

30  
950



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLAN



V N A M

**“ELABORACION Y CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA  
PARA UNIR MATERIALES 2 1/4 Cr-1 Mo, MEDIANTE EL PROCESO DE  
SOLDADURA POR ARCO METALICO CON ELECTRODO REVESTIDO, Y  
CALIFICACION DE LA HABILIDAD DEL SOLDADOR QUE REALIZARA  
DICHAS SOLDADURAS”**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A**

**J. PEDRO RAYA SOLORIO**

ASESOR: M. C. SERGIO DE MORAES BENITEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

1993

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## C O N T E N I D O

1	RESUMEN.....	1
2	INTRODUCCION.....	3
3	SISTEMA DE UNIDADES.....	5
4	PROCESOS DE SOLDADURA.....	6
5	GEOMETRIA DE LA JUNTA Y TERMINOLOGIA DE LA SOLDADURA.....	16
6	PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.....	27
7	PRUEBAS DESTRUCTIVAS.....	39
8	ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.....	65
9	CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.....	78
10	CALIFICACION DE LA HABILIDAD DEL SOLDADOR U OPERADOR DE SOLDADURA.....	91
11	MATERIALES Y DESARROLLO.....	107
12	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	160
13	BIBLIOGRAFIA.....	162

## 1 RESUMEN

En el presente trabajo se incluyeron algunos de los temas básicos que sirven como soporte técnico para la elaboración y calificación de un procedimiento de soldadura, y para la calificación de la habilidad del soldador u operador de soldadura que realizará las soldaduras de producción.

Posteriormente, se elaboró la especificación del procedimiento de soldadura para la unión de placas de acero 2 1/4 Cr - 1 Mo, con electrodos AWS E9015-B3.

Después, se procedió a calificar dicho procedimiento, a fin de determinar la compatibilidad entre los metales base y de aporte utilizados. Esta calificación se realizó mediante pruebas reales hechas a partir de un cupón de prueba.

Además de la calificación mencionada, se calificó la habilidad del soldador que realizará las soldaduras en el material arriba indicado. Esto se logró mediante la inspección radiográfica de un cupón de prueba.

La elaboración y calificación del procedimiento, así como la calificación de habilidad, fueron realizadas de acuerdo a la Sección IX del Código de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers, ASME), edición 1992.

Los resultados de la calificación del procedimiento, muestran que el procedimiento de soldadura realizado es el adecuado para obtener los requerimientos establecidos por el cliente y por el código aplicable. Por otro lado, los resultados de habilidad son un indicativo de que el soldador puede realizar soldaduras sanas en producción.

## 2 INTRODUCCION

Anualmente, en una empresa fabricante de recipientes sujetos a presión, los gastos por sustitución y reparación de equipo con deficiencias de fabricación, ascienden a varios millones de pesos; esta suma se ve incrementada por los retrasos en la fabricación de los productos, debido a los problemas técnicos y a la falta de capacitación del personal que interviene en la ejecución de la obra.

Los problemas más comunes en este tipo de empresas son los que se relacionan con la soldadura; la mayoría de éstos se deben a las deficiencias en la aplicación de la misma, o a la mala selección de los metales de aporte, lo cual lleva a considerar los requerimientos de elaboración y calificación de los procedimientos de soldadura que van a ser usados en producción, y a la calificación de la habilidad de los soldadores u operadores que realizarán estas soldaduras; ambos contemplados en la Sección IX del Código de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME).

Cabe hacer notar que existen otros códigos o especificaciones industriales que exigen el cumplimiento de estos requisitos, y son:

AWS	Sociedad Americana de Soldadura
API	Instituto Americano del Petróleo
ANSI	Instituto Nacional Americano de Normas

El propósito de la especificación y calificación del procedimiento de soldadura, es determinar que el componente soldado propuesto para fabricación sea capaz de cumplir con las propiedades requeridas para las que fue planeado. Es de presuponerse que el soldador u operador de soldadura que realiza las pruebas de calificación de procedimiento, es un trabajador hábil. Esto es, la prueba de calificación del procedimiento de soldadura, es para determinar las propiedades de la unión soldada, no la habilidad del soldador u operador de soldadura.

En la calificación de habilidad, el criterio básico establecido para el soldador, es determinar su habilidad para depositar metal de soldadura sano; mientras que para el operador de soldadura, es determinar su habilidad mecánica para operar la máquina de soldar.

El cumplimiento con los requerimientos anteriores plantea la necesidad de efectuar la calificación completa de una unión soldada, a fin de entender como se lleva a cabo la elaboración y calificación del procedimiento de soldadura, y la evaluación de la habilidad del soldador. El conocimiento y realización de estos requisitos nos lleva a producir soldaduras sanas y a evitar gastos excesivos, debidos a la reparación de las mismas.

### 3 SISTEMA DE UNIDADES

Para efectos de este trabajo las unidades son indicadas en el sistema inglés. Si por alguna razón se desea convertirlas al sistema internacional, se debe consultar con la siguiente tabla:

Unidad	Para convertir de	A	Multiplique por
Longitud	pulg	mm	25.4
Masa	lbm	kg	0.4535
Esfuerzo	lbf/pulg <sup>2</sup> (psi)	kgf/mm <sup>2</sup>	0.0007031
	lbf/pulg <sup>2</sup> (psi)	MPa	0.006894
Energía	ft.lbf	J	1.3558
Temperatura	°F	°C	(°F-32)/1.8



## 4 PROCESOS DE SOLDADURA

### 4.1 GENERALIDADES

La mayoría de los métodos para soldar pueden clasificarse en uno de los siguientes procesos:

- a) Si la aplicación de calor se efectúa por fricción o presión, las soldaduras se clasifican como soldaduras al estado sólido. En este proceso la unión se realiza sin aportar material y sin fundir o cambiar el metal base.
- b) Si la aplicación de calor se efectúa por resistencia eléctrica y la fusión ocurre en las superficies de acoplamiento, las soldaduras se clasifican como soldaduras por resistencia. En estos procesos se requiere de una fuerza de presión y la unión se realiza sin aportar material.
- c) Cuando la unión se realiza mediante un calentamiento localizado que funde la superficie del metal base y/o metal de aporte, las soldaduras son clasificadas como soldaduras por arco eléctrico, o gas combustible. En estos procesos la unión se realiza con o sin metal de aporte.
- d) Cuando la unión requiere de un calentamiento localizado (sin llegar al punto de fusión) y el metal de aporte es distribuido por acción capilar entre las superficies de

acoplamiento, las soldaduras son clasificadas como soldaduras fuertes y estañado (brazing y soldering).

