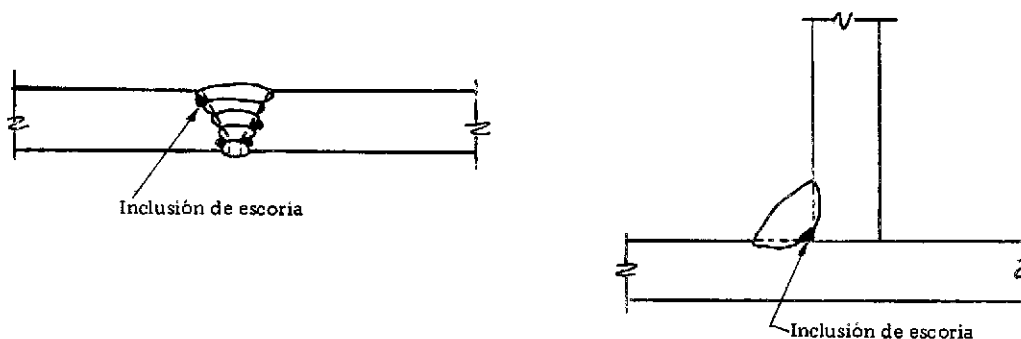


FIGURA 7.6. Inclusiones de escoria en juntas soldadas.

## 3. FALTA DE FUSION

Este tipo de defecto ocurre cuando no hay fusión completa entre capas adyacentes de metal de soldadura, o metal de soldadura y metal base contiguo. No es necesario fundir una apreciable porción de las caras de la junta para estar seguros de tener una fusión adecuada, solamente es necesario llevar a la temperatura de fusión la superficie del metal base para lograr una continuidad metalúrgica entre el metal de soldadura y el metal base (Fig 7 7)

La falta de fusión puede ser causada por no haber alcanzado el metal base o las capas de soldadura previamente depositadas el punto de fusión. También puede ser originada por no haber logrado disolver, por medio de un fundido adecuado, los óxidos u otros materiales extraños presentes en las superficies que el metal de soldadura debía fundir.

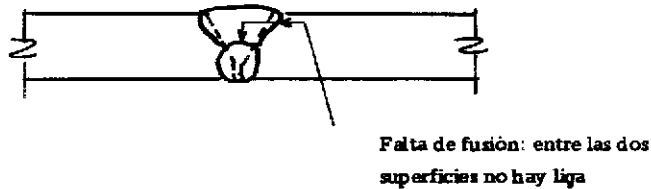


FIGURA 7.7. Junta soldada con falta de fusión.

Una velocidad de soldado incorrecta, corriente mal ajustada, preparación defectuosa de la junta o el empleo de un electrodo de diámetro inadecuado durante la operación de soldado pueden ser causas de falta de fusión en la junta. Estas causas de problema pueden corregirse así:

- Ajustando el diámetro del electrodo con el tamaño de la V de la junta.
- Vigilando que la oscilación del electrodo sea lo suficientemente ancha para fundir los lados de la junta
- Utilizando una corriente apropiada para lograr un depósito y penetración correcta.
- No permitiendo que el metal fundido forme rebaba fuera de las planchas.

Otra forma de evitar la fusión incompleta es asegurándose que las superficies a ser soldadas se encuentran libres de material extraño objetable, y comprobando por medio de pruebas de calificación que los soldadores tienen la habilidad de ejecutar soldaduras sanas.

#### 4. PENETRACION INCOMPLETA

Este tipo de defecto ocurre cuando no hay fusión integral entre el metal de aporte y el metal base en la raíz de la junta. Puede ser causado porque las caras de el bisel no alcanzaron la temperatura de fusión en su profundidad completa, o porque el metal de soldadura no llegó a la raíz del filete porque formó puente entre las planchas, dejando una cavidad en el rincón.

Aun cuando la penetración incompleta puede, en algunos casos, deberse a una falla en disolver o fundir los óxidos e impurezas de la superficie a soldar, las condiciones de transferencia térmica existentes en la junta son la fuente más frecuente de este defecto.

En la soldadura por arco metálico el arco se establece entre el electrodo y la parte más cercana del metal base, todas las demás áreas de la junta reciben el calor por conducción. Si la parte del metal base que se encuentra cerca del electrodo se halla alejada de la raíz, la conducción del calor puede ser insuficiente para lograr la temperatura de fusión en la raíz, siendo el metal base que se encuentra por encima de la raíz el que primero alcanzará la temperatura de fusión. El metal fundido formará puente uniendo las caras de la junta formándole pantalla al arco antes que el metal base de la raíz se funda. (Fig. 7. 8).

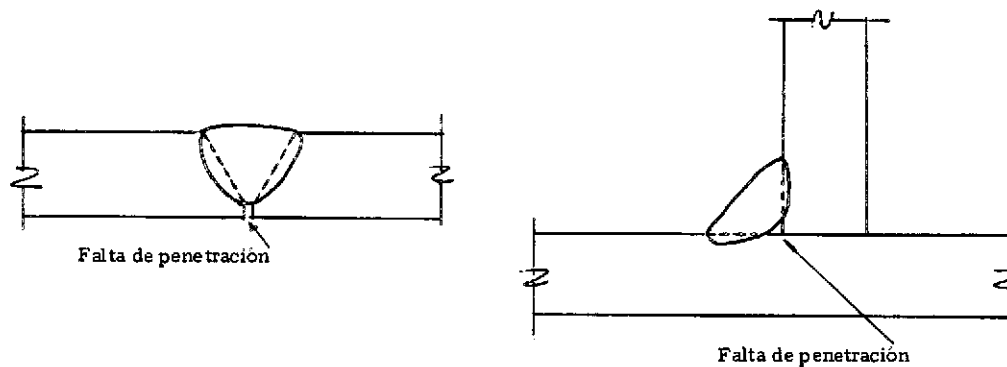


FIGURA 7.8. Falta de penetración en junta a tope y junta en T.

La penetración incompleta es un defecto particularmente indeseable si la raíz de la junta se encuentra sujeta ya sea a tensión directa o a esfuerzos de flexión. El área sin fundir permite concentraciones de esfuerzo que pueden llevar a la falla de la junta sin una deformación plástica apreciable; y aun cuando los esfuerzos de trabajo de la estructura puedan no ser de tensión o flexión en ese punto, los esfuerzos de contracción y la subsiguiente distorsión de las partes durante la operación de soldado, frecuentemente iniciarán una grieta en el área sin fusión, tal grieta progresara conforme se van depositando las capas siguientes de soldadura, hasta extenderse por todo el espesor de la junta.

La causa más frecuente de este tipo de defecto es el diseño de junta no adecuado al proceso de soldadura usado, o no adecuado para las condiciones reales de construcción. Cuando el chaflán de una junta se solda desde un lado únicamente, es difícil lograr una penetración completa que sea consistente con el proceso de arco metálico, si el espesor de las planchas es muy grande, aun cuando la abertura del bisel sea la adecuada, o si la separación de raíz es muy pequeña. Si se sabe que el diseño de la junta es el adecuado, la penetración incompleta puede ser causada por el uso de un electrodo muy grande, una velocidad rápida de soldado o el uso de un amperaje insuficiente.

## 5. SOCAVACION

La socavación es una ranura fundida en el metal base adyacente al borde del cordón de soldadura y que no ha sido llenada por el metal de aporte. Existe una reducción en el espesor del metal base en el tramo que presenta socavación (Fig. 7. 9).

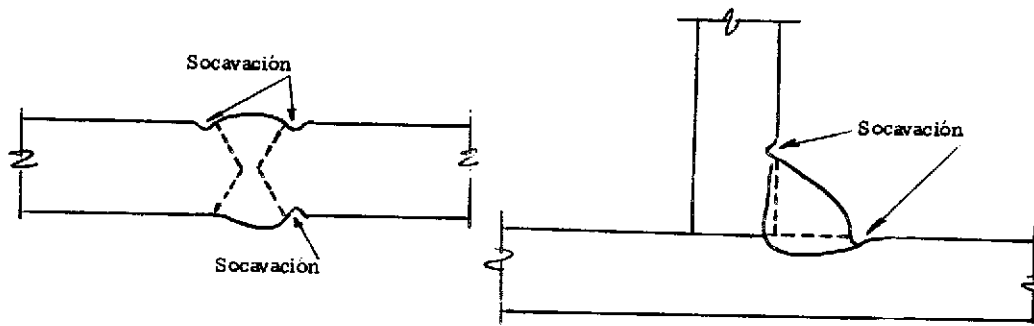


FIGURA 7.9. Socavación en soldadura de bisel y en soldadura de filete.

El defecto de socavación puede ser provocado por la técnica de soldado utilizada por el operario. Con un electrodo específico, el uso de un arco muy largo o una corriente muy alta, pueden incrementar la tendencia a la socavación. Sin embargo, diferentes tipos de electrodos muestran características variables a este respecto. Con algunos electrodos aún el más hábil operario puede verse imposibilitado de evitar la socavación bajo ciertas condiciones. Estas condiciones involucran primordialmente la posición de soldado y la accesibilidad de la junta, aunque el soplo magnético en el arco (perturbación magnética del arco que lo hace fluctuar de su curso normal) puede también ser un factor.

La socavación en las caras de la junta debe ser corregida antes de depositar los siguientes pases de soldadura. La corrección se hace por medio de un cincelado o usando una rueda de esmeril, así se elimina la cavidad aguda de la socavación que puede servir para atrapar escoria. Socavación excesiva en la superficie no es permitida porque puede reducir materialmente la resistencia de la junta, particularmente si ésta está sometida a esfuerzos de fatiga.

La socavación puede fácilmente detectarse por medio de una "inspección visual" de la superficie de la soldadura terminada. Usualmente la socavación puede corregirse depositando metal de aporte adicional después que la superficie se ha limpiado adecuadamente.

El defecto de socavación puede ser evitado así:

- Usando un balanceo (es una técnica de depositar el metal de soldadura oscilando el electrodo) uniforme en soldadura a tope.
- Evitando el uso de electrodos muy gruesos.
- Evitando un balanceo excesivo.
- Usando corriente moderada y soldando despacio.

- Manteniendo el electrodo a distancia apropiada del plano vertical al hacer soldaduras de ángulo horizontal.

## 6. GRIETAS

Las grietas que ocurren en las juntas soldadas son el resultado de esfuerzos concentrados que en algún punto sobrepasan la resistencia última del material. Cuando estas grietas se presentan durante o como resultado de la operación de soldado, usualmente es muy poca la deformación aparente. Materiales que presentan ductibilidad cuando están sometidos a un estado de esfuerzo uniaxial, cuando son sometidos a esfuerzos biaxiales o triaxiales pueden fallar sin presentar una deformación apreciable. La contracción producida como consecuencia de la operación de soldado, frecuentemente establece estados de esfuerzo multiaxiales en el material. Si por causa de tales esfuerzos una junta o parte de ella es incapaz de presentar una deformación apreciable sin fallar, se establecen esfuerzos adicionales al ir depositando las siguientes capas de soldadura o al soldar otras juntas, que pueden forzar a esa parte a deformarse y fallar.

Las grietas que aparecen en las juntas durante el soldado no son provocadas únicamente por esfuerzos multiaxiales. Sin embargo, la experiencia indica que aun cuando tales esfuerzos no causan agrietamientos, ellos pueden particularmente en el caso de estructuras complicadas o pesadas, causar una falla con muy pequeña deformación cuando cargas adicionales son aplicadas. Para evitar esta condición indeseable, se especifica para estructuras importantes fabricadas de material pesado tratamientos térmicos para aliviar esfuerzos.

La falta de fusión en la raíz de la soldadura puede resultar en grietas, sin mostrar una deformación apreciable, si esta área está sujeta a esfuerzos de tensión. Al soldar dos planchas la raíz de la soldadura está sometida a esfuerzos de tensión mientras se van depositando las siguientes capas de soldadura, y una raíz que esté parcialmente fundida permitirá que se inicie una grieta que prácticamente puede progresar por todo el grosor de la soldadura.

Después que una junta soldada se ha enfriado, es más probable que ocurran grietas si el material es duro o frágil. Un material dúctil, por su habilidad de fluir localmente puede soportar concentraciones de esfuerzo que en un material frágil serían motivo de falla.

### a) Grietas en el metal de soldadura

De la composición y estructura del metal de soldadura, depende que la soldadura permanezca íntegra al estar sometida a los estados de esfuerzo impuestos durante la operación de soldado. El agrietamiento es más probable que ocurra en la primera capa de soldadura, y a menos que se repare, es seguro que continuará a las siguientes capas de soldadura conforme se van depositando. El uso de metal de soldadura austenítico u otro metal de soldadura de alta ductibilidad, evitará o reducirá la tendencia a propagarse de estas grietas.

Problemas de agrietamiento en el primer pase de soldadura pueden controlarse por medio de:

- Cambio en la manipulación del electrodo o en las condiciones eléctricas, las cuales cambiarán el

contorno o la composición del metal depositado.

- Disminución de la velocidad de soldado con el fin de incrementar el espesor del metal depositado (así se tendrá más metal de soldadura para resistir los esfuerzos impuestos).
- Uso de precalentamiento para reducir la magnitud del estado de esfuerzo existente.

Tres tipos de grietas pueden presentarse en el metal de soldadura (Fig. 7.10):

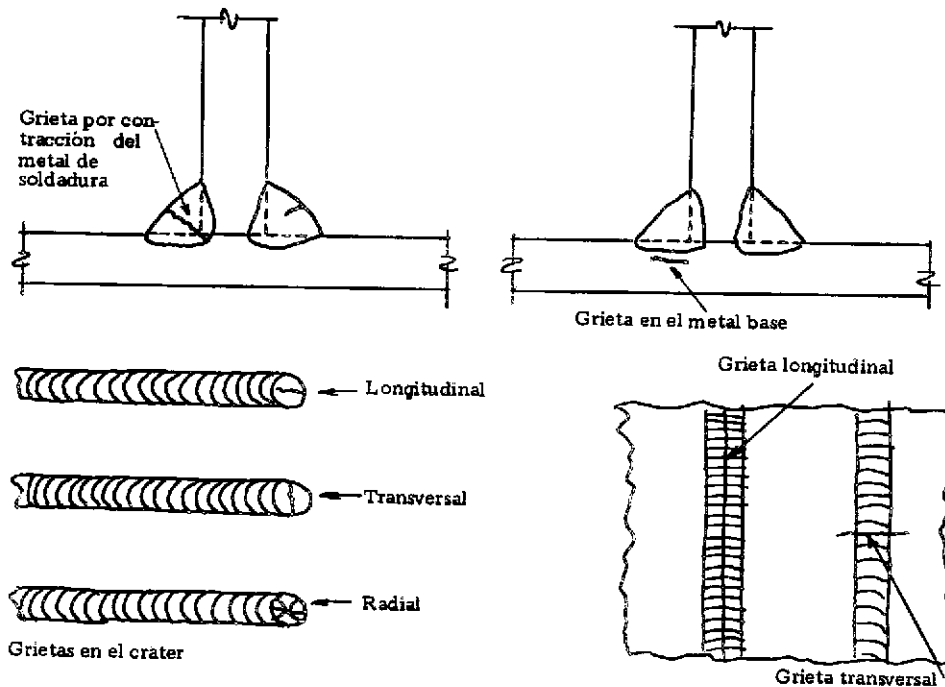


FIGURA 7.10. Tipos de grietas en el metal de soldadura.

**Grietas transversales:** Son perpendiculares al eje del cordón de soldadura y en algunos casos pueden extenderse al metal base. Es más frecuente que se produzcan en juntas con alto grado de restricción.

**Grietas longitudinales:** Son paralelas al eje del cordón de soldadura y generalmente se inician en el interior de la soldadura, apareciendo en la superficie al centro del cordón. Tales grietas pueden ocurrir como una prolongación de grietas formadas en el cráter (depresión) en la terminación de la soldadura. También pueden ser la prolongación, a través de capas sucesivas, de una grieta iniciada en la primera capa depositada de metal de soldadura. El apareamiento de la grieta en la superficie ocurre durante el enfriamiento de la soldadura.

Para un electrodo y metal base específicos se mejora la condición de la soldadura cambiando las condiciones eléctricas o el diámetro del electrodo

**Grietas en el cráter:** El cráter es una depresión que se forma al final del cordón de soldadura cuando se termina la operación de soldado. Siempre que se interrumpe el soldado existe una tendencia a la formación de grietas en el cráter. Estas grietas pueden iniciarse al centro del cráter y en forma radial prolongarse hasta el borde de éste. Sin embargo, pueden ser el punto de partida de grietas longitudinales, particularmente si ocurren en el cráter formado al extremo de la soldadura. Cuando el cráter se forma en otros lugares (por ejemplo donde se cambia de electrodo) la grieta generalmente es fundida cuando se reanuda la operación de soldado.

#### b) Grietas en el metal base

Este tipo de agrietamiento ocurre en la zona afectada por el calor (porción del metal base que no ha sido fundido, pero cuyas propiedades se han alterado por el calor de la soldadura) del metal que ha sido soldado, y casi siempre está asociado con materiales templables. Los efectos metalúrgicos resultantes del ciclo térmico de soldado, son la dureza y fragilidad de la zona afectada por el calor en la junta soldada, y son los principales factores que propician el agrietamiento.

En el caso de acero de bajo y medio contenido de carbono y aceros de baja aleación, su dureza y habilidad de deformarse sin fracturarse depende del grupo de aleación al cual cada uno pertenece, y de su velocidad de enfriamiento de las altas temperaturas producidas durante el soldado. La velocidad de enfriamiento depende de factores físicos tales como temperatura, espesor y conductividad térmica del metal base, el aporte de energía térmica por unidad de tiempo en una sección dada de la soldadura y la temperatura ambiental. Con una velocidad dada de enfriamiento, los aceros con bajo contenido de carbono se endurecen menos que los aceros de contenido medio de carbono. Los aceros de baja aleación muestran una mayor variación en sus características de endurecimiento: algunos de ellos pueden ser similares a un acero de bajo contenido de carbono, otros pueden reaccionar igual que un acero de contenido medio de carbono.

Los aceros de alta aleación deben considerarse por separado, ya que este grupo incluye los aceros inoxidable austenítico y ferrítico, así como también los aceros martensíticos. El último se comporta similarmente a los grupos de carbono mediano y baja aleación, excepto que se endurecen a un grado mayor con una razón de enfriamiento dada. Ni los aceros austeníticos (un ejemplo es el acero inoxidable aleado con 18% de cromo y 8% de níquel) ni los aceros ferríticos (por ejemplo aceros de bajo contenido de carbono con aleaciones del 18% de cromo o más) se endurecen al templearlos desde elevadas temperaturas. En general, los aceros ferríticos inoxidables se vuelven frágiles, pero no duros, con las operaciones de soldado.

Las características metalúrgicas de los metales son de capital importancia. Ya que la ductibilidad usualmente decrece paralelamente al incremento de dureza, las grietas en el metal base se asocian a falta de ductibilidad en la zona afectada por el calor. Sin embargo, esta no es la única razón, pues se ha establecido que diferentes temperaturas del mismo acero de igual templabilidad varían apreciablemente en la tendencia al agrietamiento. Es más, se sabe que las características del revestimiento de electrodo tienen un efecto considerable en la tendencia a la formación de grietas en la zona afectada por el calor.

Los aceros templables son usualmente más difíciles de soldar debido a:

- Variaciones en la microestructura de la zona afectada por el calor causan diferencias en las propiedades mecánicas. Estas variaciones pueden ocurrir por variaciones en la velocidad de enfriamiento.
- Tales aceros se usan por sus altas propiedades de resistencia a la tensión y pueden ser preferidos en vez de soldar aceros de mayor espesor.

Cuando se encuentran agrietamientos en el metal base con aceros templados, mejoras pueden lograrse de la siguiente manera:

- Uso de precalentamiento para controlar la velocidad de enfriamiento.
- Uso controlado del aporte de energía térmica.
- Uso del electrodo correcto.

Dos tipos de grietas pueden ocurrir en el metal base como resultado de las operaciones de soldado:

**Grietas transversales en el metal base:** Las grietas transversales se presentan normales a la soldadura. Usualmente se encuentran asociadas a soldaduras de filete en aceros de alta templabilidad, donde la distancia entre el pie de la soldadura y el borde expuesto de una de las planchas es relativamente pequeño. Tales grietas generalmente se detectan hasta que la soldadura se ha enfriado hasta la temperatura ambiente.

**Grietas longitudinales en el metal base:** Son paralelas a la soldadura y se presentan en el metal base. Pueden ser prolongación de grietas iniciadas en la línea de fusión. Para soldaduras de filete este tipo de grietas puede dividirse en dos grupos:

- Grietas al pie de la soldadura, que a menudo se inician con una socavación y penetran en el metal base.
- Grietas en la raíz, que se originan en la raíz de la soldadura y progresan en el metal base hasta llegar al lado opuesto de la plancha. (Fig. 7.11).

En el caso de soldaduras en juntas con chaflán, las grietas es más probable que ocurran en la zona adyacente a la soldadura que ha sido afectada por el calor. Agrietamientos también pueden ocurrir al borde de la soldadura, en la zona de fusión entre el metal de soldadura y el metal base. Usualmente este tipo de grietas está asociado a aceros de alta templabilidad cuando el metal de aporte y la plancha metálica son enteramente diferentes en composición. Esto tiende a formar aleaciones de propiedades impredecibles en esta zona.



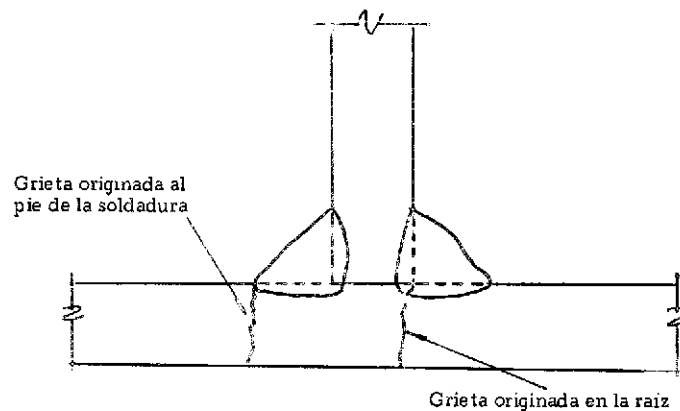


FIGURA 7.11. Grietas longitudinales en el metal base.

## 7. IRREGULARIDADES EN LA SUPERFICIE

### a) Agujeros en la superficie

Ocasionalmente las condiciones de soldado provocan la formación de agujeros en la superficie del metal depositado, variando de un simple hoyo cada pocos pies a varios por pulgada. Como la atmósfera protectora producida por un tipo dado de electrodo (ella determina las características del arco y tiene algún efecto sobre la composición de la escoria) es un factor tan importante como la escoria producida, cualquier cambio que modifique dicha atmósfera afectará la soldadura resultante. Uno de tales cambios puede ser la diferencia, entre el aire disponible en el arco cuando se deposita soldadura en el fondo de un bisel estrecho, y el aire disponible al depositar la última capa superior de soldadura en el mismo bisel. Haciendo caso omiso del metal base, que también puede ser un factor, mejoras pueden lograrse cambiando las condiciones eléctricas, tales como polaridad y longitud del arco.

Este tipo de agujeros deben ser eliminados para evitar que la escoria quede atrapada en ellos. La remoción puede hacerse por cincelado o esmerilado antes de depositar las capas sucesivas de soldadura. No es seguro suponer que al depositar las siguientes capas de soldadura, estos agujeros se fundan y sea innecesaria su remoción utilizando medios mecánicos.

### b) Otras irregularidades

Estas irregularidades pueden ser: ancho variable del cordón de soldadura, depresiones, variaciones en la altura del refuerzo, falta de uniformidad en las ondas del cordón. Estas irregularidades no pueden ser catalogadas como defectos ya que no afectan la integridad de la soldadura. Pueden ser causadas por disturbios magnéticos, técnica pobre de soldado y condiciones eléctricas impropias. En

general reflejan la habilidad y experiencia del operario, y desde ese punto de vista son importantes. Entre más uniforme es la superficie del cordón de soldadura, mejor es su apariencia visual. Una buena soldadura con un acabado superficial pobre no debe excusarse, excepto bajo condiciones poco usuales, aun cuando la integridad del trabajo esté fuera de dudas. Tales condiciones poco usuales pueden ser: grandes disturbios magnéticos, mala localización (posición de soldado o mala visibilidad) u otros factores peculiares de un trabajo específico.

## **C. PROPIEDADES DEFECTUOSAS**

### **1. METAL DE SOLDADURA**

En cualquier ensamble soldado se requieren propiedades mecánicas específicas (posiblemente también propiedades químicas especiales) en todas sus soldaduras. Los requerimientos dependen de los códigos o especificaciones que se estén aplicando, cualquier derivación de tales normas se considera como un defecto.

En general, estas propiedades se determinan por medio de especímenes de ensayo especialmente preparados. En algunos casos los ensayos pueden hacerse sobre muestras tomadas de los ensambles que se están produciendo. Siempre que se prueban planchas de ensayo, el inspector debe velar porque se sigan los procedimientos de ensayo especificados, con el fin de que los resultados obtenidos sean indicativos de las propiedades del ensamble.

Resistencia a la tensión, resistencia de fluencia, ductibilidad, dureza y resistencia al impacto son las propiedades mecánicas que deberán comprobarse para ver si están de acuerdo a las especificaciones. También las propiedades químicas pueden ser deficientes, ya sea por composición incorrecta del metal de soldadura o por no tener resistencia a la corrosión satisfactoria.