La atención del presente trabajo se centra en el proceso denominado soldadura por arco metálico con electrodo revestido, en el cual se produce la fusión del metal base, además del empleo del metal de aporte en forma de varillas revestidas de diversos compuestos, por lo cual el método toma su nombre.

Este proceso es uno de los más empleados a nivel industrial, ya que provee las mejores condiciones de operación (tales como: maniobrabilidad del equipo, fácil control del amperaje, inicio sencillo y rápida estabilización del arco, y bajo costo) para realizar una soldadura de producción.

#### 4.2 PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO METALICO CON ELECTRODO REVESTIDO

La soldadura por arco metálico con electrodo revestido (Shielded Metal Arc Welding, SMAW) es un proceso de soldadura por arco, en donde la unión de los metales es producida por el calor generado por un arco eléctrico, que se mantiene entre la punta de una varilla revestida y la superficie del metal base que está siendo soldado. El término arco se refiere al corto circuito provocado entre estos dos elementos.

El establecimiento del arco y el suministro del metal de aporte (características fundamentales del proceso) se efectúan por medio de una varilla (generalmente de acero suave) recubierta, llamada electrodo.

En este proceso el arco se inicia golpeando ligeramente la punta del electrodo con el metal base. El calor del arco funde la superficie del metal base y forma un "charco líquido", mientras que al mismo tiempo la punta del electrodo funde y es transportada hasta el "charco" a través del arco, convirtiéndose así en metal de soldadura depositado. Este concepto se ilustra en la figura 4.1.

Según las características del recubrimiento, éste debe cumplir con uno o más de los siguientes aspectos:

- 1) Proporcionar agentes escorificantes, desoxidantes y fundentes, que formen una capa protectora mientras el metal depositado solidifica, prevengan la oxidación del metal de soldadura y proporcionen una forma correcta al cordón de soldadura, respectivamente.
- 2) Suministrar un gas protector del arco y evitar la excesiva contaminación (por la atmósfera) del metal de aporte líquido.
- 3) Proporcionar un medio para suministrar aleantes, a fin de obtener las propiedades químicas y mecánicas del metal depositado.

4) Establecer las características eléctricas del electrodo, necesarias para la formación y estabilización del arco.

La escoria protectora se obtiene por el uso de un recubrimiento base mineral, óxidos metálicos comprimidos y silicatos, que tienen un punto de fusión relativamente bajo, para permitir el recubrimiento y protección del área de soldadura. Estos compuestos también incluyen elementos desoxidantes tales como: silicio y manganeso, los cuales tienen una alta afinidad por el oxígeno, para removerlo cuando sea absorbido por el metal de soldadura.

Con respecto a la protección del arco, ésta se obtiene de los gases que se forman como resultado de la descomposición de los diversos compuestos que contiene el revestimiento del electrodo. Esta acción también se ilustra en la figura 4.1, y es esencialmente la misma para los diferentes tipos de electrodos.

Debido a las diferencias específicas de los electrodos, éstos se identifican por las propiedades mecánicas, tipo de recubrimiento, corriente, polaridad y posición de aplicación. De acuerdo a la Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society, AWS), la clasificación es la siguiente:

Con la designación general EXXX

a) El prefijo "E", indica electrodo para soldadura por arco

b) Los dos primeros dígitos de cuatro, o los tres primeros dígitos de cinco, representan la mínima resistencia a la tensión del metal de soldadura depositado (sin tratamiento térmico), en kilolibras por pulgada cuadrada.

c) El dígito más próximo al último, indica la posición en la cual la soldadura puede ser hecha.

EXX1X      Todas las posiciones.

EXX2X      Posición plana y horizontal de filete

d) El último dígito en combinación con el penúltimo, indican las características eléctricas de operación y el tipo de recubrimiento.

Nomenclatura	Corriente (1)	Recubrimiento
EXX10	CD +	Orgánico
EXX11	CA o CD +	Orgánico
EXX12	CA o CD -	Rutilo
EXX13	CA o CD + -	Rutilo
EXX14	CA o CD + -	Rutilo, polvo de hierro
EXX15	CD +	Bajo hidrógeno
EXX16	CA o CD +	Bajo hidrógeno
EXX18	CA o CD +	Bajo hidrógeno, Polvo de hierro
EXX20	CA o CD + -	Alto óxido de hierro
EXX24	CA o CD + -	Rutilo, polvo de hierro

1) CA y CD significan corriente alterna y corriente directa respectivamente, (+) indica polaridad invertida o electrodo positivo y (-) significa polaridad directa o electrodo negativo.

Los electrodos para soldar aceros de baja aleación, presentan un sufijo que se añade a la designación estándar después de un guión. Este sufijo indica el porcentaje de elementos aleantes que se añaden al metal de soldadura depositado.

Sufijo	Elementos Aleantes
A1	0.50% Molibdeno
B1	0.50% Molibdeno - 0.50% Cromo
B2	0.50% Molibdeno - 1.25% Cromo
B3	1.00% Molibdeno - 2.25% Cromo
C1	2.50% Níquel
C2	3.50% Níquel
C3	1.00% Níquel
D1	0.30% Molibdeno - 1.50% Manganeso
D2	0.30% Molibdeno - 1.75% Manganeso

En la soldadura por arco metálico con electrodo revestido, el electrodo y la pieza de trabajo forman parte de un circuito eléctrico denominado circuito de la soldadura, el cual también está integrado por una fuente generadora de energía eléctrica, dos cables de conducción de corriente y un soporte para electrodo. Este arreglo se muestra en la figura 4.2.

En el proceso de soldadura por arco metálico con electrodo revestido, al igual que en todos los procesos de soldadura por arco, se deben de tomar en cuenta cuatro diferentes zonas que aparecen en la junta soldada. Estas se muestran en la figura 4.3, y son:

- 1) El metal base o metal que está siendo soldado.
- 2) El metal de soldadura o metal que ha sido fundido y depositado durante el período de soldadura.
- 3) La línea de fusión o línea que define los límites entre el metal de soldadura depositado y el metal base sin fundir.
- 4) La zona afectada por el calor o porción del metal base (cuyo origen es la línea de fusión) que debido a su proximidad con el metal depositado, es afectada térmicamente por el calor de la soldadura.

De estas cuatro zonas, la más crítica es la zona afectada por el calor, ya que si no se toman las medidas necesarias (de calentamiento y enfriamiento) para controlar los cambios mecánicos y metalúrgicos que en ella ocurren, se corre el riesgo de afectar la vida útil en servicio de la junta soldada.

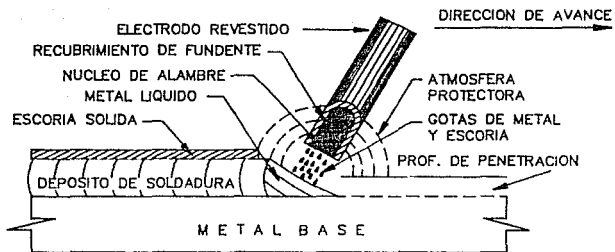


FIGURA 4.1  
ESQUEMA DEL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO METALICO  
CON ELECTRODO REVESTIDO



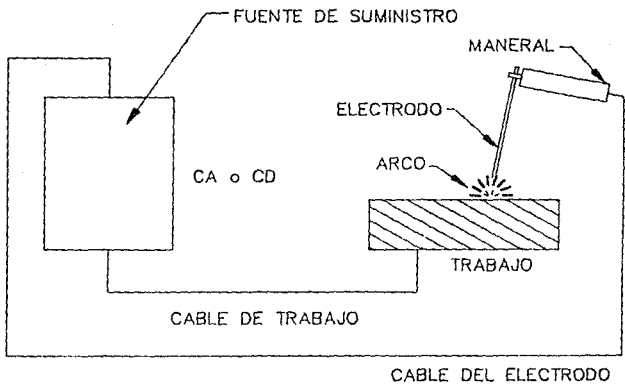


FIGURA 4.2  
CIRCUITO DE LA SOLDADURA POR ARCO  
METALICO CON ELECTRODO REVESTIDO

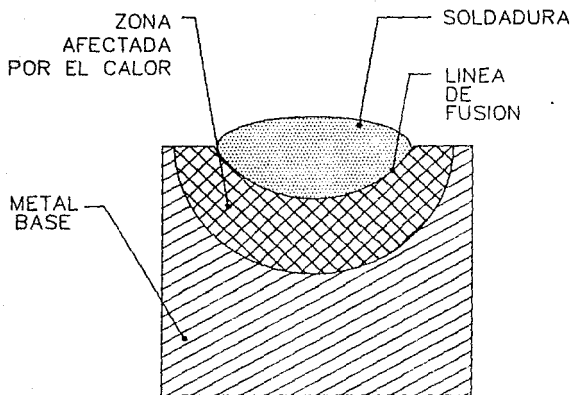


FIGURA 4.3  
PARTES DE UNA JUNTA SOLDADA

## 5 GEOMETRIA DE LA JUNTA Y TERMINOLOGIA DE LA SOLDADURA

### 5.1 TIPOS DE JUNTAS Y SOLDADURAS

Los tipos de juntas y de soldaduras reconocidas por la Sociedad Americana de Soldadura (AWS), son ilustradas en la figura 5.1. Nótese que las juntas son los empalmes donde los miembros se unen y las soldaduras son los mecanismos (preparaciones o ranuras) que completan las juntas.

#### 5.1.1 TIPOS DE JUNTAS

Existen cinco tipos básicos de juntas, cuyos nombres describen cómo sus miembros son unidos. Estas son:

a) Juntas a tope. En estas juntas los dos miembros a unir descansan en el mismo plano y son conectados en sus bordes. Estas juntas son preferibles en usos donde la continuidad de la sección es requerida. Generalmente, cuando el espesor del metal a soldar excede de 3/16 pulg, este tipo de junta requiere de una preparación tipo ranura, a fin de evitar una pérdida de fusión que debilite la soldadura.

b) Juntas en T. Son aquellas en las cuales los dos miembros a soldar descansan en planos perpendiculares, y el borde de uno de ellos es unido a la superficie plana del otro. Estas juntas son adecuadas para soldaduras que no requieren de

preparación (filetes); sin embargo, para materiales gruesos, una preparación de soldadura como la de bisel sencillo mostrada en la figura 5.2, puede ser necesaria.

c) Juntas en esquina. En estas juntas los dos miembros a unir descansan en planos perpendiculares y son conectados en sus bordes. La figura 5.3 muestra varias juntas en esquina con preparaciones tipo filete y ranura.

d) Juntas de traslape. Son juntas en las que los dos miembros a soldar descansan en planos paralelos diferentes. En estas juntas la unión ocurre donde los miembros se traslapan uno a otro para formar una región de doble espesor. Las juntas de traslape no requieren de metal de aporte para soldar ni de preparación en sus bordes.

e) Juntas de borde. En estas juntas los dos miembros a unir descansan en planos paralelos y con sus superficies planas en contacto. En este arreglo la soldadura ocurre alrededor del perímetro, o en el exterior de la junta. Estas juntas pueden o no requerir de la adición de metal de aporte para soldar.

#### 5.1.2 TIPOS DE SOLDADURAS

Existen numerosos tipos de soldaduras, las cuales pueden ser aplicadas a varios tipos de juntas. Estas soldaduras son seleccionadas en base a consideraciones tales como: accesibilidad, tipo de proceso de soldadura a ser usado,

método de preparación de la junta y adaptación a diseños particulares del componente o estructura que se va a fabricar.

Las soldaduras seleccionadas pueden o no incluir una preparación en forma de ranura (bisel, V, J o U), a fin de lograr que el calor y el metal de soldadura alcancen y fundan la raíz de la junta. Los métodos que más se usan para realizar estas preparaciones son: maquinado, cizallado, esmerilado, corte con soplete oxiacetilénico (oxicorte) y corte con arco plasma.

Básicamente, los nombres de los diferentes tipos de soldaduras se refieren a la configuración real de la junta cuando es mostrada en sección transversal. Entre los tipos más usuales de soldaduras tenemos los siguientes:

a) Soldaduras de filete. Son soldaduras de sección triangular que unen dos superficies en ángulos rectos. Estas soldaduras se aplican a juntas de traslape, en esquina y tipo T; no requieren de preparación para soldar y son el tipo más común de soldadura usada en el trabajo estructural.

b) Soldaduras de Ranura a escuadra. Son aquellas que unen dos superficies colindantes que están a escuadra (a 90°). Debido a que la soldadura por un lado resulta en una difícil

penetración, la soldadura a doble escuadra es frecuentemente utilizada para asegurar la resistencia de la unión.

c) Soldaduras de ranura biselada. Son soldaduras que unen un miembro biselado y otro sin biselar. Las ranuras de bisel sencillo son de uso adecuado para juntas en esquina y tipo T (figura 5.2), así como para juntas a tope en espesores de 1/4 pulg y mayores. Las ranuras de doble bisel son recomendadas cuando la soldadura por ambos lados es posible y cuando el espesor del metal base es de 3/4 pulg o mayor.

d) Soldaduras de ranura tipo V. Son aquellas que se realizan en una ranura tipo V entre los dos miembros a unir. Las ranuras en V sencilla son ampliamente usadas en juntas a tope de 1/4 pulg de espesor y mayores. Las ranuras en doble V son recomendadas para espesores de metal base de 3/4 pulg o mayores

e) Soldaduras de ranura tipo J. Son soldaduras hechas en una ranura tipo J entre los dos miembros a unir. Las ranuras tipo J son de uso adecuado para juntas a tope, en esquina y tipo T. La figura 5.3 (e) muestra una soldadura de ranura tipo J para una junta en esquina.

f) Soldaduras de ranura tipo U. Son aquellas que se realizan en una ranura tipo U entre los dos miembros a unir. Debido a que tanto las ranuras U como las J, requieren por lo menos de

1/8 pulg de cara de raíz y 1/4 pulg de radio a la raíz de la junta, el material a usar para este tipo de preparaciones debe ser de un espesor mayor a 3/8 pulg.