### **2. METAL BASE**

No todos los defectos se deben a condiciones impropias de soldado. Muchas dificultades pueden ser atribuibles al metal base. Los requerimientos relacionados con el metal base son controlados por las especificaciones aplicables, cualquier desviación de estas se cataloga como un defecto. Las propiedades del metal base que podrían no llenar especificaciones incluyen composición química, limpieza, condición superficial, propiedades mecánicas y dimensiones. Deben tenerse en cuenta estos factores cuando se trate de determinar las causas de dificultades de soldado, que no tienen razón aparente de ser.

# DEFECTOS Y REMEDIOS DE SOLDADURA

## SOLDADURA POROSA

### CAUSA:

- 1.- Arco demasiado corto.
- 2.- Exceso de gases.
- 3.- Mala preparación de la base.
- 4.- Electrodo pobre.



- 2.- Tiempo de fusión muy corto.
- 3.- Mal material base.
- 4.- Electrodo pobre.

### REMEDIO:

- 1.- Chequear impurezas material base.
- 2.- Permita suficiente tiempo para escape de gases.
- 3.- Use corriente adecuada.
- 4.- Entrelace más el cordón hasta eliminar poros.
- 5.- Use el electrodo correcto para la aplicación.
- 6.- Mantenga el arco más grande.

## DISTORSION

### CAUSA:

- 1.- Desentramado irregular.
- 2.- Secuencia incorrecta.
- 3.- Encogimiento de metal depositado.



### REMEDIO:

- 1.- Asegure bien las piezas.
- 2.- Forme las piezas antes de soldar.
- 3.- Remueva esfuerzos internos de piezas antes de soldar.
- 4.- Distribuya soldadura para evitar calentamiento desparejo.
- 5.- Examine forma de piezas y escoja secuencia adecuada.

## SOLDADURA QUEBRADIZA

### CAUSA:

- 1.- Electrodo equivocado.
- 2.- Precalentamiento defectuoso.
- 3.- Metal endurecido por aire.



### REMEDIO:

- 1.- Precaliente de 300°F a 500°F en aceros de mediano carbono y aleaciones bajas.
- 2.- Haga soldadura de varios cordones sobrepuestos.
- 3.- Recaliente después de soldar.
- 4.- Use electrodo de acero inoxidable o de bajo hidrógeno para aumentar ductibilidad.

## POCA PENETRACION

### CAUSA:

- 1.- Avance demasiado rápido.
- 2.- Electrodo demasiado grueso.
- 3.- Corriente muy baja.
- 4.- Preparación defectuosa.



### REMEDIO:

- 1.- Use suficiente corriente. Avance más lento.
- 2.- Seleccione electrodo de acuerdo con tamaño de ranura.
- 3.- Deje suficiente espacio libre en raíz de ranura.

## RAJADURA

### CAUSA:

- 1.- Electrodo indebido.
- 2.- Falta de proporción entre piezas y electrodo.
- 3.- Preparación defectuosa.
- 4.- Junta demasiado rígida.



### REMEDIO:

- 1.- Diseñese la pieza y procedimiento soldadura para evitar juntas rígidas.
- 2.- Caliente piezas antes de soldar.
- 3.- Evite soldaduras con cordones muy angostos.
- 4.- Libere extremos para permitir movimiento.
- 5.- Logre fusión completa.
- 6.- Ajuste tamaño piezas a electrodo.
- 7.- Permita espacio libre adecuado entre piezas.
- 8.- Trabaje con amperaje lo más bajo posible.

## SALPIQUE

### CAUSA:

- 1.- Soplo del arco.
- 2.- Corriente muy alta.
- 3.- Arco muy grande.
- 4.- Electrodo defectuoso.



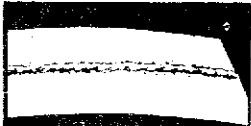
### REMEDIO:

- 1.- Pinte con cal área a soldar.
- 2.- Ajuste corriente.
- 3.- Ajuste arco.
- 4.- Use electrodo adecuado.
- 5.- Evite chiflones.

## DEFORMACION

### CAUSAS:

- 1.- Encogimiento de metal agregado.
- 2.- Sujeción de piezas inadecuada.
- 3.- Preparación inadecuada.
- 4.- Sobre calentamiento en la unión.



### REMEDIO:

- 1.- Martille la junta antes de soldar.
- 2.- Solde rápidamente.
- 3.- Evite espacio excesivo entre las piezas.
- 4.- Sujete bien las piezas — use respaldo para entrar.
- 5.- Adopte método sistemático para soldar.
- 6.- Use electrodos de poca penetración.

## APARIENCIA MALA

### CAUSA:

- 1.- Corriente equivocada.
- 2.- Voltaje inadecuado.
- 3.- Uso equivocado de electrodo.
- 4.- Electrodo defectuoso.



### REMEDIO:

- 1.- Use corriente y voltaje adecuado.
- 2.- Use procedimiento adecuado.
- 3.- Use manipuleo uniforme.
- 4.- Evite exceso de corriente.

## SOPLO MAGNETICO

### CAUSAS:

- 1.- Campo magnético causa que el arco se desvie.



### REMEDIO:

- 1.- Use blocks de hierro para modificar campo magnético cerca del arco.
- 2.- Divida la tierra a varias partes.
- 3.- Solde en la misma dirección del soplo.
- 4.- Use arco corto.
- 5.- Reocalice tierra.
- 6.- Use corriente alterna.

## SOLCAVACION

### CAUSAS:

- 1.- Mala preparación de la base.
- 2.- Mala preparación de la ranura.
- 3.- Mala preparación de la junta.
- 4.- Mala preparación de la soldadura.



### REMEDIO:

- 1.- Use manipuleo uniforme en cordón.
- 2.- Este electrodo demasiado grueso.
- 3.- Este electrodo demasiado grueso.
- 4.- Use corriente más baja, solde más despacio.
- 5.- Mantenga electrodo más alejado de la preparación.

## POCA FUSION

### CAUSA:

- 1.- Velocidad inadecuada.
- 2.- Corriente mal ajustada.
- 3.- Preparación defectuosa.
- 4.- Tamaño electrodo inadecuado.



### REMEDIO:

- 1.- Ajuste tamaño electrodo a tamaño ranura.
- 2.- Manipulee suficiente para fundir metal base.
- 3.- Aumente la corriente.

## ESFUERZOS EN CORDON

### CAUSAS:

- 1.- Mala soldadura.
- 2.- Secuencia equivocada.
- 3.- Juntas demasiado rígidas.



### REMEDIO:

- 1.- Permita mayor libertad a las piezas.
- 2.- Haga el menor número de cordones posibles.
- 3.- Martille depósitos.
- 4.- Recaliente de acuerdo con espesor de piezas.

## CAPITULO VIII

### ENSAYOS DESTRUCTIVOS DE SOLDADURAS

El termino "ensayo destructivo" se usa para describir el proceso de evaluacion de una soldadura por medio de una técnica que por necesidad destruye al espécimen de prueba, o destruye su habilidad para desarrollar la función para la cual fue diseñado. Es por ello que las técnicas de ensayos destructivos conllevan una selección de especímenes a través de un muestreo parcial dentro de un lote de ensambles soldados.

Las técnicas de ensayos destructivos se clasifican en tres grupos generales:

- A. Ensayos quimicos
- B. Ensayos Metalograficos
- C. Ensayos Mecanicos

Los ensayos se llevan a cabo con el objeto de determinar propiedades quimicas, metalograficas o mecánicas de las juntas soldadas, así como para localizar defectos tales como grietas, porosidades, fusion incompleta, preparación inadecuada de la junta, inclusiones de escoria, etc. Estos ensayos se realizan sobre muestras tomadas de ensambles soldados hechos con procedimientos similares a los que se usaran en la fabricacion. Los ensayos que se especifican son aquellos que dan una seguridad razonable en la confiabilidad de la junta soldada en servicio. Ante la dificultad de efectuar ensayos que dupliquen exactamente las condiciones de servicio, se acostumbra a realizar ciertos ensayos estándar.

El inspector tiene la obligación de ver que los ensayos especificados se realicen adecuadamente (las pruebas deben ser efectuadas con cuidadosa atención en la preparación del espécimen y en el procedimiento de ensayo) y emitir su juicio de acuerdo con el resultado de tales pruebas. El inspector debe estar familiarizado con los ensayos, con el efecto de los defectos en los resultados de tales ensayos y la interrelación entre los defectos en la muestra que se ensaya y el mismo tipo de defectos en los ensambles soldados de producción.

#### A. ENSAYOS QUIMICOS

Ordinariamente se realizan para determinar composición química o resistencia a la corrosión.

##### 1. COMPOSICION QUIMICA

Los ensayos de composición química se llevan a cabo con el fin de determinar si el metal base y el metal de soldadura satisfacen los requerimientos del código o especificación aplicable. En general, la composición del metal de soldadura se especifica en el mismo rango de características que la del metal base, pudiendo algunas veces ser diferente dependiendo de los requerimientos de servicio de la junta soldada.

A menudo, problemas que se presentan durante el soldado pueden explicarse por medio de un análisis químico. Los problemas pueden ser provocados por alto contenido de sulfuro o fósforo, o residuos dañinos introducidos por la chatarra usada en la producción del acero.

Se recomienda el empleo de cuidadosos métodos de muestreo para efectuar los análisis químicos, ya que el análisis del material como un todo puede estar correcto, pero segregaciones de elementos dañinos pueden estar presentes y provocar dificultades.

## 2. ENSAYOS DE CORROSION

En condiciones de servicio las estructuras soldadas pueden estar expuestas a ambientes dañinos, tales como líquidos, sólidos o gases corrosivos. Un gran número de ensayos de laboratorio se ha ideado para chequear elementos soldados, aun cuando la información que se obtiene es parcial, resulta satisfactoria.

Algunas de las influencias corrosivas a las que se encuentran sometidos los elementos soldados son:

- Varios tipos de ataque corrosivo que sufren estructuras que se encuentran bajo tierra.
- Agua salada y brisa marina.
- Acciones electrolíticas y químicas de todas clases, y condiciones de alta temperatura.

Pocos códigos exigen ensayos de corrosión ya que la mayoría de los metales de construcción se escogen por sus características que los hacen adecuados para funcionar en determinados ambientes corrosivos. Por ejemplo, el acero ASTM A242 se considera generalmente como un acero cuya resistencia a la corrosión, bajo condiciones atmosféricas, es igual o mayor del doble que la del acero estructural al carbono (ASTM A36); así mismo, los aceros de aleación tratados y templados tipo ASTM A514, tienen una resistencia a la corrosión atmosférica equivalente al doble de la del acero estructural al carbono.

La industria química, que constantemente está desarrollando nuevos productos, ha desarrollado muchos ensayos de corrosión aplicables al metal base y a las juntas soldadas, el más conocido de estos es el "ensayo de rociador salino" (ver normas ASTM, parte I, Metales).

## B. ENSAYOS METALOGRAFICOS

### 1. ENSAYOS MACROSCOPICOS Y MICROSCOPICOS

La metalografía es la rama de la metalurgia que estudia la constitución estructural y propiedades de los metales y sus aleaciones, mediante el microscopio o la fotografía. En el microscopio óptico se observa por reflexión, por lo que la superficie metálica ha de pulirse cuidadosamente, además de ser tratada con reactivos adecuados.

Los ensayos metalográficos se pueden usar para determinar:

- Sanidad de las soldaduras.
- Distribución de inclusiones no metálicas en la soldadura.
- El número de pases de soldadura.
- La estructura metalúrgica de la soldadura y la zona de fusión.
- La extensión y la estructura metalúrgica de la zona afectada por el calor.
- La localización y profundidad de penetración de la soldadura.

Los ensayos metalográficos se realizan a través de dos tipos de exámenes:

- a) Exámenes macroscópicos
- b) Exámenes microscópicos

#### a) Exámenes macroscópicos

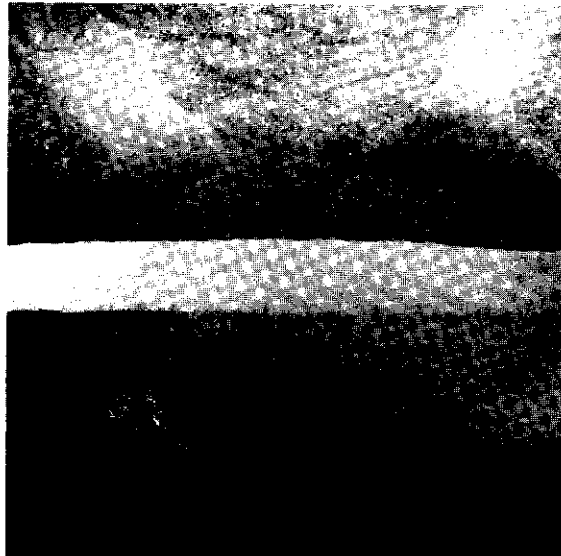
Implican un examen visual sencillo (a simple vista) o con instrumentos ópticos de baja amplificación. Las muestras que se examinan, llamadas "macroespecímenes" se pulen y tratan con reactivos para resaltar la estructura gruesa del metal (macroestructura).

Los especímenes pueden obtenerse por seccionamiento de una soldadura de ensayo o de soldaduras de producción, por medio de un barreno saca testigos, o un trépano. En los dos últimos casos, el agujero que queda en la soldadura puede volverse a resoldar a fin de habilitar el ensamble.

Para el examen macroscópico de soldaduras de aceros al carbono, la superficie a ser examinada puede ser preparada por alguno de los siguientes métodos:

- a) Sin requerir acabado especial u otra preparación, se coloca el espécimen en una solución al 50% de ácido clorhídrico que se encuentra en ebullición, hasta que exista una clara definición de la macroestructura de la soldadura. Esto requerirá aproximadamente 1/2 hora de inmersión.
- b) Bruñir y pulir los especímenes con esmeril o papel lija, y luego tratar con una solución de una parte de persulfato de amonio (sólido) y nueve partes de agua por peso. La solución debe usarse a la temperatura ambiente y se aplica frotando vigorosamente, con un algodón saturado con la solución, la superficie a ser tratada. El proceso de pulido se continúa hasta que hay una clara definición de la macroestructura de la soldadura.

Después del pulido, los especímenes se lavan en agua limpia, se remueve el exceso de agua, y se sumergen en alcohol etílico, secándose después. Las superficies pulidas se preservan aplicándoles una delgada capa de laca.



**FIGURA 8.1. Fotomicrografías típicas: (arriba) Sección transversal de una soldadura sana en plancha de 3/4" de espesor. (abajo) Igual que arriba, solo que la soldadura muestra falta de penetración en la raíz.**

La figura 8.1 muestra dos fotomicrografías. En la de arriba se nota la estructura granular en columna de los cordones superior e inferior, y la estructura de grano fino del resto de cordones; la región difusa a cada lado de la soldadura señala la zona afectada por el calor. La fotomicrografía inferior es semejante a la anterior, únicamente que la soldadura muestra falta de penetración en la raíz.

Las especificaciones bajo las cuales se construye el ensamble definirán el tipo, tamaño y número de defectos permisibles, puestos en evidencia por el examen metalográfico, en la junta soldada.

El S.W.C. prescribe el uso de ensayos metalográficos, utilizando macroespecímenes tomados de juntas soldadas, para la calificación de un procedimiento de soldado. Los macroespecímenes sirven para determinar la sanidad de las soldaduras de filete en juntas soldadas, ejecutadas bajo una Especificación de Procedimiento dada. Los macroespecímenes se examinan y los que presentan el tipo de defectos prohibidos por el código (S.W.C., sec. 8.15, 9.25 ó 10.17) se consideran como fallados. La ausencia de tales defectos califica al Procedimiento de Soldado.

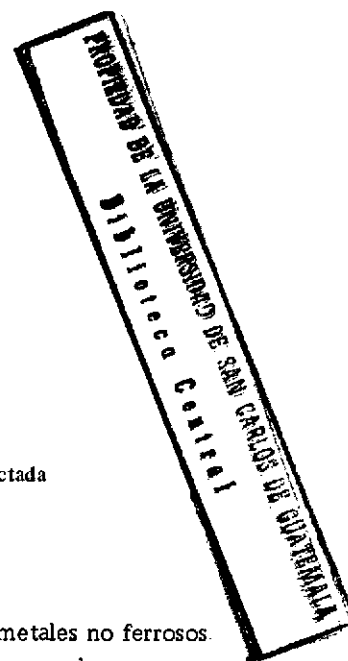
#### **b) Exámenes microscópicos**

Las muestras, llamadas "microespecímenes", se cortan de la junta soldada y se preparan

puliendo su superficie hasta darle una textura muy lisa (como "espejo"). Luego se tratan con reactivos adecuados, para ser examinados con un microscopio de alto poder de amplificación, que muestra la estructura del metal base, zona afectada por el calor, zona de fusión y el metal de soldadura. Defectos extremadamente pequeños también son apreciables. (Fig. 8.2).



FIGURA 8.2. Fotomicrografía ilustrando la apariencia de una grieta en la zona afectada por el calor (aprox. 100 ampliaciones)



Los microespecímenes se emplean más en el examen de aceros aleados o en metales no ferrosos. Aunque muy pocos códigos y especificaciones solicitan este tipo de muestras, éstas pueden ser muy útiles para encontrar soluciones a problemas que se presentan durante el proceso de soldado.

Un metalgrafista entrenado puede lograr bastante información de un examen microscópico. Sin embargo, el procedimiento es complicado, y se necesita considerable habilidad para pulir adecuadamente las muestras, y usar los reactivos y técnica apropiados para mostrar lo que se desea. Para una discusión detallada sobre los procedimientos de examen microscópico ver la Parte I, Metales, de las normas ASTM.

## 2. ENSAYOS DE DUREZA

La dureza en los metales se define como aquella propiedad que denota resistencia a deformación permanente al ser sometidos a la acción de penetración o indentación. La dureza ha significado muchas cosas: resistencia a abrasión o desgaste, a rayado, a cortado, o bien alta resistencia, tenacidad, resiliencia, rigidez o combinación de éstas. Sin embargo, la extremada dureza en los metales es sinónimo de fragilidad, pues los hace perder ductibilidad en condiciones de servicio, y su resistencia a la corrosión puede ser debilitada.

Los ensayos de dureza se emplean para medir alguna de las manifestaciones de la dureza, pero más frecuentemente para un control de calidad, del efecto de tratamientos térmicos o como medida indirecta de otras propiedades. Para metales se ha establecido relación entre la dureza y la resistencia a la



tensión, y para el caso de aceros, el esfuerzo de tensión es igual a 515 veces la dureza Brinell para durezas menores de 175, y 490 veces para durezas mayores de 175.

La dureza se ve afectada por la composición del metal base y el metal de soldadura, por los efectos metalúrgicos del proceso de soldadura, por el trabajado en frío del metal, por tratamientos térmicos y otros factores.

Los códigos y especificaciones suelen dictar limitaciones a la dureza del metal base, en la zona afectada por el calor y en el metal de soldadura de ciertos metales, usualmente ciertos aceros aleados. La extremada dureza los hace frágiles.

El S.W.C. en el procedimiento para soldadura de arco sumergido, señala que las temperaturas de precalentamiento y entre pases, deben establecerse que son adecuadas para reducir la dureza de las zonas del metal base afectadas por el calor, a un número de dureza Vickers menor de 225 para aceros con una resistencia a la tensión mínima menor de 60,000 psi, y 280 para aceros con resistencias mínimas a la tensión entre 60,000 y 70,000 psi.

Para determinar la dureza, a menudo se usan máquinas portátiles, que operan bajo los mismos, o muy similares principios. El inspector debe estar familiarizado con su uso y limitaciones.

Tres son los métodos que más se emplean para medir la dureza:

- a) Ensayo Brinell
- b) Ensayo Rockwell
- c) Ensayo Vickers

**a) Ensayo Brinell (norma ASTM E 10)**

El ensayo Brinell para determinar la dureza consiste en hacer una impresión con una bola de acero templado sobre un espécimen de ensayo, usando una carga determinada durante un tiempo definido, y midiendo con precisión el diámetro de la impresión que deja la bola en el espécimen. El diámetro de la impresión se determina con un microscopio Brinell de alto poder, graduado en mm. Se toma el promedio de dos diámetros que formen 90° entre sí, y se determina el "número Brinell de dureza" de tablas o gráficas que están en función de los diámetros de la impresión.

El penetrómetro (bola de acero templado) es de 10 mm  $\pm$  0.0025 mm de diámetro. La carga que se aplica a los aceros es de 3000 kg durante 15 segundos.

**b) Ensayo Rockwell (Norma ASTM E 18)**

La máquina Rockwell para ensayos de dureza mide la penetración remanente hecha con un penetrómetro de bola de acero templado o un cono con punta de diamante. Primero se aplica una carga inicial pequeña de 10 kg. que asienta el penetrómetro en la superficie del espécimen y lo mantiene en posición. Con un movimiento del selector se aplica una carga mayor. Después que el indicador se detiene, la carga mayor se interrumpe, permaneciendo aún la carga menor. El "número de dureza Rockwell" se lee directamente en el cuadrante.

Estos números de dureza están basados en la diferencia entre las profundidades de penetración a mayor y menor carga, y es evidente que entre mayor es la diferencia, más suave es el material, y menor es el número de dureza. Bolas de acero templado de 1/8" ó 1/16" de diámetro se usan para los metales suaves y un penetrómetro de punta de diamante de forma cónica para metales duros.

#### c) Ensayo Vickers (Norma ASTM E 92)

El ensayo Vickers de dureza consiste en imprimir en la superficie de un espécimen, la marca de un penetrómetro de diamante de forma piramidal con los lados inclinados, con una carga determinada. Se aplica la carga y se mide el área de la impresión producida. La relación entre la carga aplicada y la indentación resultante da el "número de dureza Vickers", ésta se calcula dividiendo la carga aplicada en kg por el área de la impresión en mm<sup>2</sup>. La aplicación de la carga y su retiro después de un tiempo determinado es controlado automáticamente.

Siendo el indentador Vickers de diamante, puede usarse para ensayar los metales más duros, permaneciendo prácticamente indeformado. La carga aplicada es ligera, variando de 1 a 120 kg de acuerdo a los requerimientos.

Los números de dureza que se obtienen con el penetrómetro piramidal son prácticamente constantes, independientemente de la carga aplicada. Los números de dureza Brinell y Vickers para aceros son prácticamente idénticos hasta valores de aproximadamente 300, para durezas mayores los valores del número Brinell son progresivamente menores que el Vickers, y no es confiable para valores arriba de 600 de dureza Brinell. Esta irregularidad se debe al aplastamiento de la bola de acero, provocada por las altas cargas que se requieren para ensayar materiales duros, cosa que no ocurre con el penetrómetro de diamante que no muestra distorsión.

#### d) Resumen

Cada uno de los tres tipos de ensayos de dureza suplementa a los otros. La impresión que se obtiene con el ensayo Brinell, por ser grande, sólo puede usarse para obtener valores de dureza en áreas relativamente grandes, tales como la cara de la soldadura o el metal base. Los ensayos Rockwell o Vickers pueden emplearse en áreas pequeñas, tales como la sección transversal de la soldadura, zona afectada por el calor, o pases individuales de soldadura.

El S.W.C señala que el número de dureza de Vickers debe determinarse de acuerdo a la norma ASTM E92. Si se usa otro método de ensayo de dureza, el número de dureza equivalente debe determinarse de acuerdo a la norma ASTM E140, y el ensayo debe realizarse según la especificación ASTM aplicable.

Existen tablas de conversión de un valor de dureza a otra para cualquiera de los tres tipos de ensayos. La información de estas tablas se ha obtenido de un gran número de ensayos y son valores promedio.

## C. ENSAYOS MECANICOS

La calidad de las juntas soldadas depende en gran escala de una competente inspección y de su chequeo a través de ensayos adecuados. Se ha podido comprobar que los ensayos mecánicos utilizados para determinar la resistencia de las soldaduras, y otras propiedades, se pueden utilizar con confianza para establecer la calidad de las soldaduras. En adición, otros ensayos (tanto destructivos como no destructivos) pueden usarse.

Los ensayos mecánicos para soldaduras son similares a los ensayos mecánicos que se aplican al metal base (planchas, tubos, etc.), con con las modificaciones necesarias para determinar las propiedades de la soldadura.

Cuando se incluyen requisitos de ensayos mecánicos como parte de una especificación para fabricación de una estructura soldada, es conveniente indicar claramente:

- Cuáles son los ensayos requeridos.
- Las especificaciones AWS, ASTM, o cualquier otra norma aplicable que dictará el procedimiento de ensayo.
- Los valores mínimos límites de las propiedades investigadas, y si estos valores son mínimos o máximos.
- La interpretación, si hay alguna, de las propiedades determinadas.

Aun cuando entre los ingenieros de soldadura existe acuerdo sobre qué propiedades son las que deben determinarse en una soldadura, y en general en el procedimiento de ensayo a usar; existe gran divergencia en lo que se relaciona al tamaño y forma de las probetas de ensayo y en los detalles del procedimiento de ensayo. Esto impide que diferentes códigos y especificaciones puedan compararse directamente.

Los ensayos que a continuación se describen, son para determinar las propiedades mecánicas del metal de soldadura y de las juntas soldadas. Si hay especificaciones respecto al metal base, los ensayos deben llevarse de acuerdo a estas especificaciones, en caso contrario deben realizarse de acuerdo a la norma ASTM aplicable.