Cabe hacer notar que las preparaciones dobles de ranura (bisel, V, J y U) producen menos distorsión en las partes soldadas y reducen aproximadamente en un 50% los requerimientos del metal de soldadura depositado.

## 5.2 PARTES DE LA JUNTA DE SOLDADURA

Una vez que se ha identificado el tipo de junta, más adelante puede ser necesario describir su configuración exacta requerida. Para hacer esto, es necesario conocer las diferentes características de una preparación para soldar. Algunos de estos elementos incluyen: raíz de junta, cara de ranura, cara de raíz, borde de raíz, abertura de raíz, bisel, ángulo de bisel, ángulo de ranura y radio de ranura. La figura 5.4 muestra estos elementos.

La raíz de junta, es aquella porción de la junta a soldar donde los miembros a unir permanecen lo más cercano uno del otro. La cara de ranura, es la superficie de ranura de uno de los miembros a soldar. La cara de raíz (comúnmente llamada borde), es la porción de la cara de ranura adyacente a la raíz de la junta. El borde de raíz es definido como una cara de raíz de espesor cero. La abertura de raíz es descrita como

la separación entre las piezas de trabajo a la raíz de la junta. El bisel es la preparación angular de un borde. El ángulo de bisel es definido como el ángulo formado entre el borde preparado de un miembro y un plano perpendicular a la superficie del mismo. El ángulo de ranura, es el ángulo total de ranura entre los dos miembros a soldar. El término final, radio de ranura, aplica solamente a soldaduras de ranura tipo J y U, y es descrito como el radio usado para formar el perfil J o U de una preparación tipo ranura.

### 5.3 PARTES DE LA SOLDADURA TERMINADA

Hasta ahora, nos hemos limitado a la descripción de las juntas de soldadura y a los tipos de configuración de las mismas. Sin embargo, es apropiado definir las partes de las soldaduras de ranura y de filete terminadas, ya que éstas forman parte de la mayoría de configuraciones de soldadura comúnmente empleadas.

La soldadura de ranura, omitiendo su configuración particular, tiene varios componentes, los cuales son mostrados en la figura 5.5. La primera parte, la cara de soldadura, es la superficie expuesta de una soldadura, localizada en el lado donde la soldadura fue hecha. La unión entre la cara de soldadura y la superficie del metal base, es referida como el talón de soldadura. Opuesto a la cara de soldadura, es la raíz de soldadura, definida como los puntos

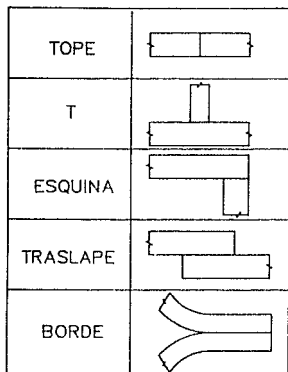


en los cuales la parte posterior de la soldadura interseca las superficies del metal base. La superficie de raíz, es la superficie de soldadura, localizada en el lado opuesto donde la soldadura fue hecha. Como podemos apreciar, esta última característica se encuentra limitada por la raíz de soldadura.

También en la figura 5.5 son mostrados el refuerzo de cara y el refuerzo de raíz. El refuerzo de cara (comúnmente llamado corona), es el refuerzo de soldadura localizado en el lado donde la soldadura fue hecha. Contrariamente, el refuerzo de raíz, es el refuerzo de soldadura opuesto al lado donde la soldadura fue hecha. En ambos casos, estos dos conceptos representan aquella porción del metal de soldadura que está por encima de la superficie del metal base.

En lo que respecta a la soldadura de filete, los componentes que la integran tienen la misma terminología que aquellos establecidos para soldadura de ranura, a excepción de que para soldaduras de filete, la raíz de soldadura es definida como la más lejana penetración del metal de soldadura dentro del metal base. La figura 5.6 muestra los componentes principales de una soldadura de filete terminada.

### TIPOS DE JUNTAS



### TIPOS DE SOLDADURAS

	SENCILLO	DOBLE
FILETE		
ESCUADRA		
RANURA BISELADA		
RANURA V		
RANURA J		
RANURA U		

FIGURA 5.1  
TIPOS DE JUNTAS Y SOLDADURAS AWS

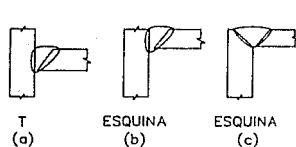


FIGURA 5.2  
JUNTAS DE SOLDADURA EN "T" Y ESQUINA  
(a) Y (b) SOLDADURAS DE BISEL SENCILLO  
(c) SOLDADURA DE RANURA SENCILLA TIPO "V"

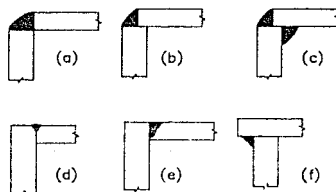


FIGURA 5.3  
JUNTAS EN ESQUINA  
(a), (b), (c) Y (f) SOLDADURAS DE FILETE  
(d) SOLDADURA DE RANURA TIPO "V"  
(e) SOLDADURA DE RANURA TIPO "J"

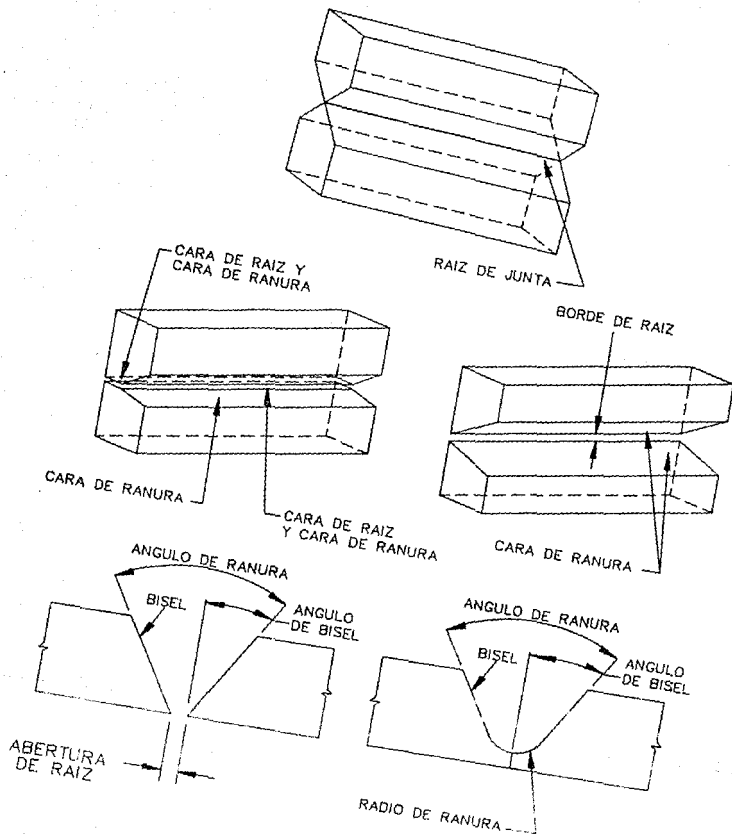


FIGURA 5.4  
PARTES DE LA JUNTA DE SOLDADURA

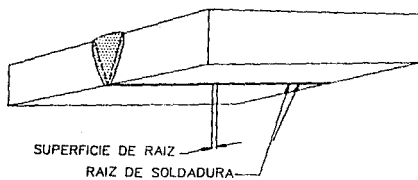
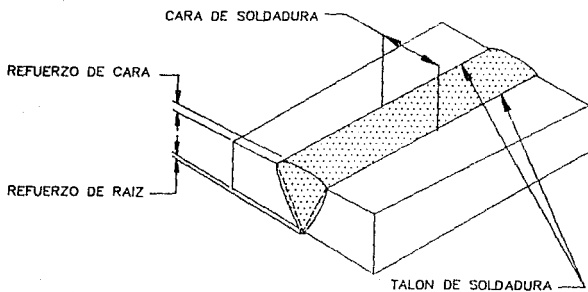


FIGURA 5.5  
PARTES DE UNA SOLDADURA DE RANURA SENCILLA  
TIPO "V" TERMINADA

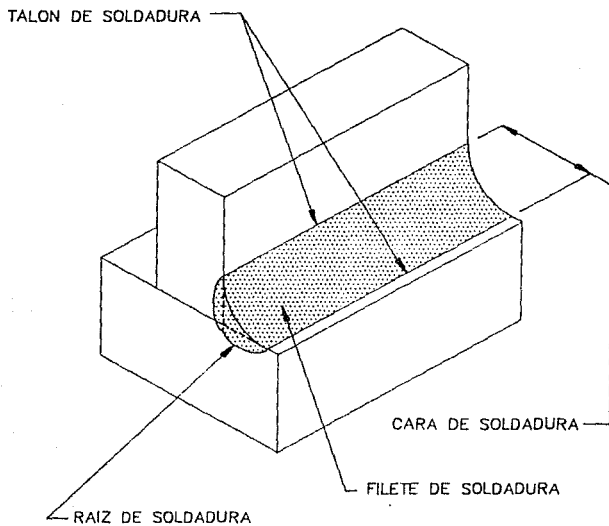


FIGURA 5.6  
PARTES DE UNA SOLDADURA DE FILETE TERMINADA

## 6 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Las pruebas no destructivas son aquellas que permiten la evaluación del objeto de prueba sin destruirlo. En la evaluación de soldaduras estas pruebas permiten detectar discontinuidades tales como: grietas, porosidad, fusión incompleta, penetración inadecuada, escoria atrapada, traslapes, socavados y desalineamientos excesivos.

Las pruebas no destructivas que más se aplican en la calificación de habilidad de soldadores u operadores de soldadura son:

### 6.1 INSPECCION VISUAL

La inspección visual es el método de prueba no destructivo que más se usa para evaluar la calidad de los componentes soldados, es fácil de hacer, no es cara y no requiere de equipo especial para ser llevada a cabo. Un requerimiento para este método de inspección, es que la persona que la realiza tenga buena visión.

Las herramientas que se utilizan en la inspección visual son muy simples; éstas comprenden: una regla de bolsillo, un calibrador de soldadura, lentes de aumento y algunas veces una regla y una escuadra para determinar la rectitud, alineamiento y perpendicularidad de los componentes a soldar.

Existen tres tipos de inspección visual, los cuales si se realizan a conciencia pueden detectar cerca del 80% de las discontinuidades, antes de que éstas puedan ser detectadas mediante otros métodos de prueba no destructivos más caros como el ultrasonido y la radiografía. Estos son:

a) Inspección visual antes de la soldadura. Este tipo de inspección se aplica a los metales base que van a ser soldados, a fin de detectar condiciones que tiendan a causar defectos en la soldadura. Estas condiciones de riesgo pueden ser: escamas, costuras, grasa, pintura, aceite y capas de óxido. Las piezas a unir también deben ser inspeccionadas para verificar rectitud y dimensiones.

Después de que los componentes son ensamblados en posición para soldadura, se debe verificar el alineamiento y fijación de las partes, así como la abertura de raíz de la junta y la preparación para soldar.

La inspección antes de la soldadura también incluye la verificación para que el proceso y procedimiento de soldadura correctos sean empleados, que el soldador u operador de soldadura esté calificado, que la máquina de soldar esté calibrada, que el tipo de consumibles y las variables eléctricas de voltaje y amperaje sean las especificadas, y que se tomen las medidas necesarias para el precalentamiento y postcalentamiento requeridos.

b) Inspección visual durante la soldadura. En esta inspección se verifican los detalles del trabajo mientras se desarrolla la soldadura. Algunos de los aspectos de fabricación que pueden ser verificados son: la calidad del paso de raíz y de los pasos subsecuentes de soldadura, temperaturas de precalentamiento y de interpasos, secuencia de los pasos de soldadura, limpieza entre cordones, preparación de la raíz antes de soldar un segundo lado y conformidad con el procedimiento de soldadura aplicable.

c) Inspección visual después de la soldadura. Esta clase de inspección es de gran utilidad para evaluar la apariencia final de una soldadura. Algunos de los aspectos que requieren atención después de que la soldadura ha sido terminada son: las variaciones dimensionales, distorsiones, tamaños de soldadura y monitoreo del tratamiento térmico posterior a la soldadura.