El término "sanidad" usado en relación a los ensayos mecánicos (1) significa: el grado de libertad de defectos discernibles por medio de inspección visual de cualquier superficie expuesta de metal de soldadura.

### 1. PROPIEDADES MECANICAS

Ya que gran parte del diseño estructural de la junta soldada está basado en sus propiedades a

(1) Norma ASTM E6, "Definición standard de terminos relacionados con métodos de ensayo".

tensión, es importante que tales propiedades de tensión en el metal base, el metal de soldadura, la liga entre éstos y la zona afectada por el calor, estén de acuerdo a las consideraciones de diseño del ensamble. En las soldaduras a tope, el metal de soldadura debe desarrollar aproximadamente las mismas propiedades a tensión que el metal base. En el caso de soldaduras de filete, de tapón o de ranura, la resistencia al corte es el factor significativo. Las propiedades del metal de soldadura generalmente requeridas son:

- a) Resistencia a la tensión
- b) Punto de fluencia
- c) Resistencia de fluencia
- d) Ductibilidad (porcentaje de elongación y porcentaje de reducción de área)

#### a) Resistencia a la tensión

La resistencia a la tensión se define como el cociente de la carga axial máxima aplicada sobre la muestra, dividida entre el área de la sección transversal original. En algunos casos, éste es un valor arbitrario, útil para propósitos de referencia, porque la resistencia real a la tensión debe basarse en la curva real de esfuerzo-deformación.

Esta propiedad se determina halando (ensayo de tensión) un espécimen estándar de 0.505" de diámetro en una máquina de ensayos, y anotando cual es la máxima carga que toma la probeta. La carga máxima dividida por el área mínima de la sección transversal original, da la resistencia a la tensión última en libras por pulgada cuadrada.

#### b) Punto de fluencia

Se define el punto de fluencia como el esfuerzo en el material para el cual la deformación presenta un gran incremento sin que haya un aumento correspondiente en el esfuerzo. Esto queda indicado por la porción plana (meseta de plasticidad) del diagrama esfuerzo - deformación, denominado rango plástico o inelástico. Algunos aceros presentan inicialmente un punto superior de fluencia, pero el esfuerzo se reduce después hasta llegar a una parte plana, la cual se denomina esfuerzo inferior de fluencia. El punto superior de fluencia es el que aparece en las especificaciones de diseño de todos los aceros.

El espécimen utilizado en el ensayo es el mismo que se usa para la determinación de la resistencia a la tensión

#### c) Resistencia de fluencia

Los diagramas esfuerzo - deformación de los aceros de alta resistencia tratados térmicamente indican que estos aceros no tienen la amplia parte plana correspondiente al flujo plástico, sino que en vez de ella muestran una curva ascendente continua, hasta llegar al punto de resistencia máxima a la tensión; por lo tanto, la resistencia de esos aceros a la fluencia se define como un punto específico de la curva, que se establece trazando una paralela a la parte inicial elástica de la curva, defasada una cantidad igual a un 0.2% de deformación unitaria. El punto en que se intersectan esta línea y la curva esfuerzo - deformación se toma como la resistencia de fluencia. (Fig. 8.3).

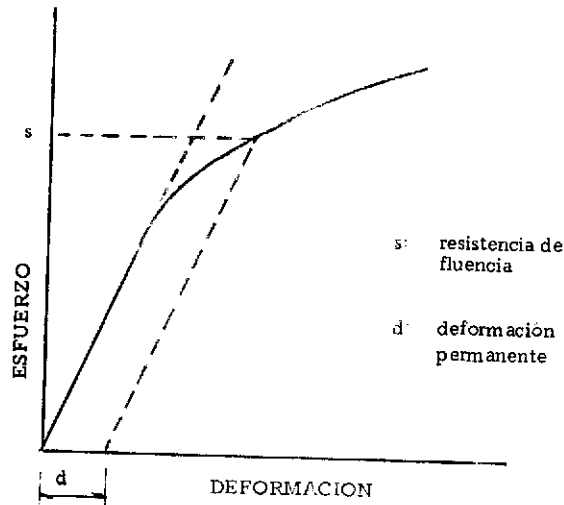


FIGURA 8.3. Determinación de la resistencia de fluencia.

Entonces la resistencia de fluencia puede definirse como la carga por pulgada cuadrada de sección transversal que causa una deformación permanente especificada en el espécimen.

Al reportar valores de resistencia de fluencia que se obtengan por este método, el valor especificado de deformación permanente usado, debe indicarse entre paréntesis después del término "resistencia de fluencia" Así, "resistencia de fluencia de 52,000 psi (0.2%)", señala que para un esfuerzo de 52,000 psi, la deformación permanente en el metal es 0.2% de la longitud original de calibración. Este método ha sido ideado para determinar un esfuerzo correspondiente a una deformación plástica bien marcada.

#### d) Ductibilidad

La ductibilidad, medida por el porcentaje de elongación y reducción de área, puede obtenerse de un ensayo a tensión. Valores de ductibilidad no se usan usualmente en el diseño de estructuras, sin embargo, las especificaciones incluyen valores mínimos ya que son un índice de la calidad de la soldadura.

El "porcentaje de elongación" se obtiene colocando marcas de calibración en el espécimen antes de ensayarlo. Después del ensayo, la probeta rota se une ajustándola en la zona de fractura, y se mide la distancia final entre las marcas de calibración. La diferencia entre las marcas finales e iniciales dividida entre la longitud original de calibración y multiplicado por 100, da el porcentaje de elongación en la longitud especificada.

La elongación de una probeta es uniforme bajo una carga de tensión hasta que ocurre la formación de una garganta, de allí en adelante, la elongación se localiza exclusivamente en la pequeña área de la garganta. Otros factores permaneciendo constantes, entre más corta es la longitud calibrada, mayor es el porcentaje de elongación que se obtiene en un espécimen dado.

La reducción de área se obtiene ajustando cuidadosamente los extremos de la probeta fracturada y midiendo la dimensión de la menor sección transversal de ésta. La diferencia entre esta área y el área de la sección transversal original, expresada como un porcentaje del área original, se define como el "porcentaje de reducción de área".

El S.W.C. especifica que las soldaduras ejecutadas de acuerdo a una Especificación de Procedimiento deben llenar las siguientes propiedades mecánicas:

Propiedades de Metal de Soldadura para Acero .....	ASTM A36
Resistencia a la tensión, psi min .....	60,000
Punto de fluencia, psi min .....	36,000
Elongación en 2", % min .....	24

Para propiedades mecánicas mínimas del metal de soldadura en otros aceros, ver el Código de Soldadura Estructural de la AWS.

## **2. ENSAYOS DEL METAL DE SOLDADURA**

### **a) Ensayo de pulido**

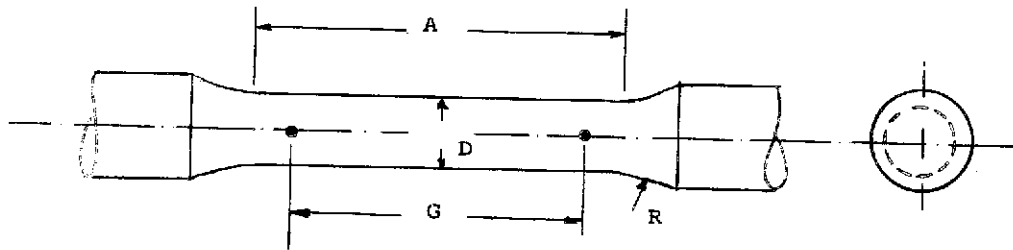
Este ensayo se utiliza para determinar la sanidad de las soldaduras por medio de un examen metalográfico.

El espécimen de ensayo se obtiene por remoción de una porción de junta soldada que muestre una sección transversal completa de la soldadura. La remoción del espécimen puede hacerse por medio de cualquier método conveniente, ya sea trepanado, corte con oxígeno, barrenado o corte con sierra. La cara después del corte debe quedar lisa, brillante.

La cara de la soldadura se pule y se trata con reactivos químicos adecuados para hacer resaltar su macroestructura, y se examina para determinar su sanidad (ver ensayos metalográficos).

### **b) Ensayo de tensión estándar**

La probeta estándar para ensayos de tensión es del tipo mostrado en la figura 8.4.



DIMENSIONES			
	Especimen STD	Especímenes menores	
	0.500"	0.350"	0.250"
G - Longitud calibrada (pulg)	2.000 ± 0.005	1.400 ± 0.005	1.000 ± 0.005
D - Diámetro (pulg)	0.500 ± 0.010	0.350 ± 0.007	0.250 ± 0.005
R - Radio del filete min. (pulg)	3/8	3/8	1/4
A - Long. de la sección reducida, min (pulg)	2 1/4	1 3/4	1 1/4

FIGURA 8.4. Especimen para ensayo a tensión del metal de soldadura.

El espécimen estándar debe usarse, a menos que las dimensiones de la junta o el metal depositado sean tales que no permitan extraer una probeta de ese tamaño, en cuyo caso se puede usar un espécimen de menor tamaño de dimensiones proporcionales al estándar. La porción del espécimen dentro de la longitud calibrada, debe consistir enteramente en metal de soldadura que conforma la junta.

Aunque todos los especímenes son geoméricamente similares y las propiedades que se determinan con cada uno de ellos son aproximadamente las mismas, es conveniente, al hacer comparaciones, que los especímenes sean iguales. El porcentaje de elongación se ve afectado por la longitud de calibración usada en la probeta.

Cuando el metal de aporte se deposita específicamente con el objeto de realizar el ensayo, las planchas de prueba y especímenes semejantes a los de la figura 8.5 deben utilizarse.

Los aparatos, material, técnica y velocidad de deposición del metal de aporte, utilizados en la fabricación de la plancha de muestra, deberán ser los mismos que se usaran durante el proceso de producción.

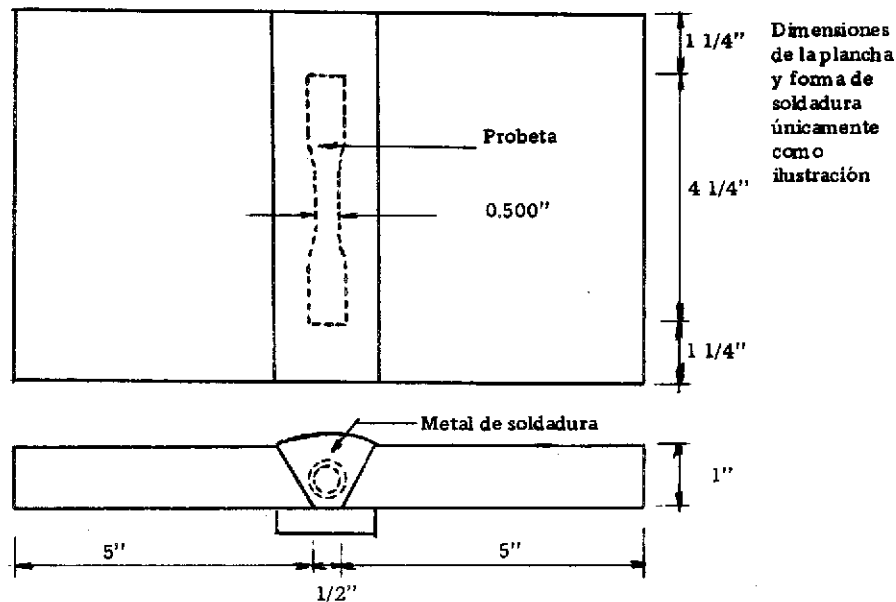


FIGURA 8.5. Plancha de prueba para extraer espécimen para ensayo a tensión del metal de soldadura

Diferencias inevitables en el método de deposición del metal de aporte, y en la rapidez de enfriamiento, harán que las propiedades de la soldadura determinadas por medio de una probeta, dependan del metal adyacente. De allí la conveniencia que las probetas se extraigan de un ensamble geoméricamente similar al que se empleará en la estructura.

Después de remover la probeta de la junta soldada, se somete a una carga de tensión hasta su ruptura, y se determina la carga máxima en libras. La resistencia a la tensión, resistencia de fluencia, el porcentaje de elongación y reducción de área son fácilmente determinables. Según el S.W.C., la probeta deberá ensayarse de acuerdo a la Norma ASTM A370 "Ensayo Mecánico de Productos de Acero".

### 3. ENSAYOS DE JUNTAS SOLDADAS

#### a) Ensayos de tensión en juntas soldadas a tope

Las especificaciones individuales señalarán cual de los especímenes que se describen a continuación deberá usarse, y también el orden en que deberán cortarse de la plancha o tubería de muestra para calificación.

**Ensayo de mella:** Se realiza para determinar la sanidad de la junta soldada. En la figura 8.6 se muestra un espécimen que se utiliza para llevar a cabo la prueba de mella en una junta soldada a tope en planchas. Un espécimen similar se emplea en el ensayo de juntas a tope de tuberías.



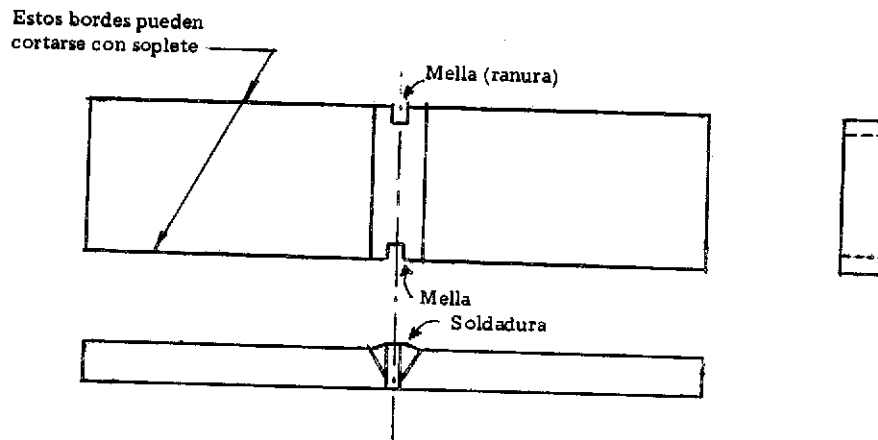


FIGURA 8.6. Especimen para ensayo de mella (planchas).

El espécimen se sostiene sobre dos soportes (Fig. 8.7) y se rompe con una carga que puede aplicarse lenta o rapidamente, por medio de uno o varios golpes de martillo. Generalmente se especifica un golpe seco.

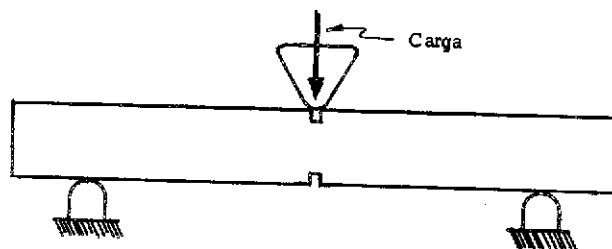


FIGURA 8.7. Método de ruptura de especimenes para ensayo de mella.

La superficie de fractura se examina para determinar su sanidad.

**Ensayo de doblado con guía:** Se emplea para comprobar la sanidad y ductibilidad de juntas. En ensayo de doblado en juntas soldadas a tope de planchas y tubería, se realiza sobre tres tipos de especimenes: espécimen para doblado de cara, espécimen para doblado de raíz y espécimen para doblado de lado. Las figuras 8.8 y 8.9 muestran los especimenes utilizados en planchas; los que se emplean para la prueba de tubería son similares.

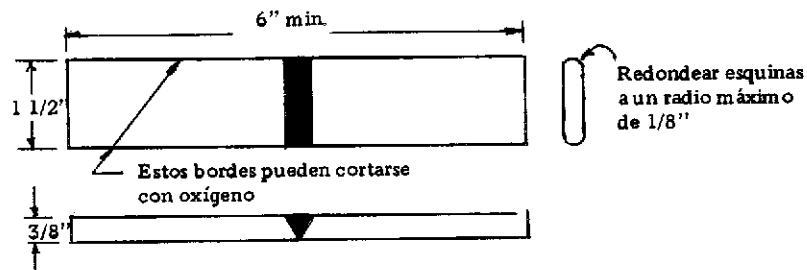


FIGURA 8.8. Especímenes para doblado de cara y raíz.

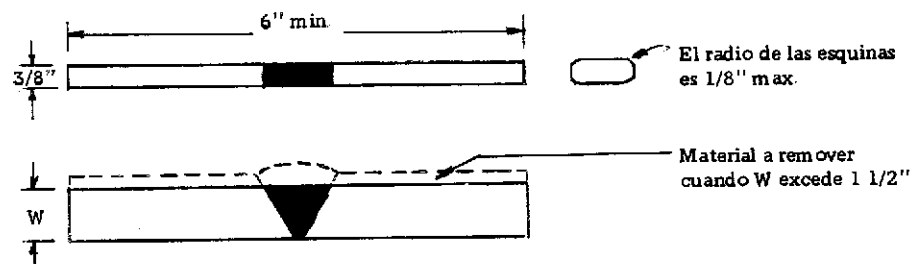


FIGURA 8.9. Especímen para doblado de lado.

Los especímenes a ensayar se doblan en una guía con el contorno igual, o sustancialmente parecido, al mostrado en la figura 8.10. Aceros u otros materiales con una resistencia a la tensión mayor de 10,000 psi, requerirán el uso de rodillos en vez de los hombros de la guía. Puede usarse cualquier medio conveniente para mover el miembro macho en relación al miembro hembra que forma la guía de doblado.

El ensayo se ejecuta colocando el espécimen sobre los hombros o rodillos de la guía, con la soldadura al centro de la luz. Los especímenes para doblado de cara, se colocan con la cara de la soldadura dirigida hacia la boca de la guía; los especímenes para doblado de raíz se disponen con la raíz de la soldadura también hacia la boca de la guía, y los que se utilizan para doblado de lado se colocan con el lado que muestre el mayor defecto (de existir) dirigido hacia abajo.

Los dos miembros de la guía (macho y hembra) se unen, aplicando una carga, con el espécimen colocado en medio, hasta que éste alcanza el ángulo especificado de doblado.

Aceros con menos de 2% de elementos de aleación, presentan gran ductibilidad, la forma final que adquiere el espécimen es una U. Soldaduras con un mayor contenido de aleación, o con resistencias a tensión mayores de 100,000 psi, muy pocas veces tienen suficiente ductibilidad como para formar una U sin fracturarse antes.

Al completar la prueba, el espécimen se retira de la guía y se examina. La superficie convexa del espécimen no debe presentar grietas u otros defectos abiertos, en exceso al tamaño y número especificados. En caso contrario se considera que la probeta ha fallado.

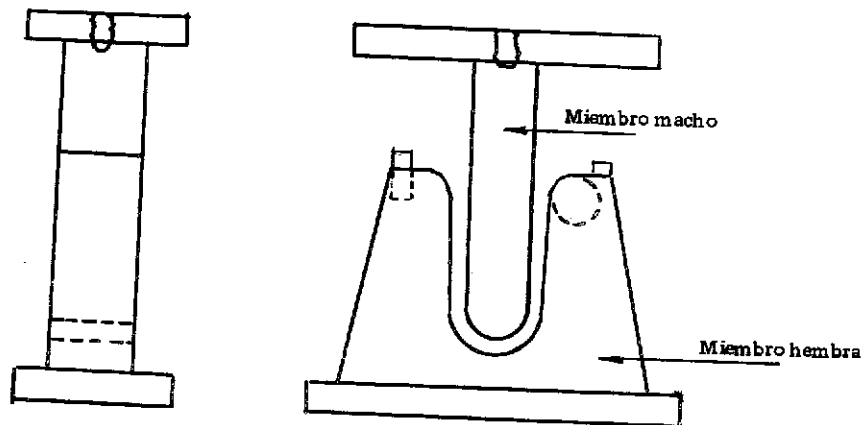


FIGURA 8.10. Guía para el ensayo de doblado.

**Resistencia a la tensión:** Los códigos y especificaciones indican las características de los especímenes a usar, tanto para juntas soldadas a tope en planchas, como para el mismo tipo de juntas en tuberías. La figura 8.11 muestra un espécimen para ensayo a tensión de juntas soldadas en planchas.

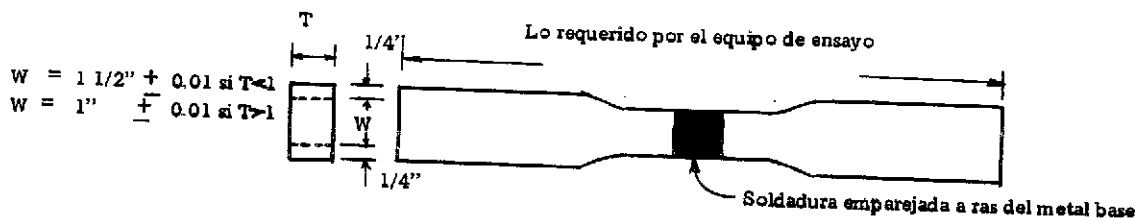


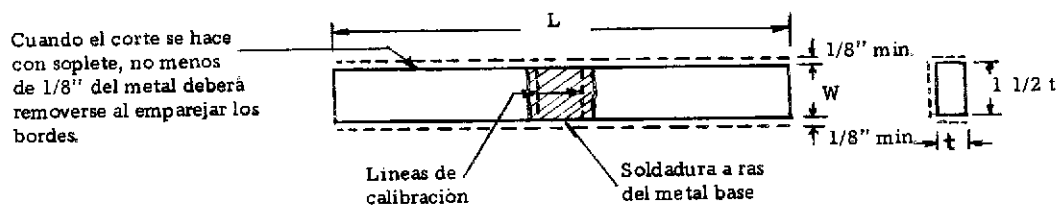
FIGURA 8.11. Especimen para ensayo a tensión en sección reducida.

Los extremos de los especímenes pueden aplanarse utilizando cualquier medio apropiado, o bien pueden colocarse en las mordazas de la máquina de ensayos sin haber sido aplanados antes. El espécimen se lleva a la rotura utilizando una carga de tensión y se determina la carga máxima en libras. La resistencia a la tensión en libras por pulgada cuadrada se obtiene dividiendo la carga máxima entre el área de la sección transversal reducida.

#### Ensayo de doblado libre

Se utiliza para medir el grado de ductibilidad en juntas soldadas a tope (planchas o tubería).

La figura 8.12 muestra el espécimen que se emplea en el ensayo de planchas soldadas. De existir marcas provocadas por el trabajado de herramientas, éstas deben ser paralelas a la dirección larga del espécimen. Los bordes del espécimen (en los lados largos) deben redondearse a un radio no mayor de  $1/10$  del espesor del espécimen.



t (pulg.)	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2
W	3/8	9/16	3/4	15/16	1 1/8	1 1/2	17/8	2 1/4	3	3 3/4
L	6	8	9	10	11	12	13 1/2	15	18	21
B* min.	1 1/4	1 1/4	1 1/4	2	2	2	2	2	2	3

\* Ver Fig. 8.13.

FIGURA 8.12. Especimen para ensayo de doblado libre.

Cuando la línea entre el metal de soldadura y el metal base no se distingue visualmente, la superficie del espécimen debe tratarse con un reactivo.

Se trazan en la cara de la soldadura un par de líneas de calibración. La distancia entre ambas, es la longitud calibrada y debe ser aproximadamente  $1/8''$  menor que el ancho de la cara de la soldadura.

Cuando se tienen soldaduras de bisel simple, las líneas de calibración se trazan en la cara grande de la soldadura, en soldaduras de bisel doble, la mitad de los especímenes se calibran en una de sus caras, y la otra mitad en la otra.

#### Doblado inicial:

El doblado inicial se puede efectuar de dos maneras alternativas. En la primera, a cada espécimen se le da un doblado inicial por medio de un dispositivo como el de la figura 8.13. La superficie calibrada se dispone en el lado opuesto al de la aplicación de la carga.

Otra forma de dar el doblado inicial es colocando el espécimen en un tornillo de banco, con un tercio de su longitud proyectándose fuera de las mordazas, y doblándolo en dirección opuesta a la cara calibrada por medio de golpes de martillo. El doblado debe ser de  $30^\circ$  a  $45^\circ$ . El otro extremo

del espécimen se dobla del mismo modo, de tal manera que el doblado final quede centrado en la soldadura.

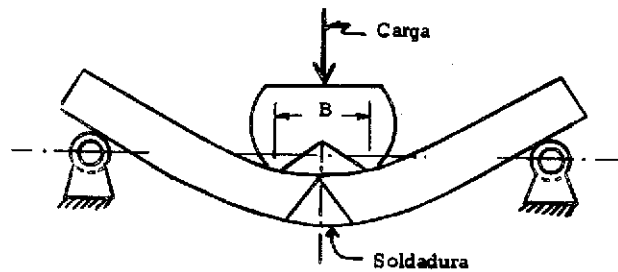


FIGURA 8.13. Doblado inicial para especímenes de doblado libre.

#### Dobrado final:

El espécimen se comprime (Fig. 8.14) por sus extremos, decreciendo continuamente la distancia entre ellos, al aumentar el pandeo de la probeta. Cuando una grieta o depresión aparece en la cara convexa del espécimen, y excede el tamaño tolerable especificado, se retira la carga inmediatamente. En caso contrario, el espécimen deberá doblarse al doble. Las grietas que ocurren en las esquinas del espécimen durante el ensayo generalmente no se consideran.