En esta fase, las soldaduras deben estar libres de escorias u óxidos que puedan interferir en la inspección de sus superficies. Un lente de aumento es útil para detectar grietas pequeñas y otras discontinuidades tales como: poros, traslapes y socavados. Sin embargo, el granallado no debe utilizarse para limpiar la soldadura antes de inspección; esto es debido a que la acción de martillado puede sellar las grietas finas y hacerlas invisibles.



## 6.2 INSPECCION RADIOGRAFICA

La inspección radiográfica es un método que emplea rayos X o rayos gamma, que penetran el material y detectan cualquier discontinuidad cuando producen una imagen sobre una película. Este concepto se ilustra en la figura 6.1.

### 6.2.1 ELEMENTOS ESENCIALES

Los elementos esenciales de la inspección radiográfica son:

a) Material de prueba. Cuando un material es expuesto a radiación penetrante, parte de ésta es absorbida, alguna se dispersa y la otra se transmite desde el material hasta la película radiográfica. La cantidad de radiación transmitida depende de la densidad y espesor del material sujeto a prueba; esto es, la intensidad de radiación será menor, cuanto mayores sean el espesor y principalmente la densidad del material de prueba.

Algunas discontinuidades encontradas en la soldadura tales como: inclusiones de escoria, poros y grietas, están rellenas de un material de baja densidad (como por ejemplo, aire en el caso de poros y grietas), lo que origina que la intensidad de radiación que pasa a través de estas zonas, sea mayor que en las áreas vecinas. Debido a esto, dichas discontinuidades aparecen como regiones oscuras en la película radiográfica.

Las regiones más claras indican áreas de mayor espesor o densidad. Estas últimas incluyen: refuerzos de soldadura, inclusiones de tungsteno y salpicaduras.

b) Fuente de radiación. La fuente de radiación puede ser una máquina de rayos X o un isótopo radioactivo. Por lo general los rayos gamma se obtienen de una fuente radioactiva artificial de Iridio-192. Estos rayos tienen mayor penetración que los rayos X, aunque su sensibilidad es menor, debido a que no se puede graduar la intensidad de la radiación de acuerdo al espesor a radiografiar, o al contraste que se desee obtener. En esta técnica los tiempos de exposición son mucho mayores que los requeridos para rayos X, y además el equipo usado es pequeño, portátil y de bajo costo.

Los rayos X se generan cuando un flujo de electrones a gran velocidad choca contra un obstáculo, así pues, cuando los electrones lanzados a gran velocidad, son bruscamente detenidos por un cuerpo, parte de su energía cinética se transforma en energía de radiación o rayos X. Las condiciones que se requieren para generar los rayos X son:

- 1) Un filamento de carburo de tungsteno o tubo de rayos catódicos (cátodo) que constituye la fuente productora de electrones.

2) Un obstáculo (ánodo) situado en la trayectoria de los electrones.

3) Una diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo, que permite controlar la velocidad de los electrones que inciden sobre el ánodo, y de esta forma regular la longitud de onda de los rayos X producidos.

4) Un medio de regulación de corriente en el tubo, para controlar el número de electrones que inciden sobre el obstáculo.

Los rayos X proporcionan radiografías con buena sensibilidad y contraste, debido a que la intensidad de corriente puede ser ajustada. En esta técnica el equipo usado es menos portátil, más caro, requiere de una fuente de energía eléctrica, y además de los peligros por radiación, existen otros riesgos debido a los altos voltajes de operación.

c) Película radiográfica. La película radiográfica es una hoja de plástico delgada, transparente y flexible, la cual está recubierta (por uno o ambos lados) con una emulsión gelatinosa de bromuro de plata, de aproximadamente 0.001 pulg de espesor. Cuando la película se expone a radiación penetrante o a luz visible, el bromuro de plata sufre una reacción química que ennegrece la emulsión; posteriormente, con un tiempo corto de exposición se crea una imagen latente

sobre la misma, y más tarde, con el procesamiento químico esta imagen se hace visible.

Las películas radiográficas son clasificadas en base a la velocidad de revelado, contraste y tamaño de grano. La selección de éstas depende del tipo de inspección, espesor y tipo de material, tiempo de exposición y sensibilidad requerida. Normalmente, una película radiográfica se fija en la zona a inspeccionar y por el lado opuesto a la fuente radioactiva.

d) Radiólogo. El radiólogo es un factor muy importante en el éxito de una inspección radiográfica, ya que es el responsable de determinar la mejor posición de la fuente y de la película con respecto al material de prueba; esto con la finalidad de lograr una buena calidad de imagen radiográfica. Asimismo, debe seleccionar el tipo adecuado de película, pantallas intensificadoras y filtros.

Cuando se efectúa una inspección radiográfica, el radiólogo debe tomar medidas de seguridad para prevenir niveles peligrosos de radiación en el área de exposición. Muchos códigos y especificaciones requieren que los radiólogos estén calificados y certificados para ciertos niveles de habilidad radiográfica.

e) Procesado de la película. El procesado de la película comprende cinco pasos. Estos son:

- 1) El proceso de revelado que transforma las partículas de bromuro de plata, en plata metálica negra.
- 2) El baño de parada (solución de ácido acético y agua) que neutraliza el revelador y detiene el proceso de revelado.
- 3) El fijador (solución ácida) que disuelve y remueve el bromuro de plata de las porciones no expuestas de la película, sin afectar la porción expuesta.
- 4) El lavado (por inmersión en agua agitada) que sirve para remover el fijador que queda en la película.
- 5) El secado (con aire caliente filtrado y circulado) que sirve para eliminar la humedad de la película.

Todo el trabajo de procesado se hace bajo condiciones de cuarto oscuro, a fin de evitar que la película se nuble. Además, la secuencia del proceso y la limpieza son esenciales para lograr una buena calidad de imagen radiográfica.

f) Interpretación radiográfica. Una vez concluido el procesado de la película, la radiografía terminada debe ser evaluada para determinar la calidad de la exposición, el tipo y número de discontinuidades presentes, y para decidir si la

parte inspeccionada es aceptable o no, en base a las indicaciones existentes. Este trabajo requiere de una persona hábil para interpretar películas y que conozca los requerimientos de los códigos o especificaciones aplicables.

El intérprete de películas debe tener conocimientos de soldadura y de fallas asociadas con los materiales, a fin de poder relacionar con éstos, posibles discontinuidades encontradas en la película. Además debe tener habilidad para evaluar las técnicas radiográficas utilizadas por el radiólogo. Un código o especificación puede requerir que estas personas estén calificadas y certificadas para ciertos niveles de habilidad radiográfica.

Un negatoscopio de intensidad variable y un densitómetro, son utilizados cuando se revisan e interpretan películas radiográficas. Estos son localizados en un cuarto con luz baja, a fin de reducir el vislumbramiento producido por los mismos.