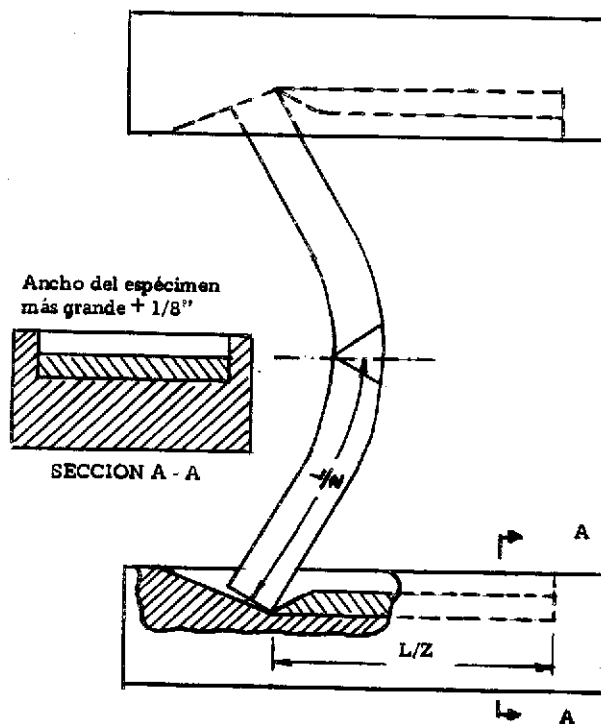


FIGURA 8.14. Dispositivo utilizado para el doblado final de especímenes en el ensayo de doblado libre.

La elongación se determina midiendo la distancia mínima entre marcas de calibración a lo largo de la superficie convexa de la soldadura, y restándole la longitud de calibración inicial. El porcentaje de elongación se obtiene dividiendo la elongación por la longitud calibrada originalmente y multiplicando por 100

#### b) Ensayos de corte (soldaduras de filete)

**Ensayo de fractura:** Se lleva a cabo con el fin de determinar la sanidad de las soldaduras de filete. El metal base, metal de soldadura y la técnica deben estar de acuerdo al Procedimiento de Soldado que se va a ensayar.

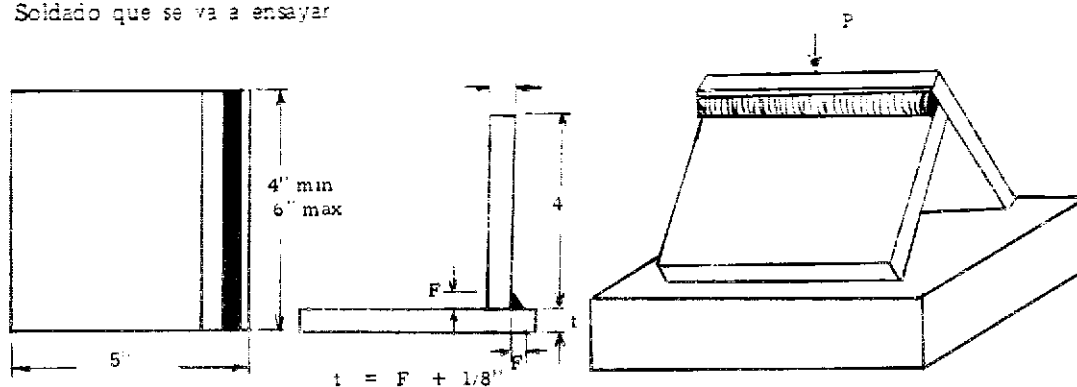


FIGURA 8.15 Especimen usado en el ensayo de fractura.

Una carga  $P$  se aplica al espécimen (Fig 8.15) hasta que ocurre su ruptura. La carga puede aplicarse ya sea por medio de una prensa, máquina de ensayos o golpes de martillo.

Las superficies donde ocurre la fractura se examinan para determinar su sanidad.

**Resistencia al corte:** Este ensayo se realiza para determinar la resistencia al corte en:

- Soldaduras de filete transversal
- Soldaduras de filete longitudinal

Soldaduras de filete transversal

Se pueden utilizar dos tipos de especímenes. El tipo A (Fig 8.16) se usa para obtener valores comparativos más bien que absolutos cuando la resistencia por pulgada lineal de soldadura de filete es suficiente, y cuando por razones de costo, o limitaciones de tiempo, el corte con herramientas de los especímenes es indeseable. El espécimen B se emplea cuando se necesitan valores más exactos (Fig 8.17)

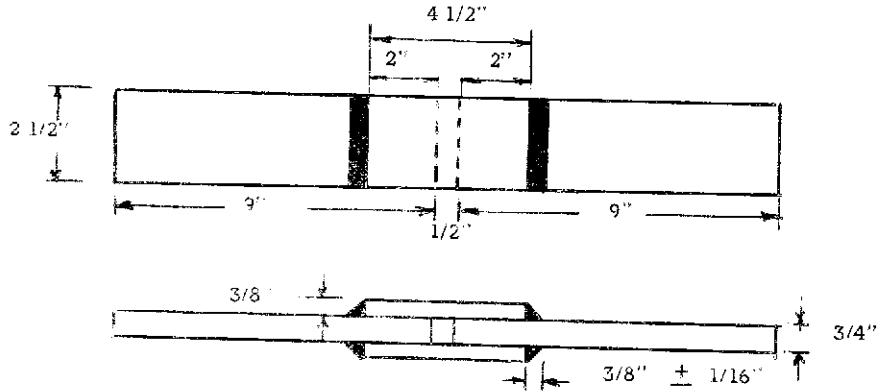


FIGURA 8.16 Especimen (A) para corte transversal

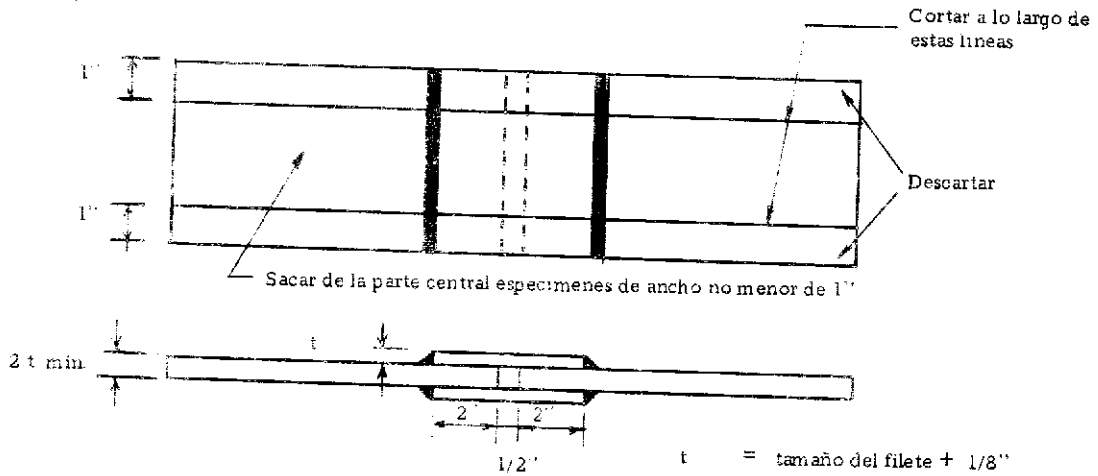


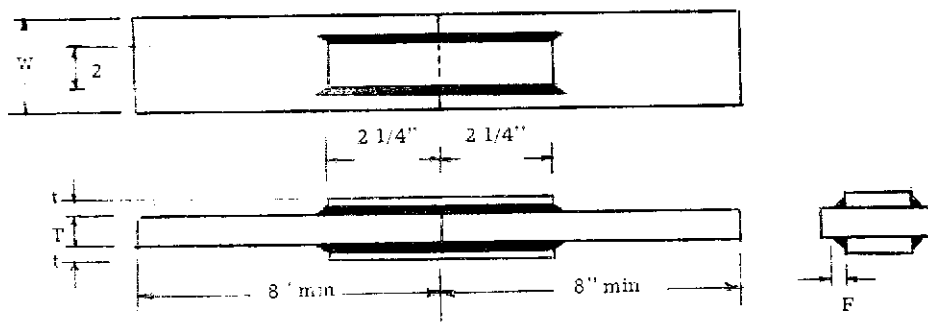
FIGURA 8.17 Especimen (B) para corte transversal.

El espécimen se rompe sometándolo a una carga de tensión determinándose la carga máxima en libras. La resistencia al corte por pulgada lineal de la soldadura se obtiene dividiendo la carga máxima por dos veces el ancho del espécimen. La resistencia al corte en libras por pulgada cuadrada se obtiene dividiendo la resistencia al corte (en libras por pulgada lineal) por las dimensiones promedio de la garganta.

### Soldaduras de filete longitudinal

El espécimen para ensayo de corte de soldadura de filete longitudinal después de depositar los filetes de soldadura, se muestra en la figura 8.18

Este espécimen, después de soldarlo, se corta según se indica en la figura 8.19



DIMENSIONES (pulgadas)				
Tamaño de la soldadura (F)	1/8	1/4	3/8	1/2
Espesor (t) min	3/8	1/2	3/4	1
Espesor (T) min	3/8	3/4	1	1 1/4
Ancho (W)	3	3	3	3 1/2

FIGURA 8.18 Especimen de filete longitudinal.

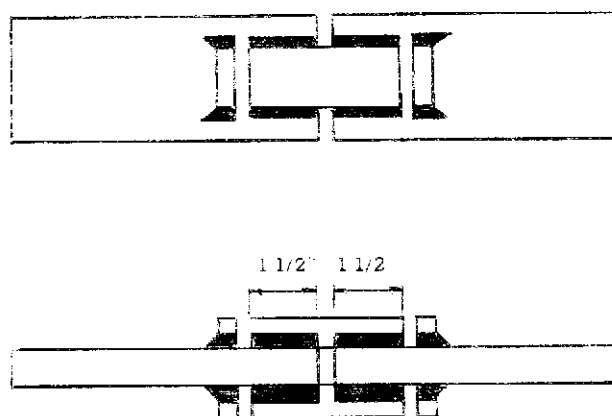


FIGURA 8.19. Especimen de filete longitudinal preparado para el ensayo de corte.



La longitud de cada filete de soldadura se mide en pulgadas. El espécimen se rompe sometiéndolo a una carga de tensión, determinándose así la carga máxima en libras. La resistencia al corte de la soldadura (en libras por pulgada lineal) se puede obtener dividiendo la carga máxima por la suma de las soldaduras que se fracturaron.

### e) Ensayos de ductibilidad a bajas temperaturas

**Ensayos de impacto:** Este método de ensayo sirve para determinar la "temperatura de transición de ductibilidad nula" (NDT) de aceros ferríticos. El método se usa siempre que el código o especificaciones pidan que los aceros estén sujetos a requerimientos de dureza a la fractura según se determina por el ensayo de impacto.

La "temperatura de transición" está definida de muchas maneras en la literatura técnica. Quizás la definición de ella más ampliamente usada es la "temperatura de transición de ductibilidad nula", o temperatura NDT. Esta temperatura se basa en el ensayo de impacto desarrollado por Pellini. Un espécimen del tipo plancha que se flexiona por medio de una carga de impacto, se encuentra soportado en sus extremos, y es sometido a la aplicación de una carga por medio de un peso que se le deja caer al centro de la luz. Un cordón de soldadura frágil en la parte inferior del espécimen (cara en tensión) induce, con un pequeño valor de deformación, una grieta aguda. El espécimen se continúa flexionando, y dependiendo de la temperatura esta grieta puede o no, propagarse de una manera frágil a través de todo el ancho del espécimen. Un tope bajo el espécimen evita una deformación plástica excesiva en la plancha. En consecuencia, el espécimen permanece intacto, a menos que la propagación de la grieta sea excesivamente frágil. La temperatura arriba de la cual el espécimen permanece intacto, y abajo de la cual se rompe en dos pedazos, se define como la temperatura NDT.

La resistencia a la fractura en presencia de una muesca, en los aceros ferríticos se ve marcadamente afectada por la temperatura. El ensayo de impacto se ideó para medir las características del inicio de fractura en materiales estructurales de calibre grueso (3/4" o mayores). La prueba se usa poco en planchas delgadas, y no se recomienda para aceros de menos de 1/2".

El espécimen se prepara depositando en su superficie un pequeño cordón de soldadura. Después de depositado el cordón de soldadura se le hace una muesca en el centro. Esta muesca debe ser normal al cordón y paralela al ensamble ensayado sin llegar a tocar la superficie del espécimen. El cordón de soldadura tiene como propósito funcionar como "iniciador de grieta", ya que desarrolla durante el ensayo un pequeño agrietamiento en la muesca.

El espécimen se coloca sobre un yunque de ensayo de dimensiones y características particulares. La carga de impacto se aplica dejando caer un peso sobre el espécimen. La ASTM da un diseño de máquina de ensayo que permite el uso de varios pesos y alturas de caída.

Cualquier líquido o gas puede utilizarse para enfriar los especímenes a la temperatura deseada. Se prefieren los líquidos por tener mejores características de transferencia térmica.

## Resultados

El éxito del ensayo de impacto depende del desarrollo de una pequeña grieta por clivaje en la soldadura iniciadora de la grieta, después de únicamente una pequeña flexión del espécimen de ensayo. La prueba entonces, evalúa la habilidad de la soldadura de resistir cargas hasta el punto de fluencia, en presencia de una pequeña grieta. La soldadura puede aceptar el inicio de la fractura rápidamente bajo estas condiciones de ensayo, o bien el inicio de la grieta es resistido, el espécimen se flexiona una pequeña cantidad adicional que permite el tope del yunque de ensayo sin sufrir fractura completa. Después de completar cada ensayo, el espécimen se examina y los resultados de la prueba se registran de acuerdo al siguiente criterio:

- Un espécimen se considera quebrado si se fractura a uno o ambos bordes de la superficie en tensión.
- El espécimen desarrolla una grieta visible en el cordón de soldadura, pero la grieta no se propaga completamente a cualquier orilla de la superficie en tensión. En este caso se considera que no hay fractura.
- El ensayo no se considera válido si la muesca de la soldadura no se encuentra visiblemente agrietada después de completar el ensayo, o si el espécimen no se ha deflectado lo suficiente para tocar el tope del yunque.

El ensayo no funcionará si se usa insuficientemente energía de impacto, un metal de soldadura muy dúctil, o el espécimen está desalineado.

**Ensayo de impacto en barra con muesca:** Los ensayos de impacto en aceros ferríticos son necesarios, ya que ciertos tipos fallan por fractura frágil, aun cuando presentan propiedades normales, según se determinan por el ensayo estándar de tensión. Esta falla por fractura frágil es particularmente severa cuando el material se encuentra en "condición ranurada". La condición ranurada incluye la restricción debida a deformación en direcciones perpendiculares al esfuerzo mayor, esfuerzos multiaxiales y concentraciones de esfuerzos. Es en este campo que los ensayos de impacto se muestran útiles para determinar la susceptibilidad de los aceros y el comportamiento frágil en presencia de una muesca.

Una medida cuantitativa de la capacidad de un acero de determinado grado de resistencia para soportar temperaturas adversas y otros factores de fabricación es el Ensayo Charpy de la muesca en V. Aunque existen otras pruebas de medición, la Charpy es la más comúnmente usada. La prueba valúa la tenacidad del acero, que se define como la resistencia a la fractura en presencia de una muesca.

En esta prueba, una pequeña barra rectangular con una muesca en forma de V en su sección media de dimensiones especificadas, apoyada libremente en sus extremos, es fracturada por medio de un péndulo que se suelta desde una altura establecida de antemano (Fig. 8.20)

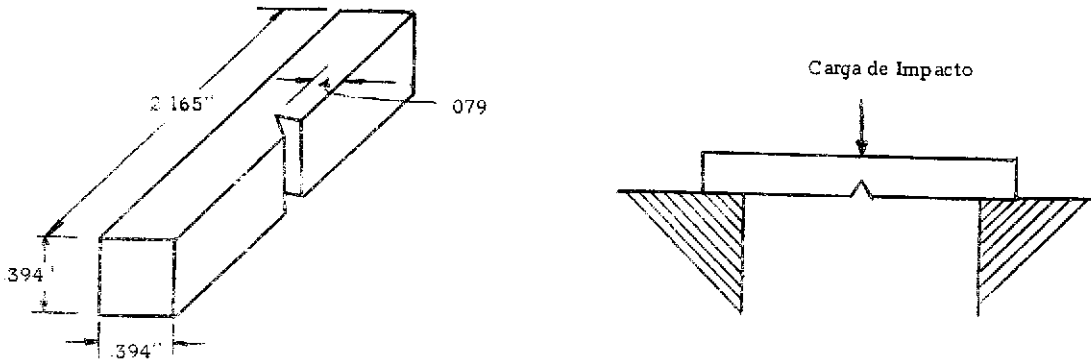


FIGURA 8.20. Ensayo de impacto Charpy de la muesca en V.

La cantidad de energía requerida para fracturar el espécimen se calcula a partir de la altura alcanzada por el péndulo después de romperlo. Se determinan las cantidades de energía requeridas para romper especímenes iguales a distintas temperaturas dentro de un determinado rango, y se traza una gráfica (Fig. 8.21)

El valor de 15 pie-libras de energía se ha aceptado como referencia al comparar los aceros, y la temperatura a la cual ocurre esto se denomina temperatura de transición.

Desde el punto de vista del diseño, mientras más baja sea la temperatura de transición, mejor será la calificación del acero para resistir la fractura frágil. La temperatura de transición varía con el espesor del material, razón por la cual deberá tenerse especial cuidado en la selección del acero y el espesor apropiado para valuar su tenacidad.

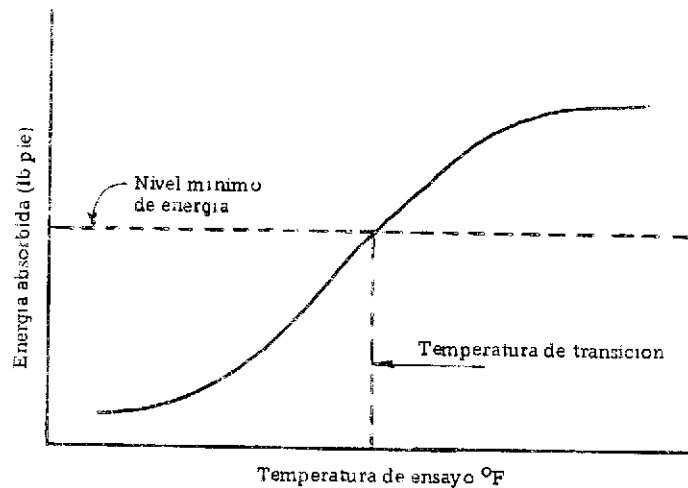


FIGURA 8.21. Curva de transición obtenida por medio de pruebas de impacto Charpy de la muesca en V.

Una descripción completa de los ensayos de impacto en barra con muesca se encuentra en la Norma ASTM E23.

## CAPITULO IX

### ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

A	Inspección Visual
B	Inspección con Partícula Magnética
C	Inspección con Líquidos Penetrantes
D	Inspección Radiográfica
E	Inspección Ultrasonica
F	Ensayos Electromagnéticos
G	Pruebas de Carga
H	Pruebas de Fugas

En se busca alta calidad y mayor seguridad en la serviciabilidad del material que conformará una estructura ya terminada, no se puede depender de propiedades del material que han sido determinadas a través de especímenes externos a la estructura. Por otra parte, no siempre es posible efectuar las pruebas destructivas, especialmente si la soldadura es parte de un montaje grande que ya ha sido fabricado. Esto ha llevado a un rápido crecimiento y desarrollo de técnicas de ensayos no destructivos.

Con los ensayos no destructivos se persigue detectar discontinuidades en los materiales sin perjudicar la utilidad de estos. A pesar de los numerosos métodos de ensayo, por razones en parte técnicas en parte económicas, no es posible examinar todas las soldaduras producidas. Por ello se limita el examen a ensambles seleccionados por muestreo. Es por lo tanto de suma importancia que el taller extraiga todo lo que sea posible de esas pruebas para sacar las mayores ventajas tanto para la empresa misma como para el mejoramiento de la calidad del trabajo de su personal. Es necesario comunicar siempre estos resultados a los obreros.

El empleo de una u otra técnica dependerá de los requerimientos individuales respecto a sensibilidad, costo, localización, accesibilidad y orientación de los defectos. Las diversas técnicas de inspección se complementan entre sí, y es esencial que la persona a cuyo cargo está la responsabilidad de la inspección de soldaduras críticas, esté familiarizado con los principios físicos en que está basado cada método, con el fin de seleccionar aquellos ensayos que detectan en mayor grado de confiabilidad los defectos que hagan una determinada soldadura no servicable.

Ya que la mayoría de los ensayos no destructivos son indirectos, una evaluación racional de los resultados sólo puede ser lograda con la familiarización de la teoría y la aplicación del ensayo. Es más, una interpretación práctica de los resultados del ensayo requiere un conocimiento de la función en servicio del objeto de prueba, de tal manera que los límites de aceptación o rechazo no sean demasiado estrictos ni demasiado liberales. En general debe tenerse en cuenta que los ensayos no destructivos son relativamente caros y que estos ensayos deben usarse para confirmar el buen trabajo.

En algunos casos el costo de la inspección podría ser igual o mayor que el costo de fabricación y calificaciones, por lo que es recomendable que sea prevista y tomada en cuenta entre los acuerdos del contrato.

Para asegurar la realización de los ensayos en forma competente se pueden utilizar mecanismos efectivos de control, tales como:

- a) Calificación de procedimientos de ensayo
- b) Calificación del personal de inspección

Conviene preparar un "manual de procedimientos" detallando los ensayos específicos y sus pasos operacionales junto con las normas de aceptación asociadas. Luego debe hacerse una calificación del personal de inspección, éste se considerará calificado después de un examen en el cual demuestra su conocimiento de la teoría en que se basan los ensayos y su habilidad para llevarlos a cabo.

Todos los ensayos no destructivos tienen los siguientes elementos comunes:

- Un medio de penetración que experimenta un cambio al entrar en contacto con una discontinuidad.
- Un artificio para detectar y amplificar los cambios sufridos por el medio.
- Normas con las que se pueda comparar los cambios detectados.

## A. INSPECCION VISUAL

Este es el método de inspección que se emplea más extensamente por su fácil aplicación, rapidez y ser relativamente barato. Cuando las soldaduras no son críticas es suficiente su chequeo por medio de esta técnica, y aún para juntas en que se ha especificado otros tipos de ensayos no destructivos, la inspección visual constituye una parte importante del control práctico de calidad.

### 1. EQUIPO

- Lámpara de cordón o linterna (iluminación)
- Lupa de bajo poder de amplificación
- Espejos de mango largo (para inspección de áreas confinadas)
- Regla métrica (para chequear dimensiones)
- Calibradores (para chequear dimensiones)

### 2. PROCEDIMIENTO DE INSPECCION

- a) Antes de soldar

- b) Durante el soldado
- c) Después del soldado

**a) Antes de soldar**

Tiene por objetivo detectar y eliminar aquellas condiciones que tienden a causar defectos de soldadura. Consiste en el examen del material antes de la fabricación para determinar condiciones superficiales adversas tales como: costras, vetas, escamas, laminaciones serias en los bordes cortados de planchas. Después se examinará el material ensamblado en posición para soldar. El inspector buscará aquellos detalles en la preparación de la unión que puedan afectar la calidad de la junta soldada. Estos detalles podrán ser por ejemplo, abertura de raíz incorrecta, preparación inadecuada de los bordes, etc. El inspector debe revisar que las siguientes condiciones estén de acuerdo a las especificaciones:

- Preparación de la soldadura, dimensiones y acabado
- Dimensiones libres del material de soporte
- Alineamiento y ajuste de las piezas por soldar
- Verificación de limpieza

**b) Durante el soldado**

Mientras se esté efectuando el proceso de soldado es necesario chequear que los siguientes detalles del trabajo se ejecuten de acuerdo al procedimiento de soldado especificado

- Proceso de soldadura
- Limpieza
- Pre calentamiento y temperatura entre pases de soldadura
- Preparación de la junta
- Metal de aporte
- Fundente o gas protector
- Cincelado, esmerilado y ranurado
- Control de distorsiones
- Temperatura de postcalentamiento y tiempo
- Forma apropiada de los cordones de soldadura

Se debe verificar que todo se ejecute de acuerdo a las indicaciones dadas en las especificaciones del procedimiento de soldado que previamente haya sido calificado.

Cada capa de soldadura ejecutada puede ser comparada con capas correspondientes de un **MODELO DE MANUFACTURA**, que no es más que un patrón que ha sido preparado para servir de modelo, y que consiste en una sección de una junta similar a la que se va a fabricar, en la cual se muestran porciones de capas sucesivas que conforman la soldadura. Ver Fig. 9.1. A todos los soldadores se les debe suministrar un modelo de manufactura para que sepan que es lo que se espera

El primer pase de soldadura en la junta (pase de raíz) es el más importante desde el punto

de vista de la sanidad final. Diversos factores pueden hacer que se enfríe rápidamente, pudiendo quedar escoria o gas atrapados en su interior. Estos factores pueden ser: geometría de la junta; volumen grande de las planchas respecto al volumen del pase de raíz; el hecho de que las planchas puedan estar frías; la posibilidad que el arco no golpee en la raíz. Adicionalmente, la inspección del pase de raíz es importante por ser éste muy susceptible al agrietamiento.

En esta etapa de la inspección visual, si existen laminaciones en las planchas será posible observarlas, ya que estas tienden a abrirse por el calor asociado con la operación de soldado.

En las juntas en V doble, la escoria que se deposita al otro lado de la raíz debe ser removida antes de proceder a soldar del otro lado.

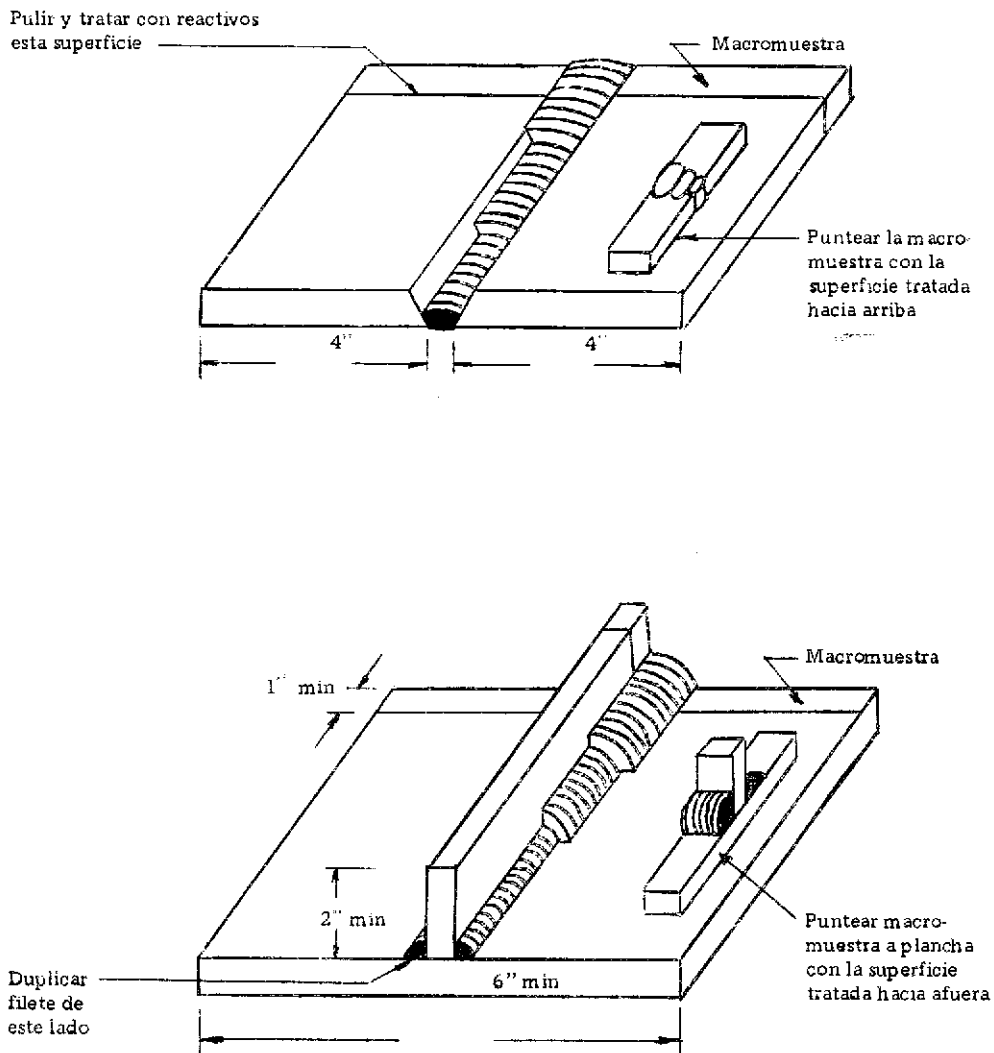


FIGURA 9.1. Ejemplo de modelo de manufactura. Ilustra patrones adecuados para soldaduras de bisel (arriba) y de filete (abajo).

### c) Después del soldado

El ensamble soldado se examinará para comprobar:

- Exactitud en las dimensiones del ensamble
- Conformidad con los requerimientos de los planos
- Aceptabilidad de soldaduras respecto a apariencia
- Presencia de cráteres sin berris, socavaciones, sobremontas, grietas, etc

Para verificar la exactitud de las dimensiones se utilizan métodos convencionales de medición. El tamaño y contorno de las soldaduras de filete se chequea por medio de un CALIBRADOR DE SOLDADURAS. Con este se determinará si el tamaño está dentro de los límites tolerables y si existe concavidad o convexidad excesiva.

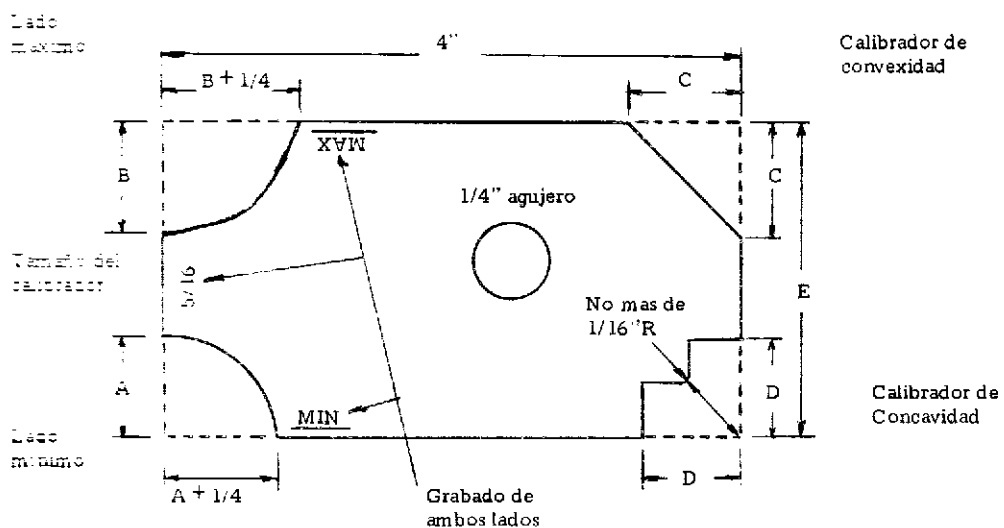


FIGURA 9.2. Calibrador típico de soldaduras de filete.

Para soldaduras de bisel se debe verificar que el ancho de la soldadura terminada esté de acuerdo al ángulo requerido de chaflán, cara de raíz y abertura de ésta. Así también que el refuerzo sea consistente con las especificaciones.

Los requerimientos en cuanto a apariencia superficial son variables. Se puede recurrir a patrones visuales presentados por el fabricante y aprobados por el comprador.

Para la inspección de defectos superficiales (grietas, socavación, sobremonta, irregularidades excesivas en la soldadura) se debe limpiar perfectamente la superficie de la soldadura de óxido y escoria. El uso de cepillo de alambre y chorro de arena se ha encontrado satisfactorio para efectuar esta limpieza.



### 3. MARCAJE

Las áreas que deben ser reparadas deben marcarse apropiadamente. Estas marcas deberán ser:

- Claras y fuertes.
- De acuerdo a un sistema que sea comprendido por todos los inspectores y personal de taller encargado de efectuar las reparaciones.
- De un color distintivo para que no exista posibilidad de confusión con otras marcas.
- Permanentes para que sean evidentes después de haber efectuado las reparaciones.

Cuando se han terminado las reparaciones, éstas deben ser inspeccionadas de nuevo y marcadas para indicar si la reparación ha sido satisfactoria o no.

Conviene señalar que el examen visual es invaluable como método de inspección, sin embargo, se debe ser cauteloso para arribar a conclusiones. La apariencia superficial por sí sola no es prueba de manufactura cuidadosa y no constituye un indicador confiable de la condición interna de la soldadura. Las observaciones que han sido efectuadas antes, durante y después del soldado nos proporcionarán evidencia adicional sobre la condición de la soldadura llevada a cabo, y así poder emitir un juicio razonablemente seguro sobre la calidad de ésta.

### B. INSPECCION CON PARTICULA MAGNETICA

La inspeccion con partícula magnetica es un metodo de ensayo no destructivo para detectar discontinuidades en materiales (metal base y de aportacion ferromagnéticos).

El S.W.C. recomienda que "cuando se usen ensayos con partícula magnetica, el procedimiento y la técnica deben estar de acuerdo con la Especificación ASTM E105, y las normas de aceptación estarán de acuerdo a 8 15, 9 25 o 10 17 de este Código (S.W.C.) según sea aplicable".

#### 1. DEFECTOS DETECTABLES

- Grietas superficiales, tanto en la soldadura como en el metal base
- Laminaciones u otros defectos en los bordes preparados de las planchas
- Fusión incompleta y socavaciones
- Grietas abajo de la superficie
- Penetración incompleta de la junta

- b) Que técnicas se emplearan (especificadas en detalle).
- c) Que tipo de discontinuidades serán rechazadas y cuales serán aceptables.
- d) Definición de las partes que podrán volverse a trabajar y ensayar de nuevo.

## 6. PRINCIPIOS DE LA INSPECCION CON PARTICULA MAGNETICA

Cuando a un iman permanente se le hace una muesca, el flujo de líneas de fuerza experimentara un cambio en el area adyacente a la muesca. La distorsion del campo disminuye con la distancia. En el espacio libre dejado por la muesca se produce una dispersion magnetica al adoptar cada una de las caras de esta una polaridad opuesta. Es este flujo disperso el que permite la deteccion de defectos por el metodo de inspeccion con partícula magnetica.

Al establecer un campo magnetico en una pieza de material ferromagnetico que contiene una o mas discontinuidades en la senda del flujo magnetico, se establecen polos diminutos en las discontinuidades. Estos polos presentan una mayor atraccion hacia las partículas magneticas. Cuando las areas a ser examinadas se espolvorean con partículas magneticas finamente divididas, estas se ven afectadas por el campo magnetico disperso producido por la discontinuidad y se agrupan formando PATRONES o INDICADORES que adoptan la forma aproximada del defecto.

El electromagneto se emplea comunmente con este metodo. Se utiliza el campo electromagnetico producido por una corriente que fluye por un conductor. Se tiene la ventaja que la densidad y direccion de las líneas de fuerza del campo pueden ser controladas. Se sabe que una corriente al fluir por un conductor produce un campo magnetico que es concéntrico con este. La intensidad del campo es proporcional a la intensidad de la corriente. Cuando el material es ferromagnetico, el campo se encuentra confinado casi en su totalidad dentro del conductor. Ver figura 9.3 y figura 9.4

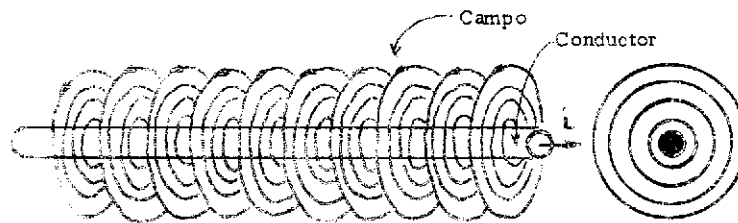


FIGURA 9.3. Campo magnético alrededor de un conductor transportando corriente.

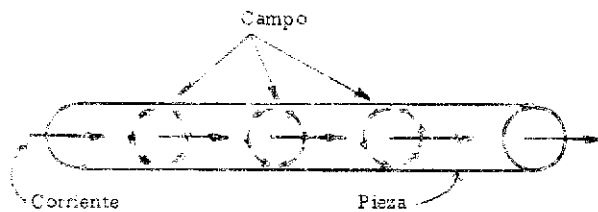


FIGURA 9.4. Campo en un conductor ferromagnético

Si hacemos fluir una corriente eléctrica a través de una sección de acero, el campo magnético producido será uniforme si la sección es también uniforme. Cuando hay un defecto o cambio agudo de sección, se produce el mismo "efecto de muesca" que en un imán permanente, se forman polos locales y un flujo magnético disperso fluye a través del defecto. Al verter material magnético finamente dividido sobre la superficie, las partículas que se encuentran cerca en las inmediaciones del defecto serán atraídas por los polos locales, tendiendo a concentrarse a través de la separación. Al remover el exceso de polvo magnético, los contornos del defecto, así como sus dimensiones y dirección serán definidos por el polvo remanente.

Para que los polvos magnéticos formen un patrón definido, el campo magnético debe estar orientado favorablemente. Los mejores resultados se obtienen cuando éste forma ángulo recto con la discontinuidad, o lo que es lo mismo, la discontinuidad es paralela al sentido de la corriente. Cuando el campo es paralelo al defecto, el patrón puede ser débil o estar ausente del todo.

## 7. TIPOS DE MAGNETIZACIÓN

- a) Magnetización longitudinal
- b) Magnetización circular completa
- c) Magnetización local

### a) Magnetización longitudinal

La pieza objeto de examen (ejes, vigas, etc.) se transforma en el núcleo de un electromagneto al colocarla dentro de un solenoide formado por un cable eléctrico flexible embobinado alrededor de la pieza. El campo magnético producido por el embobinado, fluye por la pieza estableciéndose dos polos en los extremos de esta. Serán detectables únicamente las grietas transversales. ( Fig. 9.5 )

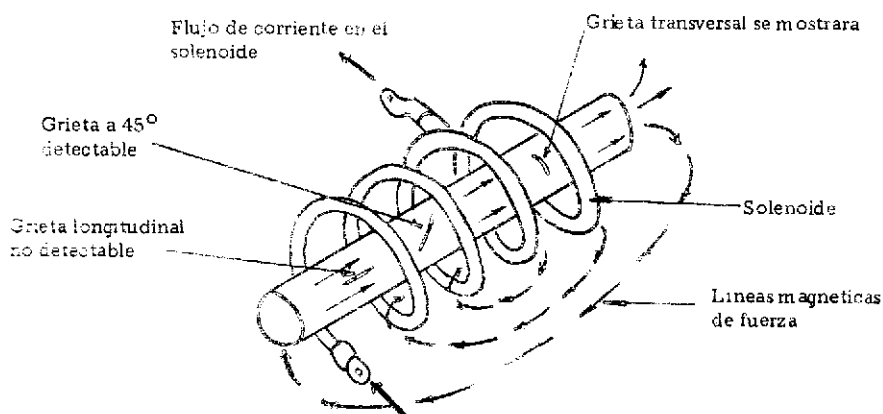


FIGURA 9.5. Magnetización longitudinal.

### b) Magnetización circular completa

En este caso la corriente eléctrica se hace pasar por la totalidad de la pieza misma, formándose un campo magnético circular en dirección perpendicular a dicha corriente. Este campo normalmente está contenido dentro de los contornos de la pieza, por lo que la sensibilidad es máxima para detectar defectos superficiales.

### c) Magnetización local

Es un tipo de magnetización circular utilizado en áreas reducidas, ante lo impráctico que resulta tratar de magnetizar piezas muy grandes como un todo. La magnetización local se hace pasando corrientes eléctricas por medio de terminales o grapas adheridas firmemente a la superficie objeto de prueba produciéndose un campo circular entre las terminales. El contacto se hace directamente sobre la soldadura y cuando una segunda inspección es necesaria, las terminales se colocan en ángulo recto a la posición anterior.

Se utilizan voltajes en circuito abierto de 2 a 6 voltios para evitar quemaduras, formación de arco y sobrecalentamientos (Fig. 96)

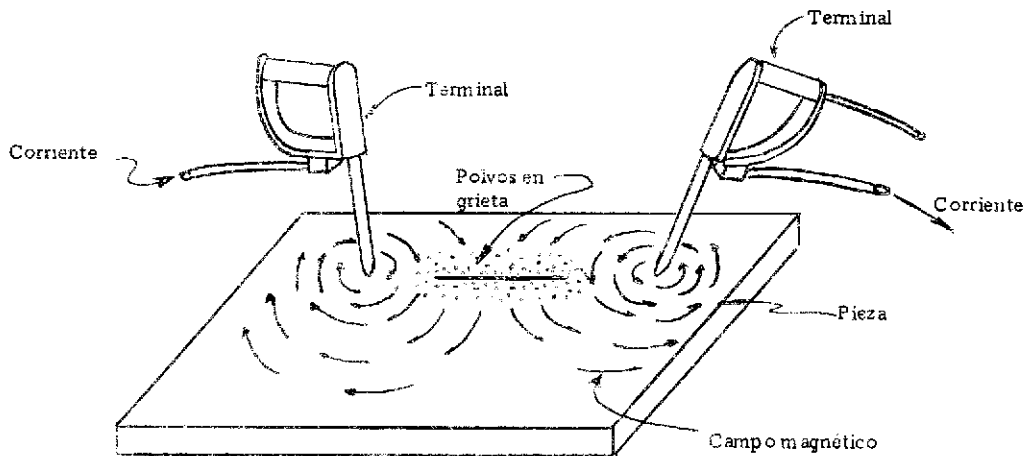


FIGURA 96. Magnetización local.

## 8. CORRIENTE MAGNETIZANTE

Las partes a ser inspeccionadas pueden ser magnetizadas con corriente alterna, directa y rectificada. Usualmente se utiliza corriente de alto amperaje y bajo voltaje.

### a) Corriente alterna

Únicamente la superficie del material es magnetizada por la corriente alterna. Se detectan grietas superficiales, no así discontinuidades más profundas o fusión incompleta.

**b) Corriente directa**

Permite la determinación de discontinuidades abajo de la superficie debido a la mayor penetración del campo que produce.

**c) Corriente rectificadora**

Corriente trifásica de onda completa rectificadora, da resultados similares a la corriente directa obtenida de baterías. La rectificación de corriente monofásica de media onda da máxima sensibilidad. Los picos pulsantes producen una mayor fuerza magnetizante.

**d) Cantidad de corriente magnetizante**

La corriente de magnetización debe determinarse de especificaciones o normas. Si estas no se encuentran disponibles puede determinarse por experiencias previas o por experimentación. Las corrientes excesivas deben evitarse pues producen falsos patrones. El voltaje no tiene efecto sobre los campos magnéticos.

## 9. METODOS DE ENSAYO

- a) Método continuo
- b) Método residual

**a) Método continuo**

Este método ofrece la máxima sensibilidad, ya que el medio de inspección (partículas magnéticas) se aplica cuando la corriente está fluyendo, siendo entonces cuando el campo magnético es más fuerte.

**b) Método residual**

El medio de inspección (partículas magnéticas) se aplica después que la corriente magnetizante ha cesado. La precisión y sensibilidad del método depende de la fuerza de los campos magnéticos residuales que permanecen después que la corriente se ha interrumpido.

## 10. MEDIO DE INSPECCION

Las partículas magnéticas pueden ser de varias formas y colores. El tipo de superficie y el tipo de defecto que se sospeche este presente determinarán el tipo de material seleccionado. Existen dos métodos de aplicación del medio de inspección, estos son:

- a) Método seco
- b) Método húmedo

### a) Método seco

El medio de inspección consiste en partículas ferromagnéticas finamente divididas, en forma de polvo seco y provistas de un revestimiento para darles mayor movilidad. Se espolvorean sobre el trabajo por medio de "ratones" o atomizadores. Las hay de diversos colores.

Este método es más fácil de usar en superficies ásperas. El polvo debe aplicarse a baja velocidad para facilitar la formación de indicadores (patrones). El exceso de polvo se remueve por medio de un chorro de aire.

Para mayor información sobre el Método seco, ver Norma ASTM E-109, "Método para Inspección con Partícula Magnética en Polvo Seco".

### b) Método húmedo

Se utiliza una suspensión de partículas magnéticas en un baño líquido de aceite o agua. Las partículas son de menor tamaño que las utilizadas en el método anterior, es por ello que el método húmedo es más sensible a los pequeños defectos superficiales, no así a los que se encuentran abajo de la superficie. Las partículas se obtienen en pasta o en forma concentrada seca y pueden ser de color rojo o negro.

El medio de inspección puede ser aplicado por atomización, por vertido, o la pieza a examinar puede ser sumergida en la suspensión.

La sensibilidad del método se puede incrementar utilizando partículas magnéticas revestidas con una tintura que sea fluorescente cuando se observa bajo luz ultravioleta. Puede usarse con ventaja para localizar discontinuidades en esquinas, ranuras, agujeros y lugares similares.

Especificaciones relativas al método se encuentran en la Norma ASTM E 138, "Método para Inspección con Partícula Magnética Húmeda".

## 11. DEMAGNETIZACION

La mayor parte de los montajes no requieren ser demagnetizados después de la inspección, pues los campos residuales no afectan sus propiedades mecánicas. Cuando estos campos magnéticos afectan operaciones posteriores de soldado deberán ser anulados. La demagnetización se logra introduciendo la pieza en una bobina con corriente alterna, y retirándola gradualmente. Se puede utilizar corriente directa reduciéndola gradualmente a cero con inversiones cíclicas.

## 12. REGISTROS

Los indicadores de defectos se pueden cubrir con cinta celulosa transparente adhesiva (tape), y así poder ser transferidos de las superficies de prueba a registros permanentes. Con un dibujo se indicará de qué parte de la estructura fue tomado el patrón, con esto tendremos información sobre la apariencia y localización de las discontinuidades. También es posible obtener un registro permanente por medio de

fotografías

### 13. INTERPRETACION DE PATRONES

Lo que distingue una discontinuidad de otra será la agudeza del contorno, ancho, alto de la acumulación de partículas magnéticas, etc.

#### a) Grietas superficiales

Los patrones formados por los polvos se hallan claramente definidos. Hay gran acumulación de estos polvos.

#### b) Discontinuidades internas

Los patrones formados por los polvos tienen apariencia vellosa

#### c) Grietas en cráteres

Forman patrones pequeños y ocurren en los puntos terminales de los cordones de soldadura

#### d) Fusión incompleta

Generalmente la acumulación de polvos será pronunciada y el borde de la soldadura se podrá apreciar. El patrón será más claro cuanto más cerca esté el defecto de la superficie

#### e) Socavación

Patrón similar al anterior, solamente que con una adherencia menor. La socavación puede detectarse a simple vista

#### f) Falta de penetración en la junta

Los patrones formados por los polvos son semejantes a los producidos por grietas internas

#### g) Porosidades

Falta de definición en los indicadores, ni son fuertes ni son pronunciados.

#### h) Inclusiones de escoria

Patrones similares a los provocados por presencia de porosidades aparecerán cuando se usa un fuerte campo magnetizante

#### i) Vetas

Los indicadores son rectos, claros, finos y a menudo intermitentes. El amontonamiento del polvo es menor.

## 14. FALSOS PATRONES

Se producen cuando algún factor provoca un cambio repentino en el campo magnético, con la consiguiente dispersión que hace que las partículas formen falsos patrones en la superficie sin existir grietas u otros defectos. Tales factores son:

- Contorno físico. Área delgada, cambio de sección, agujeros perforados.
- Cambio en las propiedades magnéticas. Pueden presentarse al borde de la zona afectada por el calor.
- Metal base magnético soldado con metal de aportación no magnético (austenítico).
- Materiales con propiedades magnéticas diferentes

## 15. EVALUACION

La inspección con partícula magnética permitirá determinar la sanidad de las soldaduras o la presencia de discontinuidades. La evaluación de estas últimas nos dirá si la soldadura será aceptable, reparable o rechazable de plano. La evaluación debe hacerse según las normas o especificaciones establecidas. En los casos dudosos, la aceptación o rechazo debe hacerse con vistas hacia la seguridad. En áreas de alta concentración de esfuerzos, la más ligera discontinuidad debe ser inaceptable. Todas las discontinuidades tipo grieta, especialmente las que ocurren en la superficie pueden considerarse como potenciales incrementadores de esfuerzos. Grietas de servicio o por fatiga pueden desarrollarse a partir de estos defectos, o pueden transformarse en focos de corrosión.

En regiones menos esforzadas, una imperfección mayor podría ser aceptada con mayor margen de seguridad. No se debe objetar todas las discontinuidades encontradas en los bordes de las planchas. Se deberán eliminar aquellas que afecten la soldabilidad de las planchas, o la habilidad del material a tomar cargas de diseño asumidas bajo condiciones de servicio.

Cuando no se tenga seguridad sobre el significado de algunos patrones indicadores de discontinuidades internas, estos puntos deberán ser investigados por inspección radiográfica, seccionado o cincelado del material.

## 16. REPARACIONES

La inspección con partícula magnética se puede aplicar a trabajos de reparación de partes nuevas, y partes que han desarrollado grietas de servicio.

Todos aquellos defectos no tolerados por las normas, que han sido detectados por cualquiera de los métodos de inspección, se deben eliminar por medio de cincelado, ranurado o esmerilado. Es necesario examinar la cavidad dejada para asegurarse que la discontinuidad ha sido erradicada, antes de proceder a efectuar la reparación por medio de soldadura. Esta soldadura y el metal base adyacente se chequearán para verificar que no se han desarrollado grietas u otro tipo de discontinuidades. Se utilizan



los mismos metodos de inspección para revisar el trabajo de reparación.

### C. INSPECCION CON LIQUIDOS PENETRANTES

Este método de ensayo esta basado en la habilidad que poseen cierto tipo de líquidos de penetrar en cavidades y rendijas por efecto capilar, y de permanecer allí cuando el exceso de liquido es removido. Unicamente son detectables aquellas discontinuidades que alcanzan la superficie del metal. Primero el fluido penetrante es atraído hacia la discontinuidad que se encuentra abierta a la superficie. Después que el exceso de liquido es limpiado, se aplica un agente revelador. Una segunda acción capilar toma lugar cuando el penetrante se mueve de la discontinuidad a los espacios entre las partículas del polvo revelador.