#### 6.2.2 CALIDAD DE LA IMAGEN RADIOGRAFICA

Otro aspecto que se debe tomar en cuenta cuando se realiza una inspección por radiografía, es la calidad de la imagen o sensibilidad radiográfica, ya que cuanto mejor sea ésta, mejor será la interpretación de la película.

La calidad de la imagen está gobernada por el contraste y la definición radiográfica. El contraste es la diferencia de densidades ópticas entre dos áreas de la película; mientras que la definición es la nitidez de la imagen resultante. El control de estas dos variables lo rige el radiólogo y el procesado de la película.

### 6.2.3 INDICADORES DE CALIDAD DE LA IMAGEN RADIOGRAFICA

Las herramientas que se usan para verificar la calidad de la imagen radiográfica, son conocidas como penetrámetros. Estos son piezas metálicas (por lo general de forma rectangular) que tienen características de absorción de radiación, similares a las del metal que va a ser radiografiado.

Los penetrámetros convencionales normalmente contienen tres barrenos cuyos diámetros son múltiples del espesor. Estos barrenos son clasificados como barrenos de diámetro 1T, 2T y 4T; donde T es el espesor del penetrámetro.

La mayoría de requerimientos de calidad de imagen se expresan en términos del espesor del penetrámetro y del tamaño de barreno deseado. Por ejemplo, en el requerimiento del nivel de sensibilidad 2-2T, el primer número, en este caso el 2, indica que se debe usar un penetrámetro con un espesor igual al 2% del espesor del material de prueba; el símbolo 2T,

indica que el barreno visible en la radiografía debe tener un diámetro igual a dos veces el espesor del penetrómetro. Este nivel de calidad de imagen es el que comúnmente se especifica para radiografía de rutina. Para una prueba radiográfica más sensible se requiere un nivel 1-2T ó 1-1T. Para una calidad de imagen más relajada se puede requerir un nivel 2-4T ó 4-4T.

Normalmente, el penetrómetro se coloca en el área o soldadura a radiografiar y por el lado de la fuente. Sin embargo, cuando esto no es posible debido a la inaccesibilidad de las partes, éste es posicionado sobre el lado de la película radiográfica.

Es de entenderse, que la apariencia del penetrómetro y la imagen del barreno sobre la película, son indicaciones esenciales de la calidad de la imagen radiográfica.

#### 6.2.4 VENTAJA DE LA INSPECCION RADIOGRAFICA

La ventaja de la inspección radiográfica, es que permite detectar discontinuidades que pueden o no ser detectadas por otros métodos de inspección no destructivos tales como: inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas o ultrasonido; la única condición para lograrlo, es que éstas se encuentren alineadas (paralelas) con el haz de radiación.



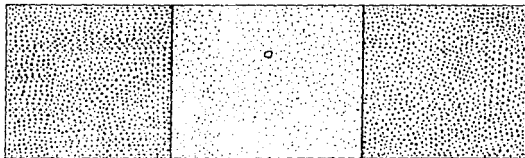
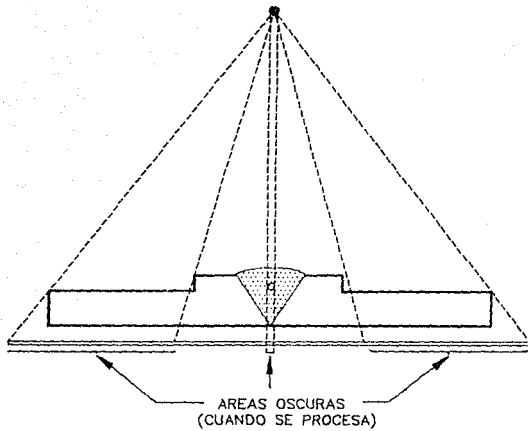


FIGURA 6.1  
CONCEPTO DE INSPECCION RADIOGRAFICA

## 7 PRUEBAS DESTRUCTIVAS

Las pruebas destructivas son aquellas que alteran la forma, tamaño o estructura del material que está siendo probado. Estas pruebas son utilizadas para determinar las propiedades químicas, mecánicas y metalúrgicas de una soldadura, y también para localizar discontinuidades tales como: grietas, porosidad, fusión incompleta, penetración inadecuada y escoria atrapada.

Estas pruebas normalmente se realizan sobre muestras de partes soldadas, hechas con procedimientos similares a los usados en producción; lo que permite asegurar la calidad del producto y garantizar la funcionabilidad en servicio del componente soldado. Además, son ampliamente usadas para calificar procedimientos de soldadura y habilidad de soldadores u operadores de soldadura.

Las pruebas destructivas más comúnmente empleadas en la evaluación de soldaduras son:

### 7.1 ANALISIS METALOGRAFICO

El análisis metalográfico no siempre es requerido en las especificaciones para componentes soldados. Sin embargo, es de gran ayuda cuando se requiere determinar la sanidad de la unión, número de pasos de soldadura, estructura metalúrgica de la junta, alcance de la zona afectada por el calor,

localización de la soldadura y profundidad de penetración del metal de soldadura depositado.

Normalmente, los especímenes para análisis metalográfico se obtienen a partir de un cupón de prueba soldado, o de una soldadura de producción. Esto se logra seccionando dichas partes, ya sea por corte mecánico, oxicorte, o corte con arco plasma. Sin embargo, si el espécimen es removido por oxicorte, se debe esmerilar o maquinar al menos 1/8 pulg a partir de la cara seccionada; esto con la finalidad de remover cualquier superficie dura generada durante el corte.

Existen dos formas de realizar un análisis metalográfico; éstas son:

a) Por macro-ataque. En esta prueba el espécimen es preparado, pulido y atacado químicamente, a fin de que muestre su estructura burda. Posteriormente, es examinado sin la ayuda de un lente amplificado, o a ampliificaciones menores a 10 aumentos (10X).

Un macro-ataque en una soldadura define el metal base, la soldadura y la zona afectada por el calor. Además, es ampliamente utilizado para determinar la sanidad de las juntas soldadas.

b) Por micro-ataque. En este análisis el espécimen es montado en resinas termofijas y termoplásticas, como son la baquelita

y la lucita, respectivamente. Posteriormente, es pulido a espejo y atacado químicamente, para ser examinado a ampliaciones mayores a 10 aumentos.

Un micro-ataque define en detalle la estructura metalográfica de la unión soldada y permite detectar pequeñas discontinuidades en el metal base o en la soldadura.

## 7.2 PRUEBA DE DUREZA

La prueba de dureza determina la habilidad de un material para resistir la penetración.