#### 1. TECNICA

En los ensayos con líquidos penetrantes es indispensable seguir un procedimiento aprobado. El procedimiento puede ser descrito en siete pasos básicos:

1. Limpiar la superficie a ser inspeccionada
2. Aplicar el penetrante
3. Permitir suficiente tiempo de contacto al penetrante
4. Remover el exceso de penetrante
5. Aplicar revelador para indicar penetrante retenido
6. Examinar
7. Limpieza final

La técnica para este tipo de inspección depende de la limpieza de la superficie para que el penetrante moje el metal. Tiempo suficiente debe ser permitido para que el penetrante pueda fluir dentro de la grieta superficial. Así mismo, al usar el revelador se debe dar el tiempo necesario para que el liquido suba de la grieta a la superficie.

Existen dos metodos básicos de aplicar el ensayo con líquidos penetrantes. Un metodo usa una tinte fluorescente en el penetrante, la cual es fácilmente visible con luz ultravioleta. El otro metodo utiliza una tinte de color rojo vivo en el penetrante. Se observa con facilidad con luz normal, especialmente cuando se usa un revelador blanco.

#### 2. METODO DE PENETRANTE FLUORESCENTE - TIPO A

Los penetrantes fluorescentes pueden ser de dos tipos:

- a) Penetrantes de lavado directo. Se pueden lavar directamente con agua para remover el exceso.
- b) Penetrantes de emulsificación posterior. Se pueden lavar después de aplicar a la superficie del penetrante una sustancia emulsificante.

Los reveladores pueden presentarse en dos formas:

- a) Reveladores secos: polvos
- b) Reveladores húmedos; pueden ser suspensiones en agua (acuosos), o suspensiones en líquidos volátiles (no acuosos).

Tienen por objeto extraer al líquido penetrante de la discontinuidad y hacerlo visible bajo la excitación con luz negra

La luz negra es luz cercana a la ultravioleta, ya fuera del espectro visible. Lámparas que emitan radiaciones con longitud de onda de 3650 angstroms se consideran adecuadas.

El procedimiento de ensayo a seguir es el siguiente

**a) Limpieza inicial**

Materiales extraños como grasa, aceite, escoria, pintura, deben ser removidos de la superficie que se va a examinar. La limpieza puede realizarse con hidrocarburos clorinados, destilados de petróleo volátiles, acetona o productos especiales preparados por los fabricantes de materiales de inspección

**b) Aplicación del penetrante**

Cuando el área a inspeccionar está seca se aplica el penetrante. Puede hacerse por inmersión, con brocha o atomizador.

**c) Tiempo de contacto**

El tiempo de contacto debe ser suficiente para que el penetrante llene las discontinuidades. Puede ser de 10 a 20 minutos, dependiendo del material y el tipo de defecto.

**d) Remoción del exceso de penetrante**

Si el penetrante es del tipo de lavado directo, el exceso de este se elimina con un surtidor de agua. Con los penetrantes de emulsificación posterior, se debe aplicar un emulsificante para hacer al exceso de líquido penetrante removible. Se permite un tiempo de contacto al emulsificante, lavándose luego con agua la parte examinada. El área debe ser observada con luz negra para asegurarse que la remoción del exceso de penetrante ha sido efectiva.

**e) Aplicación del revelador**

Después de haber lavado el exceso de penetrante, un revelador húmedo (suspensión de polvo en agua) se aplica a la superficie por medio de una brocha o "spray". Luego se seca con una corriente de aire suave. Deben evitarse los charcos de revelador, pues al secarse dejan una capa gruesa que puede esconder las indicaciones muy finas.

Para utilizar un revelador seco en polvo, la superficie debe haber sido secada anteriormente. Igual debe hacerse cuando se usan reveladores húmedos no acuosos.

**f) Examen**

Suficiente tiempo debe dejarse pasar después que el revelador ha sido aplicado, para permitirle sacar al líquido penetrante de las discontinuidades. La pieza se examina con luz negra en un ambiente oscurecido o con luz muy tenue. Las indicaciones de discontinuidades luciran brillantes, con un contraste muy marcado con el fondo oscuro.

**g) Limpieza final**

Cuando sea requerido, después de completar la inspección el área se limpiará con solventes.

**3. METODO DE TINTURA PENETRANTE VISIBLE - TIPO B**

Esta técnica se basa en el uso de un penetrante líquido que contiene un tinte de color rojo vivo, el cual presenta un alto contraste con el fondo de un revelador blanco cuando se observa con luz normal.

Los penetrantes de tintura visible pueden ser de tres tipos, los dos primeros son semejantes a los mencionados anteriormente para el penetrante fluorescente:

- a) Penetrantes de lavado directo
- b) Penetrantes de emulsificación posterior
- c) Penetrantes no lavables. No son lavables con agua. Para removerlos se utilizan ciertos solventes.

El primer tipo es preferido porque un enjuague de agua puede remover el exceso de líquido penetrante de las discontinuidades.

El tipo de reveladores que se utiliza con este método es igual al utilizado con el método de penetrantes fluorescentes, siendo los reveladores húmedos no acuosos los que se usan más a menudo.

Los pasos del procedimiento de ensayo por el método de tintura penetrante visible son los siguientes:

**a) Limpieza inicial**

Las mismas observaciones del método con penetrante fluorescente son válidas.

**b) Aplicación del penetrante**

Puede hacerse en forma de "esprey", con brocha o por inmersión. Lo último se puede hacer cuando las piezas son pequeñas.

**c) Tiempo de contacto**

Debe dársele suficiente tiempo al penetrante para colmar las discontinuidades. Para mejores resultados, la parte a inspeccionar y el penetrante deben tener una temperatura entre 10°C y 38°C. No debe permitirse que se seque el penetrante en la superficie durante el tiempo de contacto.

**d) Remoción del exceso de penetrante**

Si se ha empleado penetrante de lavado directo, el exceso puede ser removido con un enjuague de agua. Cuando se utilizan penetrantes de emulsificación posterior, antes del lavado será indispensable aplicar el emulsificante sobre el penetrante. Para penetrantes removibles con solventes, es recomendable que la mayor parte del líquido penetrante se quite con un trapo limpio o papel humedecido con solvente, repitiendo el proceso de frotado hasta que no se mancha el trapo. El solvente puede ser tricloroetileno, percloroetileno, acetona o un destilado volátil de petróleo.

**e) Aplicación del revelador**

Cuando se aplica revelador seco en polvo, debe espolvorearse sobre la superficie después que ésta se ha secado. Si el revelador es una suspensión acuosa, la superficie se secará hasta después de su aplicación. También se debe secar antes la superficie si se utiliza revelador húmedo no acuoso.

**f) Examen**

Después que se ha secado el revelador, debe dársele tiempo (de 5 a 7 minutos) para que extraiga la tintura roja de las discontinuidades. Los defectos aparecen con marcas rojas brillantes sobre el fondo blanco del revelador.

**g) Limpieza final**

Al completarse la inspección el área puede ser limpiada con solventes.

**4. FALSOS INDICADORES**

Las depresiones agudas entre cordones o rizos en las soldaduras dificultan la limpieza y la remoción del exceso de líquido penetrante. Para evitar que estas imperfecciones sean causantes de falsos indicadores, deben ser eliminadas antes de efectuar el ensayo.

**5. EVALUACION**

La mayoría de las normas o especificaciones consideran las grietas como inaceptables. Estas se muestran como patrones lineales sólidos. Grietas muy cerradas presentan una serie de patrones adyacentes pequeños y alineados, que pueden reunirse si se da mayor tiempo de revelado. En general, al aumentar el tiempo de revelado aflorará del defecto más líquido penetrante, agrandándose el tamaño del patrón.

Algunas especificaciones piden que se utilice el método de inspección con líquidos penetrantes cuando se examinan materiales no ferrosos.

Ver Norma ASTM E-165, "Inspección con Líquidos Penetrantes", para mayor información sobre este método.

#### D. INSPECCION RADIOGRAFICA

La radiografía industrial es uno de los métodos de ensayo no destructivos para detectar la presencia y localización de cavidades y otras discontinuidades en materiales, las cuales representan un cambio en espesor o en densidad. Como medio de penetración, el método radiográfico emplea radiaciones electromagnéticas, ya sean rayos X o rayos gamma. Ciertas propiedades de estas radiaciones son importantes en su aplicación práctica al examen de materiales. Estas radiaciones son:

- Generadas a longitudes de onda de aproximadamente 0.01 a 10 unidades angstrom,
- capaces de penetrar la materia,
- absorbidas de manera diferencial por la materia,
- propagadas en línea recta,
- capaces de afectar una emulsión fotográfica sensible,
- capaces de hacer fluorescer algunas sustancias,
- capaces de ionizar gases,
- capaces de estimular o destruir la materia viva,
- invisibles,
- producidas como radiación secundaria en absorsores de rayos x.

Cuando un rayo de radiación se dirige normal a la superficie de una masa de sección gradualmente variable, tal como una cuña metálica, un gran porcentaje de la radiación incidente penetrará la parte delgada de la cuña y emergerá del otro lado. Conforme la sección de la cuña aumenta, ira disminuyendo la cantidad de radiación transmitida, hasta alcanzar un punto en que prácticamente toda la radiación incidente será absorbida. Si el espécimen examinado es de sección constante, toda la radiación emergente o transmitida será de igual intensidad. Sin embargo, si el espécimen contiene una cavidad, protuberancia, ranura, o un cambio similar en sección; o si continee un material de diferente composición o características de absorción diferentes a las del cuerpo, resultará una variación en la transmisión de la radiación de estos puntos. Es esta variación en la radiación emergente la que hace posible la detección de discontinuidades internas en los materiales.

Como la radiación es invisible, el efecto de la absorción diferencial causada por las discontinuidades en el material se ponen en evidencia por medio de una película fotográfica de doble emulsión. El resultado es una fotografía oscurecida llamada radiografía. Cuando ésta se obtiene de la utilización de rayos x se llama "EXOGRAFIA", y si proviene de rayos gamma recibe el nombre de "GAMMAGRAFIA". Existen otros métodos de medir, presentar o poner en evidencia la radiación emergente con fines de inspección no destructiva, éstos son: xeroradiografía, fluoroscopia, imagen electrónica de rayos x y detectores electrónicos. Sin embargo, el método más usado en el control de fabricación de estructuras soldadas es el que utiliza películas radiográficas.

La radiografía utiliza películas fotosensibles. Los rayos x y gamma tienen el mismo efecto en una emulsión fotosensible que la luz visible. Entre mayor es la intensidad de la radiación, mayor es la densidad obtenida en la película. La imagen de una cavidad dentro del espécimen aparecerá más oscura que el área adyacente, debido al mayor poder de penetración de la radiación en ese punto. La posición, o la profundidad de la cavidad o discontinuidad no tiene ningún efecto sobre la imagen resultante.

## **1. FUENTES RADIOGRAFICAS**

### **a) Rayos X**

Los rayos x son radiaciones electromagnéticas de corta longitud de onda. Son el resultado del choque de electrones acelerados contra un cuerpo sólido llamado blanco o ánodo. Se obtienen mediante el "tubo de Coolidge": el cátodo está formado por un filamento capaz de elevar su temperatura hasta un punto suficiente para que haya emisión de electrones. El metal del anticátodo es de peso atómico elevado, por ejemplo el volframio, ya que de este modo la energía de los rayos x es mayor que si se utilizan metales ligeros. Los rayos x resultantes son emitidos en una variedad de longitudes de onda, la mínima está determinada por el máximo voltaje aplicado a través del tubo. Entre mayor es el voltaje aplicado, mayor es la velocidad de los electrones, más corta es la longitud de onda generada y mayor es el poder de penetración de los rayos x.

La cantidad de radiación emitida por un tubo de rayos x está determinada por el número de electrones, o cantidad de corriente que fluye del cátodo al ánodo. El roentgen es una medida de la cantidad de radiación. Cuando se asocia a una unidad de tiempo constituye una medida de la intensidad de la radiación.

La radiación de rayos x es heterógena por estar compuesta por una mezcla de longitudes de onda. Al ser dirigidos hacia una masa, parte de la radiación primaria será absorbida en la parte superior del material. La porción absorbida está formada por rayos "suaves" de onda larga. Solamente un pequeño porcentaje de la radiación de onda corta es transmitida. Entre mayor es el voltaje del tubo de rayos x, mayor es el porcentaje de radiación transmitida. En general, entre mayor es el espesor del espécimen a ser radiografiado mayor es el voltaje requerido.

Cuando los rayos x encuentran materia emergen dos tipos básicos de radiación: radiación primaria y radiación secundaria o modificada.

La radiación primaria transmitida es la radiación que ha continuado en línea recta de la fuente primaria a través del material examinado sin ser desviada o absorbida. Esta es la componente de la radiación que es útil en el proceso de inspección y que es registrada y medida.

La radiación secundaria es radiación que ha sido cambiada o alterada por el mecanismo de absorción y difracción. La longitud de onda de la radiación modificada es variable, y aun cuando es extremadamente blanda y sin habilidad de penetración, un porcentaje apreciable emerge del material examinado y causa efectos indeseables. A bajos voltajes la radiación secundaria se desvía ampliamente de la dirección del rayo central primario. Se tienen menos dificultades con la radiación secundaria cuando se usa equipo en el rango de 1000 kvp y mayor.

El nivel de energía de las máquinas de rayos x se indica por el máximo voltaje aplicado para acelerar los electrones en el anticátodo del tubo, usualmente se expresa en kvp (kilovolt pico) o en megavoltios (millones de voltios). Las máquinas industriales van de 5 kilovoltios a 20 megavoltios. El nivel de energía en las máquinas de rayos x puede variarse y seleccionarse dentro de la capacidad normal del equipo.

#### b) Rayos gamma

Existen otras dos fuentes de radiación que son útiles en la inspección radiográfica. Ellas son el radio y los isótopos radioactivos. La radiación que emana de estas fuentes se caracteriza por su longitud de onda invariable y se conocen generalmente como rayos gamma.

Los rayos gamma son un tipo de radiación electromagnética que emiten ciertos núcleos atómicos al pasar de un estado de excitación a otro que lo está menos. Su naturaleza es idéntica a la de la luz y los rayos x, pero con un contenido energético enormemente superior; las frecuencias de los fotones que la componen son las más elevadas de las detectadas hasta hoy y su longitud de onda es extremadamente reducida. El poder de penetración de los rayos gamma es extraordinario, para detenerlos completamente debe anteponérseles un grueso bloque de plomo que, en algunos casos, ha de tener 22 cm de espesor.

El radio, que por naturaleza emite radiaciones gamma, ha sido de uso común por muchos años. Últimamente ha declinado su uso ante la disponibilidad de isótopos radioactivos artificiales.

Los isótopos son núcleos de un elemento con igual número de protones y diferente número de neutrones. Los isótopos radioactivos son núcleos inestables que se descomponen por emisión de partículas. Para la producción de rayos gamma se utilizan isótopos radioactivos artificiales, tales como cobalto 60, cesio 137, iridio 192 y tulio 170, ordenados según nivel de energía decreciente.

Todos los isótopos y fuentes de radio producen una radiación discreta continua de longitud de onda invariable. La razón de emisión de cada uno depende de su actividad específica y masa, y decrece continuamente en intensidad de acuerdo a razones de decrecimiento características.

Se entiende por actividad de una sustancia radiactiva el número de átomos de dicha sustancia que se desintegran por unidad de tiempo. La unidad utilizada para medir la actividad es el "curie", que corresponde a la actividad de una muestra en la que se producen 37.000 millones de desintegraciones por segundo.

La "intensidad característica" de un isótopo se define como el número de roentgens por hora por curie a la distancia de un metro de la fuente (r.h.m./curie). Con este valor conocido y el poder de la fuente en curies, permite calcular la intensidad de la radiación a cualquier distancia de la fuente.

Se denomina "período de semidesintegración" al tiempo necesario para que la cantidad de átomos supervivientes de una muestra radiactiva cualquiera se reduzca a la mitad de los átomos iniciales; o sea, será el tiempo que le tome a un isótopo reducir su actividad a la mitad de la que tenía al iniciar el período. El período es el mismo sin importar cuando se empieza a medir éste. La curva de desintegración del isótopo cuando se traza en papel semilogarítmico (actividad de la fuente en la escala semilogarítmica y el tiempo en la aritmética) es una línea recta.

El nivel de energía para isótopos se expresa en equivalentes de voltaje, generalmente en millones de voltios electrónicos (MVE). Los isótopos pueden tener varios niveles de energía. La diferencia básica entre los rayos x y los rayos gamma la constituye únicamente la longitud de onda, ésta depende del nivel de energía que la produce con los isótopos el nivel de energía, aunque múltiple, es fijo y no se puede variar.

La radiación gamma tiene las mismas propiedades generales que los rayos x, y puede usarse indistintamente siempre que la longitud de onda y la actividad específica de la fuente sea adecuada para el fin deseado.

### 3. SENSITIVIDAD RADIOGRAFICA

Es una medida expresada en porcentaje del cambio mínimo en espesor del material que la imagen radiográfica es capaz de poner en evidencia. La práctica normal requiere que las radiografías muestren evidencia de una sensibilidad mínima del 2%. Es decir, por ejemplo, que si una plancha de una pulgada de espesor es radiografiada, cualquier incremento o disminución de sección igual o mayor que 0.02" debe ser visible en la película.

Para comprobar si el requerimiento de sensibilidad se ha cumplido, se coloca sobre el espécimen y del lado de la fuente, una delgada tira de metal que tiene un espesor igual al 2% de la sección examinada. Si la imagen de la tira, llamada "penetrámetro" (Fig.9.7), se proyecta a través del espécimen y queda registrada en la película, los requerimientos de sensibilidad se han llenado. Los penetrámetros estándar tienen agujeros, generalmente tres, cuyos diámetros son iguales a dos, tres y cuatro veces el espesor del penetrámetro. Las imágenes de todos los agujeros deben ser visibles para satisfacer los requerimientos de buen detalle o resolución de la película resultante. Los penetrámetros deben hacerse de acero dulce.

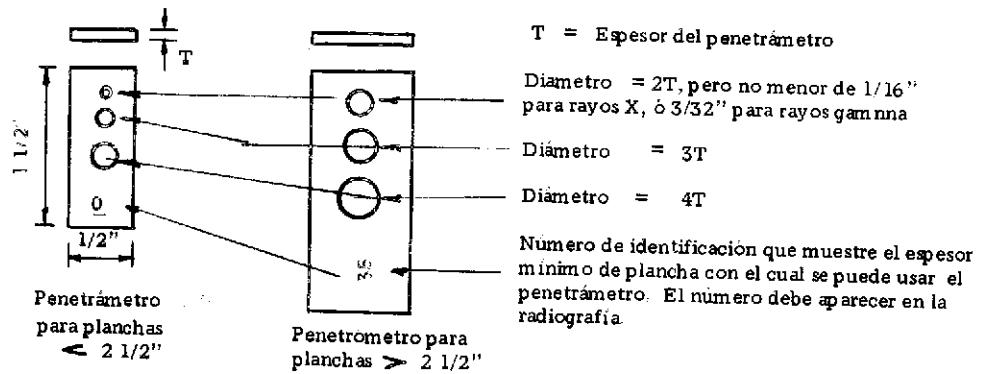


FIGURA 9.7. Diseño típico de penetrámetro.



#### 4. PANTALLAS

Las pantallas usuales son de dos tipos, pantallas fluorescentes y de lámina de plomo.

##### a) Pantallas fluorescentes

Se fabrican de tungstato de calcio depositado sobre un fondo de material delgado. El "cassette" radiográfico consiste en una película que se encuentra intercalada entre un par de estas pantallas. La cantidad de radiación que incide sobre las pantallas las hace brillar de una manera diferencial. La mayor parte de las películas expuestas a rayos x se hacen de esta luz emitida.

##### b) Pantallas de lámina de plomo

La película se encuentra intercalada entre dos de estas pantallas formando el "cassette" radiográfico. Las pantallas tienen dos propósitos:

- Actuar como intensificadores que ayudan a la producción de la radiografía, debido a que la radiación primaria las hace emitir electrones.
- Actuar como filtros absorbentes de la radiación secundaria que tiende a velar la película.

##### c) Comparación entre ambos tipos de pantallas

Las pantallas fluorescentes pueden emplearse en la inspección de materiales más gruesos que los que se pueden examinar con pantallas de lámina de plomo; dan a la película mayor contraste, reduciéndose con ello el rango de grosores que es posible interpretar con una sola película. Con pantallas fluorescentes se obtiene menor agudeza de imagen que con las pantallas de lámina de plomo. En general, se prefieren las pantallas de lámina de plomo por producir películas de mejor calidad.

Cuando se usa la técnica de pantallas debe asegurarse que las pantallas estén en estrecho contacto con la película durante la exposición para lograr buena definición de la imagen. También debe verificarse que las pantallas estén libres de manchas u otros materiales extraños que puedan dar lugar a falsas interpretaciones al estudiar la película.

Cuando se trata de radiografías de secciones metálicas delgadas, o secciones gruesas de materiales livianos, se realizan sin el uso de pantallas.

#### 5. TECNICA CON PELICULAS MULTIPLES

La técnica de película múltiple utiliza un "cassette" con dos películas, a veces tres, con pantallas de lámina de plomo colocadas al frente y atrás de las películas, ocasionalmente también entre ellas.

Cuando las películas son de la misma velocidad, las secciones más delgadas se leen en una película, y las secciones más gruesas superponiendo una película sobre la otra. Cuando las películas son de diferentes velocidades, las secciones más delgadas se leen en las películas lentas, y las más gruesas en

las rápidas. Por superposición se incrementa el intervalo de espesores legibles.

La técnica de película múltiple se utiliza cuando:

- Se requiere mas de una radiografía de registro.
- A través de la junta hay considerable diferencia en el espesor del material, o en la radiografía de soldaduras de filete.
- Se desea verificar inspecciones muy críticas.

## 6. DETERMINACION DE LA PROFUNDIDAD DE LOS DEFECTOS

La profundidad de localización de los defectos se puede determinar por la técnica de doble exposición en película simple: después de localizar la discontinuidad en una película por simple exposición, se mueve la fuente una corta distancia y se hace una doble exposición de la misma área. Se coloca una marca de plomo en la superficie del espécimen, del lado de la fuente, y así mismo otra del lado de la película. Al efectuar la doble exposición la imagen de la marca superficial se desplaza una distancia "a" y la imagen del defecto una distancia menor "b". La profundidad del defecto se encuentra por la relación  $b/a$  por el espesor de la plancha.

La marca del lado de la película se moverá muy poco si el "cassette" no se encuentra en estrecho contacto con el espécimen. Cuando no se puede lograr este contacto, debe hacerse una concesión por medio del desplazamiento de la marca, si la distancia de la película al espécimen no se conoce.

Cálculos similares se hacen sin el uso de marcas de plomo. Se debe conocer la distancia que la fuente es desplazada para la doble exposición y la distancia de la fuente a la película.

## 7. DISCONTINUIDADES DETECTABLES

### a) Grietas

Las grietas son discontinuidades en material previamente íntegro que se ha partido debido a concentraciones de esfuerzos. Entre todas las discontinuidades, las grietas se consideran las más serias ya que en condiciones de servicio tienden a abrirse más.

En las radiografías, las grietas aparecen como líneas delgadas oscuras. La imagen de las grietas se distingue de la producida por falta de fusión o de penetración porque usualmente se presenta como una línea ondulada en las radiografías. Para que las radiografías detecten con mayor certeza las grietas, el plano que las contiene debe ser paralelo a la radiación de la fuente. Grietas que se han producido en el primer pase de soldadura pueden no ser detectadas después de los pases subsiguientes, debido a la pérdida de contraste provocada por el material adicional. Cualquier indicación que pueda estar asociada con una grieta debe tratarse con suspicacia e investigar más ampliamente.

La radiografía no es un medio confiable para la detección de imperfecciones muy finas que se

origen en la superficie de la soldadura o de las planchas (Fig. 9.8).

**b) Porosidades**

La porosidad es un tipo de discontinuidad causada por la presencia de gas atrapado en el interior de la soldadura, pueden ser vacíos de forma esférica o cavidades cilíndricas. Ocurren usualmente al centro de la costura. En las radiografías aparecen con manchas oscuras redondas de diversos tamaños (Fig. 9.9).

**c) Inclusiones de escoria**

Este tipo de discontinuidad consiste en escoria atrapada en el interior de la soldadura durante el proceso de soldado. Es más común en la soldadura de pases múltiples. Se debe a condiciones impropias durante el soldado, o limpieza insuficiente entre pases. En la radiografía aparece como manchas oscuras y gruesas de contorno irregular (Fig. 9.10).

**d) Fusión incompleta**

Se refiere al tipo de defecto causado por falta de liga entre el metal fundido y el metal base o el metal de soldadura previamente depositado. Las indicaciones en las radiografías son similares a las trazas de escoria, a menudo resulta imposible hacer la distinción entre ambas. Cuando la radiación es paralela a la discontinuidad, la fusión incompleta tiene en la radiografía la apariencia de una grieta (Fig. 9.11).

**e) Falta de penetración en la junta**

La falta de penetración significa que la unión no fue fundida en todo su espesor. Ocurre comúnmente en juntas a tope soldadas de ambos lados, cuando el pase de raíz al soldar el segundo lado no llega a fundir al pase inicial del primer lado. También se presenta en soldaduras de filete cuando el cordón inicial no funde la raíz de la junta entre las dos planchas. En las radiografías de soldaduras a tope se identifica por una línea recta oscura, bien definida, que corre por el centro del cordón (Fig. 9.12).

**f) Socavación**

La socavación se presenta en la superficie a lo largo del borde del cordón de soldadura, cuando el metal de base se funde y la depresión resultante no es llenada por el metal de aporte. Aparece como una imagen lineal oscura en las radiografías. La severidad de la socavación, por presentarse en la superficie y ser visible a simple vista, se puede determinar con mayor certeza por inspección visual. Sin embargo, por la naturaleza de este defecto, la radiografía da una mejor indicación de su profundidad y longitud.

En juntas donde se ha usado respaldo puede presentarse un efecto similar a la socavación: parte del metal base contiguo al respaldo se funde y el vacío no es llenado por el metal de soldadura.

## 8. FALSOS INDICADORES

Ciertos indicadores que pueden aparecer en las radiografías son falsos y no deben ser interpretados como defectos o discontinuidades en la pieza examinada. Pueden ser causados durante la exposición, por manipuleo impropio, o durante el revelado de la película. Las principales causas son:

- Pantallas sucias o rayadas mostrarán estas imperfecciones como parte de la imagen.
- Descargas electrostáticas durante el manipuleo de la película la expondrán a luz, dando líneas negras agudas fácilmente reconocibles.
- Si la película antes de ser procesada está expuesta a presiones localizadas, aparecerán "marcas de presión" en ella al ser revelada.
- Varios tipos de defectos de procesado pueden ocurrir, tales como: manchas coloreadas o ampollas, vetas, veladuras, marcas de agua, marcas de dedos, rayones.

Se debe aprender a reconocer y evaluar los falsos indicadores en las radiografías, en relación a su influencia en la interpretación de éstas.

## 9. CALIFICACIONES

Un procedimiento o técnica adecuada debe ser desarrollada para adecuar el proceso de inspección a cada situación, para lograr que la radiografía obtenida tenga las cualidades necesarias de sensibilidad, agudeza de detalle, y precisión en la proyección de la imagen.

Se suelen efectuar dos tipos de calificaciones antes de proceder a realizar la inspección radiográfica, éstas son:

### a) Calificación del procedimiento radiográfico

La institución u oficina encargada de la calificación, hace radiografías patrón de ciertos especímenes preparados, llevando un registro de todos los detalles del procedimiento de exposición que se han llevado a cabo. Si estos patrones se juzgan adecuados y llenan especificaciones, se usan técnicas similares para realizar los ensayos radiográficos.

Algunos códigos y especificaciones consideran que cumpliendo los requerimientos establecidos respecto a penetrámetros es suficiente para calificar el procedimiento.

### b) Calificación del personal

Los requerimientos de calificación del personal radiográfico (operadores, inspectores, supervisores), consiste en un examen formal, además de cierta experiencia práctica mínima y/o educación. Los requerimientos serán diferentes según se trate de un operador, de un inspector o de un supervisor.



FIGURA 9.8. Grieta longitudinal en la zona de fusión.

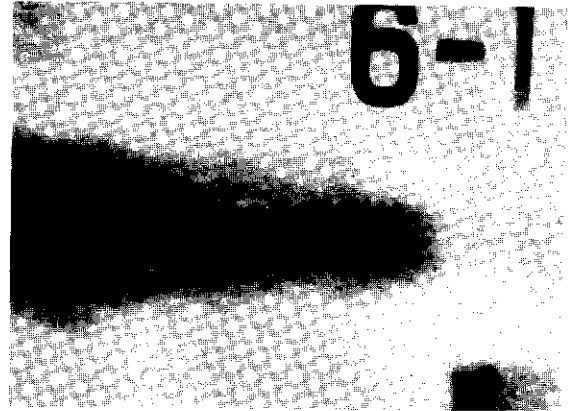


FIGURA 9.11. Fusión incompleta en la interfase de la soldadura.

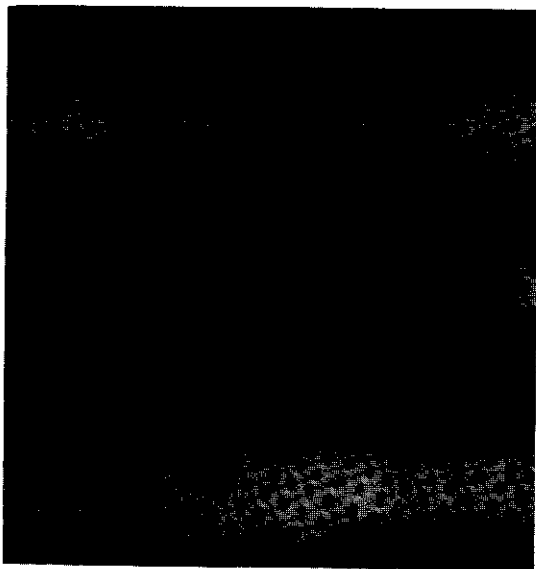


FIGURA 9.9. Porosidades.

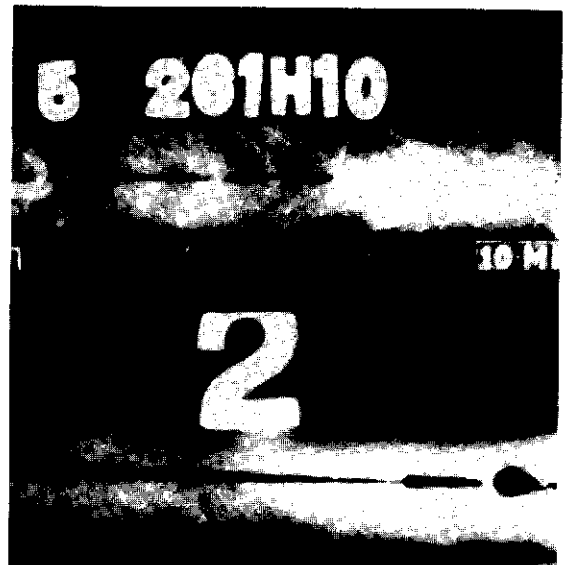


FIGURA 9.12. Falta de penetración en la junta.

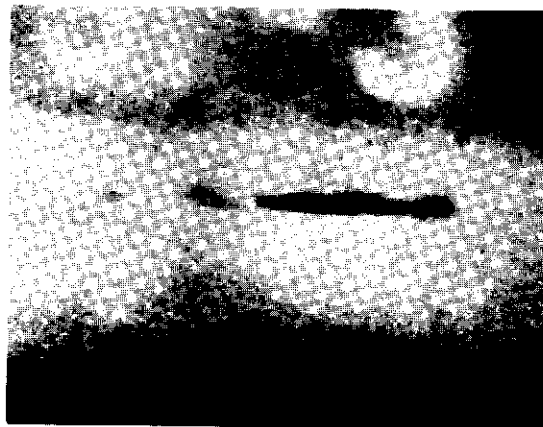


FIGURA 9.10. Inclusión de escoria.

## 10. NORMAS DE ACEPTACION

Respecto a su evaluación, las radiografías se pueden agrupar en: irreprochablemente aceptables, claramente rechazables e intermedias. Estas últimas son las más difíciles de calificar, ya que por no ser tan obvias dan lugar a diferencias de opinión. Existen juegos de radiografías de referencia (1), que se usan para entrenamiento y con fines de comparación. Para realizar mejor su trabajo, el inspector debe tener a la mano un juego de tales radiografías.

Dentro de las especificaciones generales del S.W.C. (Codigo de Soldadura Estructural) de la AWS, usadas para el control de fabricación de estructuras electrosoldadas (exceptuando recipientes y tubería a presión), se encuentran normas de aceptación aplicables al procedimiento de inspección radiográfica. Normas complementarias más restrictivas o especiales pueden ser requeridas para un proyecto determinado, las cuales deberán ser adicionadas a las especificaciones particulares del proyecto. Las normas de aceptación pueden estar en forma de descripciones escritas, curvas, gráficas o una combinación de éstas.

La radiografía se usa como complemento de la inspección visual de soldaduras de juntas a tope. Con excepción de algunos casos especiales, nunca se usa para inspeccionar soldaduras de filete. Procedimientos normales piden que un 80% de todas las soldaduras a tope diseñadas para resistir esfuerzos primarios de tensión, y un 25% de las diseñadas para tomar esfuerzos primarios de compresión sean radiografiadas. Algunas especificaciones piden radiografía parcial o "puntual". Los puntos a ser radiografiados se seleccionan por su localización crítica, al azar o bajo una base porcentual.

### E. INSPECCION ULTRASONICA

En general, la inspección ultrasonica se aplica a la inspección de metales con tres fines:

- a) Localizar discontinuidades internas o superficiales y áreas no homogéneas en los materiales.
- b) Determinar diferencias en estructura y propiedades físicas.
- c) Medir el espesor de metales desde un lado.

La inspección ultrasonica de juntas electrosoldadas permite detectar, localizar, identificar y medir los defectos presentes en la soldadura. Ningun otro método de ensayo no destructivo permite detectar defectos alejados hasta 9 metros del punto donde se aplica la inspección. El ensayo utiliza como medio de penetración un rayo de ultrasonidos.

Los ultrasonidos son vibraciones mecánicas (ondas vibratorias de partículas) de baja energía y alta frecuencia, similares a las ondas sonoras, pero más allá del límite de la audición humana. Estas ondas son atenuadas rápidamente en el aire y gases, viajando mejor en la mayoría de los líquidos y sólidos.

(1) A.S.T.M., Designación E 99 "Radiografías de Referencia".  
"Colección de Radiografías de Referencia de Acero" del IIW (Instituto Internacional de Soldadura).

Para la inspección, un corto estallido de energía acústica es transmitido en forma de un rayo bien definido, similar en muchos aspectos al rayo de luz de una linterna, al espécimen objeto de examen, y se reciben los ecos transmitidos por los límites reflejantes en el material. Estos límites reflejantes pueden ser, ya bien los límites físicos del material o una discontinuidad. El análisis del tiempo y la amplitud de los ecos de la información necesaria para la evaluación de la soldadura.

## **1. CARACTERISTICAS DE LAS VIBRACIONES ULTRASONICAS**

- a) Tienen la habilidad de recorrer grandes distancias dentro de los materiales.
- b) Viajan en rayos bien definidos
- c) Cambian de modo de vibración, bajo ciertas condiciones, cuando pasan entre materiales que tienen diferentes propiedades elásticas y físicas, o cuando se reflejan en los límites del material.

## **2. GENERACION DE VIBRACIONES ULTRASONICAS**

Transductores piezo eléctricos son los medios más prácticos de generar vibraciones ultrasónicas en materiales y detectar la parte transmitida o reflejada del rayo. La mayoría de los transductores consisten en un pequeño elemento piezoeléctrico, que tiene la propiedad de transformar las vibraciones eléctricas generadas por el instrumento de prueba, en vibraciones mecánicas o ultrasonidos, y viceversa. Se usan generalmente cristales de cuarzo que se montan en un material aislante con contactos eléctricos adecuados para conectar el circuito eléctrico a través de cables coaxiales. El bloque sólido de altas propiedades de amortiguamiento, donde se encuentran montados los elementos, tiene dos funciones: dar soporte al transductor, y amortiguar las vibraciones del transductor que crean un pulso acústico de corta duración. También se usan otros cristales naturales o manufacturados como elementos piezoeléctricos. Sulfato de litio y cerámicas polarizables, como titanato de bario, son ejemplos típicos.

La frecuencia de las ondas de sonido utilizadas en la inspección de soldaduras es del orden de la 10 MHz. La mayoría de los ensayos emplea una frecuencia de 2.25 MHz.

## **3. PROPIEDADES DE LAS VIBRACIONES ULTRASONICAS**

Hay muchas formas de ondas y modos de vibración ultrasónica que pueden propagarse a través de los metales. Las más importantes son:

- a) Ondas longitudinales (de compresión) con partículas vibrando en la dirección de la propagación. Similares a las ondas sonoras audibles, que son también de carácter compresional.
- b) Ondas transversales (de corte) con movimiento de partículas en la dirección perpendicular a la dirección de la propagación.
- c) Ondas superficiales (de Rayleigh) que se propagan en la superficie. El movimiento de las partículas es una composición de las compresionales y las de corte.

- d) Ondas placa (de Lamb) se propagarán en láminas delgadas de metal o planchas cuando su espesor es del orden de una longitud de onda (onda de Lamb) o menor.

Las características comunes de estos tipos de ondas son que se propagan en un rayo bien definido a través de materiales homogéneos, y son reflejados cuando en su camino encuentran una discontinuidad, o los límites externos del material.

La velocidad de las vibraciones ultrasonicas en los metales depende de la densidad del material y de sus propiedades dinámico-elásticas. Al igual que en los otros tipos de movimientos ondulatorios, la velocidad es igual al producto de la frecuencia y la longitud de onda ( $V = f \times \lambda$ ).

Con frecuencias arriba de 0.5 MHz, las longitudes de onda de estas vibraciones mecánicas son relativamente cortas, y se transmiten en un rayo estrecho a través del material homogéneo, si el transductor generador tiene áreas radiantes con dimensiones iguales a varias longitudes de onda.

Reflexiones de las vibraciones ultrasonicas ocurren en la interfase de dos materiales diferentes. Esta reflexión está gobernada por la impedancia acústica específica de cada material, la cual es igual al producto de la densidad del material y la velocidad de la vibración ultrasonica en el mismo. Esta impedancia acústica permite calcular la relación entre la energía reflejada y la energía incidente en la interfase (Tabla 9A)

INTERFASE	RELACION
Metal-aire	1.00
Líquido aire	1.00
Acero-agua	0.88
Acero-aceite	0.88
Plástico acero	0.75
Acero mercurio	0.18
Plástico-agua	0.12

TABLA 9 4 Relación de energía reflejada a energía incidente normal a la interfase para ondas longitudinales.

Si una pulsación, o un rayo continuo de vibraciones ultrasonicas se envía hacia adentro de un metal homogéneo, el 100% de la energía vibracional que llega al otro lado del material con un ángulo normal a la superficie, será reflejado en la interfase metal-aire. Cuando dos materiales distintos se hallan ligados, la cantidad de sonido reflejada depende de las propiedades acústicas de éstos. Materiales con propiedades acústicas similares, tal como un recubrimiento de acero inoxidable sobre hierro dulce, producen pocas reflexiones. Conforme aumenta la diferencia en propiedades acústicas, se incrementan los ecos; por ejemplo, la presencia de inclusiones de escoria en la soldadura puede dar reflejos del orden del 25% del rayo sonoro incidente. En general, la interfase en los límites de una discontinuidad mecánica o física en el metal refleja parte del rayo, dando así un medio de localización de defectos. Así mismo es posible determinar la distancia a la superficie reflectora.



#### 4. REFRACCION Y CONVERSION MODAL

La refracción y conversión modal de un rayo ultrasónico cuando pasa en ángulo de un material a otro, es comparable a la refracción de los rayos luminosos cuando pasan de un medio a otro. La reflexión a un cierto ángulo con la interfase causa también una conversión modal del rayo ultrasónico (Fig. 9.13).

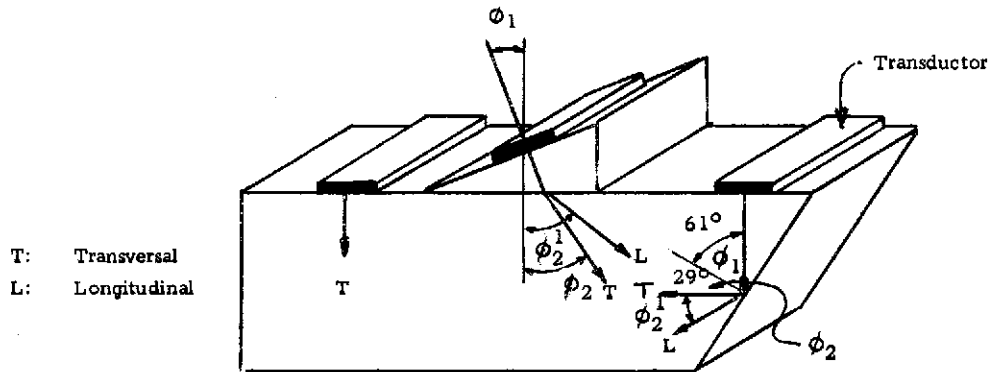


FIGURA 9.13 Refracción y conversión modal.

La unidad rastreadora usualmente utilizada para introducir un rayo ultrasónico en ángulo dentro del metal a inspeccionar, consiste en una cuña plástica sobre la cual se monta el transductor (Fig. 7.14). Si las velocidades en el material de la cuña y en el metal son diferentes, las vibraciones longitudinales son refractadas al pasar al metal. Bajo ciertos ángulos, y siempre que la relación de velocidades sea sustancialmente mayor que uno, ocurre una conversión a otros modos de vibración, tales como ondas superficiales y transversales.

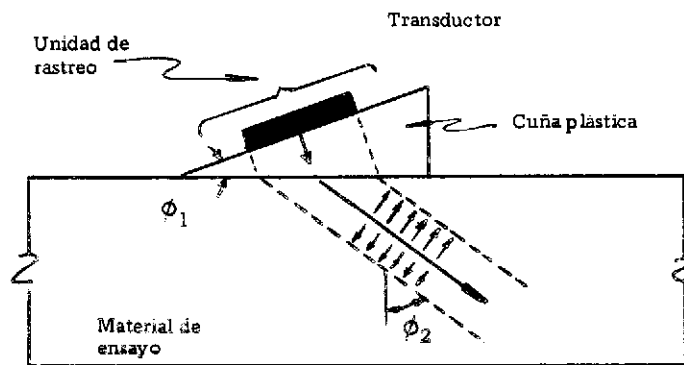


FIGURA 9.14. Cuña plástica que por conversión y refracción de las ondas longitudinales genera ondas transversales.

Cuando el ángulo de la cuña es menor que 27 grados, tanto ondas longitudinales como transversales se encuentran presentes en el acero, pero a diferentes ángulos. Esto causa frecuentemente confusiones a menos que el ángulo de la cuña se escoja para que predomine uno de los modos; por esta razón, las unidades rastreadoras angulares comerciales son diseñadas para generar vibraciones transversales en la mayoría de los metales con ángulos ( $\theta_2$ ) de 35 a 75 grados y ondas superficiales a 90 grados en la superficie. La selección de una frecuencia adecuada de inspección para lograr la sensibilidad deseada, debe tomar en cuenta que la velocidad ultrasonica de transmisión en un material dado determina la longitud de onda.

La sensibilidad de ensayo varía inversamente con la profundidad en el material y con la longitud de onda. Las longitudes de onda de las ondas transversales y superficiales son más cortas que las de las ondas longitudinales a una frecuencia dada. De allí que para obtener sensibilidad equivalente a una onda longitudinal, una frecuencia más baja puede ser usada para ondas transversales o superficiales.

## 5. ONDAS SUPERFICIALES

La forma más práctica de generar las ondas superficiales es por medio de una cuña plástica con un ángulo tal que haga al rayo refractado producir ondas superficiales a lo largo del metal inspeccionado.

Ángulo $\theta_1$	Ángulo $\theta_2$			
Ángulo Cuña	Ángulos de transmisión para acero			
	Longitudinal	Transversal	Superficial	Modo útil
0°	0-35	0-18	ninguna	longitudinal
27°	35-90	18-33	ninguna	ambas
45°	ninguna	33-90	ninguna	transversal
90°	ninguna	ninguna	90	superficial

Tabla 9 B. Ángulo de refracción y cambio de modo de vibración en el acero usando una cuña plástica.

Bajo condiciones normales, la penetración de la onda superficial bajo la superficie es del orden de 1 a 2 veces la longitud de onda de la frecuencia de ensayo en el metal bajo inspección. El rayo es altamente direccional y su atenuación es mucho menor que la experimentada con las ondas longitudinales o transversales en el mismo material. Las superficies deben ser suaves y estar limpias para la inspección satisfactoria de pequeñas grietas superficiales o discontinuidades ligeramente abajo de la superficie.

## 6. EQUIPO DE ENSAYO

El equipo usado para inspección ultrasonica consiste en elementos electrónicos capaces de generar, recibir y exhibir señales electrónicas, y un transductor para convertir la energía eléctrica en

vibraciones mecánicas. El instrumento ayuda a detectar, localizar, identificar y medir límites; tanto los geométricos del ensamble, como aquellos introducidos en el material por defectos internos.

Los componentes fundamentales del equipo ultrasónico se muestran en la figura 9.15. El reloj actúa como un circuito sincronizador básico para activar a varios otros elementos. Una señal del reloj dispara el pulsador, el cual a la vez envía al transductor una corta señal de alto voltaje. El transductor, que se encuentra acoplado a la pieza examinada a través de una delgada película de líquido acoplador, convierte la señal eléctrica en vibraciones mecánicas o ultrasonidos. El sonido se propaga a través del material ensayado a una velocidad constante. El sonido refleja en los diversos límites y regresa al transductor después de un corto periodo. El transductor convierte las vibraciones mecánicas en una señal eléctrica, la cual se pasa a un receptor amplificador. Finalmente la señal amplificada se presenta en una pantalla de rayos catódicos en forma de una deflexión vertical (pico). Al mismo tiempo el circuito del reloj inicia el circuito barredor del osciloscopio, provocándose así una deflexión horizontal en la pantalla que es proporcional al tiempo o a la distancia.

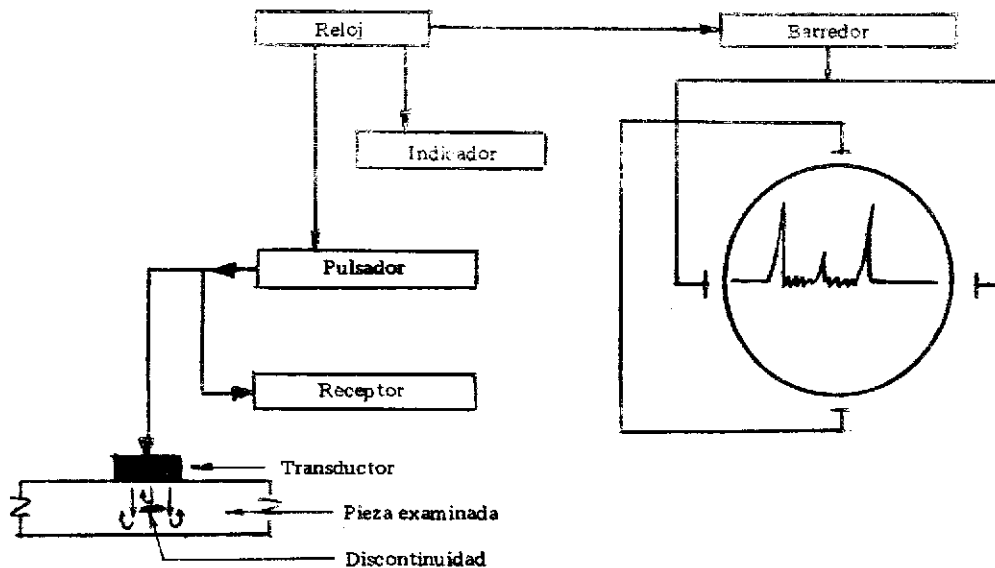


FIGURA 9.15. Diagrama de bloques de un detector de defectos del tipo pulso-eco.

La imagen que se muestra en la pantalla caracteriza la información del ensayo (Fig.9.16). La deflexión horizontal (distancia entre picos) es proporcional al tiempo e indica la posición relativa de los límites o superficies reflejantes (grietas, inclusiones, etc.). La amplitud de la deflexión vertical es proporcional a la intensidad del sonido reflejado. La diferencia de altura en los picos representa diferencias en la superficie reflejante. Una disminución en la transmisión causada por la intercepción parcial del rayo por una discontinuidad hace aparecer en la pantalla un pico más pequeño.

Aparte del uso de pantallas de rayos catódicos para la presentación de los picos, existen otros medios de poner en evidencia los resultados del ensayo: registradores de cinta móvil que por medio de un estilo o pluma efectúan el trazo correspondiente a deflexiones verticales (picos) y horizontales. Tienen la ventaja de que es posible guardar un record permanente de los resultados de cada examen.

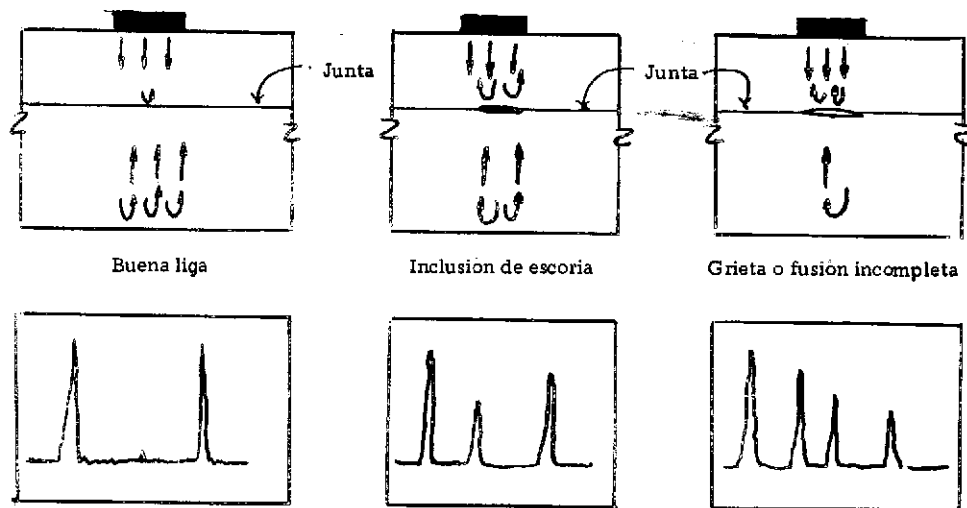


FIGURA 9.16. Variaciones en los reflejos debidas a variaciones en las propiedades acústicas causadas por defectos en los límites.

## 7. TRANSDUCTORES MULTIPLES

Consisten en dos o más elementos separados, uno actúa como transmisor y los otros como receptores. Cuando se utiliza la técnica de rayo recto, ambos elementos se encuentran dentro de una misma unidad rastreadora. Estos transductores dobles exhiben alta resolución, permitiendo un ensayo muy cercano a la superficie de entrada.

En ciertos casos de inspección de soldaduras especiales se acostumbra a usar varios transductores de rayo angular. Esta técnica tiene varias aplicaciones: en el caso de juntas a tope con bisel en V, cuando existe falta de penetración en la junta, esta discontinuidad provoca un rebote del sonido haciendo que ya no regrese al transductor transmisor, figura 9.17. El eco desviado es interceptado por un transductor receptor que se coloca en el trayecto de la señal desviada. Para detectar otros defectos se usará un transductor simple.

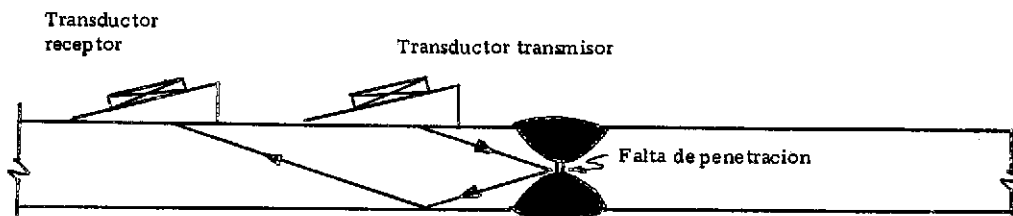


FIGURA 9.17. Uso de dos transductores de rayo angular.

Transductores múltiples también se usan con ventaja en la inspección de costuras soldadas continuas en tuberías soldadas o juntas a tope en planchas, figura 9.18. Se colocan cuatro transductores a 45 grados respecto al eje de la soldadura. Esta disposición permite detectar la presencia de grietas longitudinales y transversales. Cuando la soldadura está sana no hay reflexión del sonido y el receptor R-1 recoge la señal. Si hay una grieta longitudinal, el rayo es reflejado hacia el receptor R-2. Una grieta transversal reflejará el sonido hacia el receptor R-3. Las porosidades aisladas no producen una señal discreta en ningún receptor.

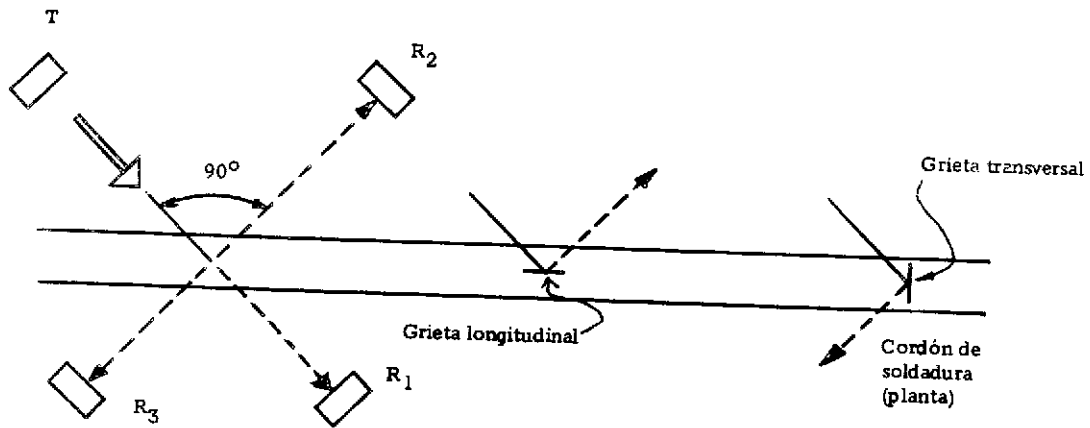


FIGURA 9.18. Localización de defectos longitudinales y transversales.

## 8. LOCALIZACION DE DEFECTOS

La inspección ultrasónica tiene la característica de permitir la localización de los defectos en el interior de la soldadura. La localización de las discontinuidades se hace en base a dos factores:

### a) Dirección del rayo

Se determina por la posición que se le da a la unidad rastreadora al iniciar el ensayo. En los ensayos con rayo en ángulo, el sonido rebota en los límites geométricos del espécimen y es posible determinar el punto de reflexión de las ondas. De esta manera se puede rastrear la dirección seguida por el rayo.

### b) Tiempo

La distancia relativa recorrida por el sonido en su trayecto, se determina en base al tiempo en la pantalla de rayos catódicos. Ello se hace calibrando el instrumento con una escala lineal sobrepuesta, cuyas divisiones pueden representar una unidad de la distancia real recorrida, o una de las componentes del movimiento. Una corrección debe hacerse a la distancia mostrada en la pantalla, ya que ésta lleva incluido el tiempo que tarda el sonido en pasar por la cuña.

## 9. MEDIDA E IDENTIFICACION DE DEFECTOS

Las deflexiones verticales (picos) que aparecen en la pantalla dan la información necesaria para

la evaluación de defectos. La amplitud de la señal es función proporcional de la energía reflejada que ha regresado al transductor. Esta energía depende del tamaño, naturaleza, orientación, forma o aspereza de la superficie reflectora. Es entonces la amplitud de la señal el criterio de aceptación o rechazo de una soldadura.

Para traducir los ecos obtenidos en información cuantitativa, se utiliza un bloque metálico de referencia que debe simular razonablemente las condiciones del ensayo ultrasónico, tales como propiedades acústicas del material y geometría esperada en la situación real de la prueba. Se usan planchas que tienen simulado un defecto. Estos defectos simulados pueden ser perforaciones verticales de aproximadamente 1/16", perforaciones longitudinales (que tienen más semejanza con las inclusiones de escoria), ranuras superficiales que producen superficies reflectoras similares a las grietas. Estos agujeros se usan como superficies reflectoras de referencia. Deben producir niveles de sensibilidad aproximadamente equivalentes a los estándares de aceptación dados para este tipo de ensayos. Existen bloques patrón para calibración aprobados por instituciones técnicas como la ASME y el Instituto Internacional de Soldadura (IIW).

## 10. PROCEDIMIENTO DE INSPECCION

La evaluación completa de un área sospechosa puede requerir varios rastreos. El área debe ser chequeada usando varios ángulos, diferentes frecuencias y tamaños de transductores con el fin de definir al defecto completamente.

Los pasos a seguir al aplicar las técnicas de inspección ultrasónica pueden ser los siguientes:

- 1) Definir el problema de ensayo
  - a) geometría de la junta: una sección transversal a escala es útil
  - b) áreas críticas: áreas de máximo esfuerzo
  - c) defectos sospechados: tipo, tamaño, localización y orientación
  - d) criterios de aceptación y rechazo: especificaciones, normas de referencia.
  
- 2) Seleccionar técnica ultrasónica
  - a) rayo recto o rayo angular
  - b) tamaño y frecuencia del transductor
  - c) procedimiento de rastreo: rutas de rastreo, porcentaje de cobertura, técnicas múltiples.
  
3. Ensayos de producción
  - a) rastreo del ensamble soldado
  - b) registro de resultados, marcaje, "sketch" mostrando localización, extensión y tipo probable de defectos
  - c) corroboración con ensayos destructivos (preparación de la junta a reparar) o no destructivos la correlación del ensayo
  - d) modificar técnica o criterios de aceptación si es necesario
  - e) comunicar los resultados al taller para reducir problemas futuros.

## 11. PRECAUCIONES

Para llevar a cabo adecuadamente la inspección, el sonido debe ser introducido uniformemente en el ensamble, pasar a través de la soldadura, reflejarse en las superficies reflectoras y regresar al transductor. Los factores a controlar que pueden afectar el paso de los rayos son:

- a) La superficie del ensamble donde se hace el contacto debe ser relativamente lisa y libre de costras, salpicaduras de soldadura y suciedad.
- b) La estructura metalúrgica granular gruesa (algunas aleaciones no ferrosas) puede causar dispersión del sonido y reflejos mal definidos en los defectos.
- c) El refuerzo de la soldadura puede llevar a malas interpretaciones (confundirlo con defectos), porque puede producir reflejos si su superficie contiene irregularidades que puedan atrapar al sonido. Se evita alisando la superficie del refuerzo.
- d) Soportes en la junta pueden causar los mismos efectos que el refuerzo.

## F. ENSAYOS ELECTROMAGNETICOS

Entenderemos en adelante por ensayos electromagnéticos, aquellos que requieren que la parte bajo ensayo esté sometida a la influencia de un campo magnético alterno. Este campo hace que se induzcan corrientes parásitas en la pieza; y cuando el material es magnético, se establecen a la par campos magnéticos.

Los ensayos electromagnéticos se usan para detectar discontinuidades superficiales e internas, tales como grietas, cavidades, etc. En general, su aplicación se encuentra confinada a la inspección de producción en masa, como fabricación de barras, lingotes, soldaduras en piezas tubulares, costuras longitudinales en tuberías.

### 1. VENTAJAS DEL METODO

Los ensayos electromagnéticos tienen sobre los otros métodos de inspección las siguientes ventajas:

- a) En muchos casos la inspección puede automatizarse, lográndose rapidez y bajo costo.
- b) Bajo ciertas circunstancias los indicadores de defectos que se obtienen en el ensayo son proporcionales al tamaño real de las discontinuidades. Es así que los ensayos pueden ser útiles con fines de graduación y clasificación.

### 2. PRINCIPIOS DEL METODO

El campo magnético alterno es producido por un inductor que se coloca cerca de la pieza bajo

ensayo. La selección de la forma, dimensión y arreglo del inductor es función de la sensibilidad requerida para detectar las discontinuidades, de la orientación de los defectos y de la geometría de la pieza.

Cuando se ensayan materiales no magnéticos, la prueba depende únicamente de las corrientes parásitas, ya que no se producen campos magnéticos en el material. En materiales magnéticos ambos efectos están presentes.

#### a) Ensayos con corrientes parásitas

Ya que estas corrientes pueden ser inducidas en cualquier conductor, estos ensayos son aplicables tanto a materiales magnéticos como no magnéticos. Varios patrones de corrientes parásitas se obtienen dependiendo de factores tales como: permeabilidad magnética (materiales magnéticos) del material ensayado; y características del campo magnético alterno (frecuencia, intensidad).

Los cambios en la estructura del metal (discontinuidades) perturban la magnitud y dirección de las corrientes parásitas. Estos cambios son detectados por instrumentos. Todos los instrumentos de prueba tienen tres elementos principales: una bobina excitadora que genera los campos magnéticos alternos en la parte ensayada, bobinas captoras balanceadas para detectar los cambios en las corrientes parásitas, y un elemento de medición para señalar o registrar el voltaje de salida de las bobinas captoras.

#### b) Ensayos magnéticos

Su uso se encuentra limitado a materiales magnéticos. En estos ensayos, la distribución de la corriente magnética o flujo se encuentra afectada por las variables magnéticas asociadas a la discontinuidad en el material. Puede hacerse que la variable seleccionada produzca un cambio significativo en la distribución del flujo. El efecto de este cambio en el circuito de ensayo revela la existencia de la discontinuidad.

Los cambios en las corrientes parásitas o en el flujo magnético pueden ser interpretados a través de diferentes variables eléctricas, tales como, voltaje, corriente, impedancia, fase o una combinación de ellas. Estas variables son analizadas electrónicamente para dar la información deseada en una forma útil.

Se puede decir que con materiales magnéticos clasificar el ensayo como de corrientes parásitas o magnéticas es cuestión más de énfasis que de separación, ya que ambos efectos se encuentran presentes. Por esta razón se cataloga al ensayo según uno u otro tipo, en función de las características que sirven de base para las conclusiones del ensayo.

### 3. APLICACION DEL ENSAYO

Los ensayos electromagnéticos pueden aplicarse a soldaduras de varias configuraciones. La técnica más común empleada en la inspección de productos tubulares consiste en una bobina que rodea al material, e induce una corriente en la circunferencia del tubo, pudiéndose así detectar defectos en cualquier parte de éste. Para inspeccionar la soldadura longitudinal en el tubo, la bobina se coloca tangente a éste, cerca de la soldadura. La información detectada es transmitida al circuito de prueba y analizada electrónicamente.



Otras técnicas de ensayo con corrientes parásitas emplean bobinas con su eje perpendicular al eje del material. El circuito que se utiliza es sensible a los cambios de corriente causados por las discontinuidades que van apareciendo conforme se mueve la pieza ensayada.

La selección de la frecuencia del campo magnético alterno determina la profundidad de penetración de la corriente en la parte examinada. La frecuencia puede variar considerablemente, usualmente su rango es de 500 a 20000 Hz. Usando altas frecuencias la mayor parte de la corriente conducida en el material se encuentra confinada en su superficie, mejorándose la detección de defectos superficiales. Para detectar defectos más profundos, las frecuencias más bajas dan mayor profundidad de penetración a la corriente.

En algunas aplicaciones (ensayos con corrientes parásitas en materiales magnéticos), un flujo de corriente directa se superpone al flujo alterno con el fin de saturar el material para eliminar indicadores indeseados por cambios en la permeabilidad del acero, a la vez que aumentar la penetración de las corrientes parásitas.

Al plantear el ensayo electromagnético es necesario establecer las relaciones entre todos los tipos de defectos, variaciones inofensivas, y los defectos artificiales usados con fines de calibración del instrumento. La utilidad del ensayo dependerá más que de la sensibilidad a detectar defectos, en la habilidad de discriminación entre éstos y otras variables en el artículo ensayado.

## **G. PRUEBAS DE CARGA**

Las pruebas de carga en ensambles soldados se realizan con el propósito de determinar si éstos son capaces de soportar las cargas de servicio sin fallar y sin quedar sometidos a deformaciones permanentes.

La prueba consiste en aplicar a la pieza esfuerzos mayores a los esperados en condiciones de servicio, pero abajo de la resistencia elástica del material. Los detalles de las pruebas de carga, cuando éstas son requeridas, se dan en los planos, en las especificaciones o en el contrato de fabricación.

### **1. ENSAMBLES ESTRUCTURALES**

Aquellos ensambles o partes de ellos que han sido diseñados como miembros estructurales (para soportar cargas), pueden probarse en una máquina de ensayos cuando sus dimensiones lo permiten, o pueden ser cargados con bolsas de arena o chatarra. Entonces se determina si las deflexiones obtenidas corresponden a las calculadas para la carga especificada. La existencia de deformaciones permanentes se verifica utilizando cargas mayores que las de diseño.

### **2. TANQUES CERRADOS**

Tanques subterráneos para almacenamiento de líquidos y tanques o cilindros que han de contener gases a presión deben ser sometidos a una prueba de presión interna, la cual puede ser:

- a) Prueba Neumatica, con aplicación de aire comprimido. Se limita a ensayos a baja presión para reducir el riesgo de una explosión.
- b) Prueba Hidrostática: utilizando la presión del agua. La presión aplicada es la de trabajo más un cierto porcentaje en exceso de la que se espera en servicio. Las fugas se detectan por inspección visual.

### 3. TANQUES ABIERTOS

Tanques de agua o almacenamiento de petróleo u otros líquidos se pueden probar hidrostáticamente llenándolos de agua y se chequea si existen fugas.

#### H. PRUEBAS DE FUGA

Las pruebas de fugas en ensambles soldados se usan para determinar si las discontinuidades se extienden completamente a través de la soldadura. Uno de los métodos más simples que se puede usar en recipientes y tuberías, consiste en incrementar la presión interna a un nivel superior al de la presión atmosférica, y examinar las soldaduras para ver si muestran indicios de fugas.

La presión interna puede aplicarse por medio de agua (mas barato), aceite, aire o gases no inflamables. El aceite es mas efectivo que el agua y solo requiere la mitad de presión que ésta para penetrar en una discontinuidad dada.

La sensibilidad del agua como medio de inspección se incrementa agregandole productos quimicos para bajarle la tensión superficial. También se le pueden agregar pequeñas cantidades de tinturas fluorescentes solubles, e inspeccionar la superficie exterior con una lampara de luz ultravioleta para ver si hay señales de fugas. La prueba de fugas utilizando agua es generalmente parte de la prueba hidrostática estándar.

Cuando se usa aire o gas inerte a presión, las fugas se pueden determinar por medio de las burbujas que se forman en una película jabonosa con la que se ha cubierto previamente la junta soldada del cilindro. Cuando el cilindro es pequeño se puede sumergir en agua para ver si hay apareamiento de burbujas. Las fugas de gas también es posible detectarlas por el siseo que hace este al escapar, o por medio de un manometro que señale la pérdida de presión interna.

Otros métodos de prueba de fugas utilizan un gas trazador como indicado. El gas trazador usualmente mezclado con aire o algun otro gas portador se introduce en el cilindro, incrementándose la presión a un nivel determinado. Con un probador sensible se rastrea el exterior del recipiente en busca de vestigios del gas trazador.

Los procedimientos anteriormente mencionados son los más comunes. Existen otros que podrian ser mas apropiados para determinada aplicación.

Cuando es necesario hacer reparaciones soldadas despues de efectuar las pruebas, conviene hacerlo

según lo recomiendan los códigos de seguridad en soldadura (1) para asegurarse que el medio ambiente no es peligroso.

---

(1) "Seguridad en Soldadura y Corte", Norma Nacional Americana, ANS.  
"Prácticas seguras para soldar y cortar recipientes que han contenido combustibles", AWS.

## CONCLUSIONES

1. En el presente trabajo se da una idea de los mecanismos de control disponibles que se combinan para lograr la producción de soldaduras satisfactorias. La calificación de "procedimientos de soldado" puede considerarse el primero de tales mecanismos, otros dos son: la calificación de operarios, con el fin de determinar su habilidad de depositar soldaduras sanas; y la supervisión e inspección durante el proceso de fabricación y montaje.
2. Se mencionan varios métodos de Ensayos Destructivos y No Destructivos, variando su costo de aplicación según el grado de sofisticación del equipo empleado por cada uno de ellos. El Centro de Investigaciones de Ingeniería cuenta con la mayor parte del equipo necesario para efectuar ambos tipos de ensayos, disponiendo además del personal calificado para llevarlos a cabo. El CII presta tales servicios de inspección a las entidades gubernamentales o privadas que si se lo solicitan.
3. Dentro de los ensayos no destructivos la inspección visual es el método más simple y barato. Para que sea efectivo requiere que sea efectuado por una persona competente, antes, durante y después del soldado; esto quiere decir que debe ser esta inspección un proceso continuo, no solo del ensamble terminado, sino desde que se cortan y preparan las piezas a ensamblar al iniciar la fabricación.
4. Los métodos de inspección no destructivos restantes son más caros, sin embargo, en estructuras de importancia este costo es solo un pequeño porcentaje del costo total de la obra cuya inversión es plenamente justificable.
5. Es mucho más económico para las industrias fabricantes de estructuras de acero de importancia, tener una eficiente supervisión e inspección interna y así evitar que sus ensambles soldados sean rechazados, por no llenar especificaciones, por parte de la Supervisión de la entidad contratante. El rechazo de ensambles defectuosos implica tener que costear reparaciones molestas que siempre redundan en pérdidas de tiempo, atrasos y gastos no contemplados por el contratista.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

## RECOMENDACIONES

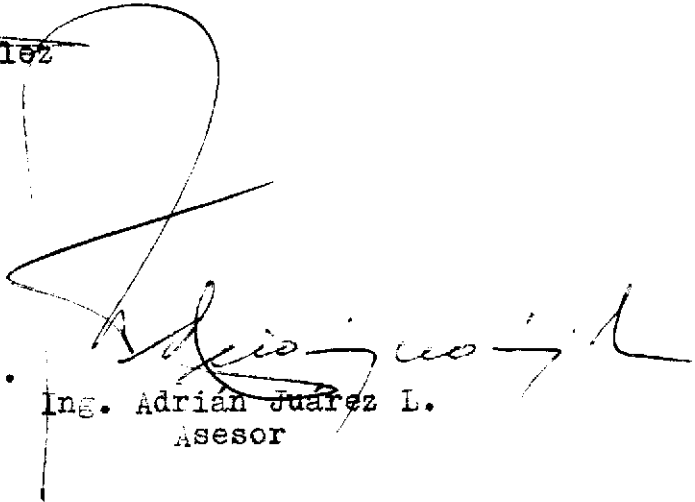
1. En las industrias, los jefes concedores de la soldadura, deben instruir a sus obreros para corregirles las deficiencias, evitando con ello a la vez lamentables consecuencias que se pueden producir de un trabajo mal ejecutado.
2. Mejor aún, sería conveniente la creación de escuelas de capacitación para el estudio, la práctica y el adiestramiento de los aprendices. La contribución del INTECAP a este respecto es encomiable, ya que por medio de sus cursos periódicos de soldadura, contribuye a disminuir el empirismo existente entre algunos soldadores dándoles un mejor conocimiento de su oficio. Los patronos deberían dar todas las facilidades a sus operarios para que asistan a estos cursos de capacitación, ya que esto redundará en beneficio de los trabajadores y de ellos mismos.
3. Los trabajos de responsabilidad no deberían ser dejados en manos de operarios no calificados. Así mismo, las reparaciones de máxima responsabilidad no deben ser ejecutadas nada más que por personal debidamente entrenado. Es conveniente que los fabricantes de estructuras soldadas de importancia, califiquen tanto los procedimientos de soldado a utilizar en la fabricación, así como a los obreros encargados del trabajo.
4. Se recomienda que las Oficinas Gubernamentales relacionadas con la construcción, al encargar la fabricación de una estructura importante, dispongan de inspectores permanentes en el taller del fabricante, con el fin de supervisar e inspeccionar los ensambles durante la fabricación, y así evitar atrasos posteriores por rechazos del material cuando ya se encuentra en la obra.
5. Es conveniente incluir en las Especificaciones de fabricación, el alcance y tipo de inspección a que serán sometidos los ensambles soldados por parte de la entidad contratante del trabajo, y señalar al mismo tiempo el Código o Códigos que normarán la ejecución del trabajo, con el fin de evitar problemas futuros durante la recepción de la obra, debido a falta de entendimiento de las partes.
6. Se recomienda que el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) elabore un Código, que norme a través de especificaciones de carácter general la fabricación y montaje de estructuras de acero para edificios. Normas específicas que suplementan a las generales deberán incluirse dentro de las especificaciones de cada proyecto particular.

## BIBLIOGRAFIA


1. AASHO, "Standard Specifications for Highway Bridges", 10th. ed., American Association of State Highway Officials, (1969).
2. AISC, "Manual of Steel Construction", 7th ed. American Institute of Steel Construction, Inc., (1970).
3. ASME, "ASME Handbook of Metals Engineering-Design", McGraw Hill Book Company, EUA, (1965).
4. AWS, "Welding Inspection", American Welding Society, New York, (1968).
5. AWS, "Instructor's Manual for Welding Inspection and Quality Assurance".
6. AWS, "Inspection Handbook for Manual Metal-Arc Welding" (Emergency Standard), (1945).
7. AWS, "Structural Welding Code", (1972).
8. AWS, "1973 Revisions to Structural Welding Code".
9. AWS, "1974 Revisions to Structural Welding Code".
10. Becton, J. L., "Inspection and Tests of Welding of Highway Bridges", Journal Structural Division, ASCE Proc. V.84, No.ST8, (1958).
11. Beedle, L. S., y otros, "Structural Steel Design", The Ronald Pres Company, N.Y., (1964).
12. Bresler, B., Lin, T. Y., y Scalzy, J.B., "Diseño de Estructuras de Acero", Editorial Limusa-Wiley, S.A., México, (1973).
13. CRSI, "CRSI Handbook", Concrete Reinforcing Steel Institute, USA, (1974).
14. "Enciclopedia Salvat Diccionario", Salvat Editores, S.A., Barcelona, España, (1973).
15. González, F., "Manual del Soldador Eléctrico", Sept. Ed., Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona, España.
16. Hsieh, Y. Y., "Elementary Steel Structures", Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall, Inc., (1971).
17. Niese, H., y Dienst, H., "Soldadura Eléctrica", Manuales UTEHA, México, (1964).
18. "Prácticas Elementales para el Trabajo de los Metales - Soldadura de Arco Voltáico", Casa Ed. ABB, Bonn, Alemania.
19. Pender, J. A., "Soldadura", McGraw-Hill Book Company, México, (1971).
20. Robb, L. A., "Diccionario para Ingenieros", Compañía Editorial Continental, S.A., México, vigésimasegunda impresión, (1975).
21. Seely, F.B., "Resistencia de Materiales", UTEHA, México, (1954).

~~Carlos Quintana González~~

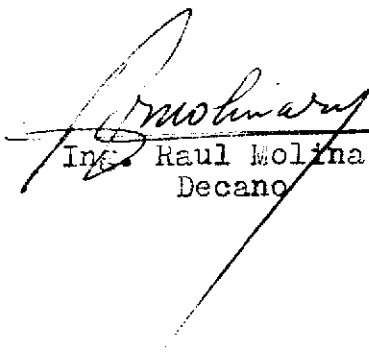
Vo.Bo.

  
Ing. Adrian Juárez L.  
Asesor

Vo.Bo.

  
Ing. Manuel A. Castillo B.  
Director de la Escuela de  
Ingeniería Civil

Imprimase:

  
Ing. Raul Molina M.  
Decano