Existen varios métodos para determinar la dureza de un material. El más comúnmente empleado en la calificación de procedimientos de soldadura, es la prueba de dureza Rockwell. En esta prueba, el valor de dureza se obtiene usando un probador de lectura directa, el cual mide la dureza de acuerdo a la profundidad residual de penetración de una punta de diamante o una bola de acero, dentro del espécimen. La figura 7.1 muestra un probador típico de dureza Rockwell.

En este método, la prueba se inicia aplicando una carga menor, igual a 10 kgs, la cual causa una penetración inicial, posiciona el penetrador en la superficie del metal de prueba y lo mantiene en posición. El indicador se coloca en el punto "SET", y entonces se aplica una carga mayor para incrementar la profundidad de la huella. Después de que el indicador deja

de moverse, se retira la carga mayor, y con la carga menor aún actuando, se lee el número de dureza Rockwell directamente sobre la carátula del probador. Este es un número arbitrario que se incrementa al aumentar la dureza del material.

Las escalas de dureza Rockwell que más se utilizan son las siguientes:

Escala	Penetrador	Carga mayor (kgs)	Carga menor (kgs)
B	Bola de acero 1/16 pulg	100	10
C	Diamante Brale	150	10

Normalmente, la dureza y la resistencia a la tensión se relacionan directamente; esto es, la dureza se incrementa con la resistencia y viceversa. Por lo tanto, si se conoce la dureza de un material, se puede estimar su resistencia a la tensión. Esta es una gran ventaja, ya que se puede conocer la resistencia aproximada de un material sin necesidad de preparar y probar especímenes de tensión. La figura 7.2 muestra esta relación dureza-tensión para aceros no austeníticos.

La dureza con frecuencia es relacionada con las condiciones de servicio del material; por esta razón, en algunos casos se

debe especificar el límite máximo de dureza para una parte. Esto es particularmente importante para componentes expuestos a ambientes productores de hidrógeno, tales como líneas de tubería para gas amargo, en donde las altas durezas asociadas con el hidrógeno inducido en el material, pueden causar severos agrietamientos.

### 7.3 PRUEBA DE TENSION

La prueba de tensión se usa para determinar el comportamiento de un metal bajo la acción de una carga de alargamiento.

En la prueba de tensión estándar, la sección reducida (cuello) de un espécimen es marcada con un punzón en dos puntos, separados a 2 pulg uno del otro como se muestra en la figura 7.3. El espécimen se coloca en las mordazas de una máquina para prueba de tensión, y se le aplica una carga axial por medio de un sistema de palanca mecánico o hidráulico, lo cual origina que la mordaza inferior baje a una velocidad lenta y constante, mientras que la mordaza superior permanece fija.

A medida de que la carga se incrementa, el espécimen se alarga a una velocidad uniforme, que es proporcional a la carga aplicada a cualquier tiempo. Esta carga, dividida entre el área de la sección transversal del espécimen al inicio de la prueba, representa el esfuerzo unitario o la resistencia

del material a una fuerza de tensión. El esfuerzo se expresa en libras por pulgada cuadrada ( $\text{lbs/pulg}^2$ ,  $\text{psi}$ ).

La cantidad de alargamiento en una longitud dada, representa la deformación inducida en el material, la cual se expresa en pulgadas por pulgada ( $\text{pulgs/pulg}$ ). Esta propiedad se mide a partir de la longitud calibrada de 2 pulg, mediante un dispositivo llamado extensómetro.

El esfuerzo y la deformación se representan en un diagrama como el mostrado en la figura 7.4. En este diagrama se definen las siguientes propiedades más comunes de los materiales:

a) Límite proporcional (Punto P). Es el esfuerzo máximo en el que el esfuerzo y la deformación permanecen directamente proporcionales. El límite proporcional representa la primera desviación que tiene la curva de su linealidad.

b) Resistencia a la cedencia (Punto Y). Es el esfuerzo en el que el material exhibe una pequeña cantidad de deformación plástica. En este punto se presenta una desviación de la proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación.

La resistencia a la cedencia se determina por el método de la deformación permanente especificada (*OFFSET*), que consiste en trazar una línea paralela a la porción recta de la curva. El trazo se desplaza del origen de la curva, en una cantidad

igual a la deformación permanente especificada, la cual frecuentemente corresponde al 0.2% de la longitud original calibrada del espécimen de prueba.

La carga correspondiente al punto donde la línea recta interseca la curva, dividida entre el área original del espécimen, representa la resistencia a la cedencia del material, la cual se expresa en libras por pulgada cuadrada (lbs/pulg<sup>2</sup>).

c) Resistencia a la tensión (Punto T). Es el esfuerzo máximo que soporta el material antes de llegar a la ruptura. Esta propiedad resulta de dividir la carga máxima, entre el área original del espécimen. La resistencia a la tensión se expresa en libras por pulgada cuadrada (lbs/pulg<sup>2</sup>).

d) Ductilidad. Es otra propiedad de los metales que se determina mediante la prueba de tensión. Esta se define como la cantidad de deformación que soporta el material hasta el momento de la fractura. La ductilidad se determina mediante dos mediciones, que son:

1) Alargamiento. Este se determina acoplando tan cerca como sea posible las dos mitades del espécimen fracturado, y midiendo la distancia entre los dos puntos marcados originalmente. El incremento en longitud proporciona el



alargamiento del espécimen en 2 pulg, el cual es expresado en porcentaje; esto es:

$$\text{Alargamiento (\%)} = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100$$

Donde:  $l_f$  = Longitud de la medida final (pulg)

$l_o$  = Longitud de la medida original,  
generalmente 2 pulg

2) Reducción de área. Determinada a partir de las dos mitades fracturadas, midiendo para ello el diámetro del espécimen en el punto de ruptura y calculando su área respectiva. De aquí, se calcula la reducción de área con respecto al área original del espécimen. Esta propiedad también se expresa en porcentaje; esto es:

$$\text{Reducción de área (\%)} = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100$$

Donde:  $A_o$  = Area transversal original (pulg<sup>2</sup>)

$A_f$  = Area transversal más pequeña después  
de la fractura (pulg<sup>2</sup>)

Normalmente, las mejores propiedades de tensión se presentan en la dirección de rolado del material. Esto es debido a que en este sentido la operación de rolado desarrolla y retiene una estructura de grano mucho más alargada que en la dirección transversal. Usualmente, esta estructura es parecida a la fibra del material.

El tipo de prueba de tensión que más se utiliza en la calificación de procedimientos de soldadura, es la de tensión transversal. En este ensayo, un espécimen de sección rectangular, es obtenido en forma perpendicular a la soldadura de un cupón de prueba. La soldadura es centrada en la longitud de la sección reducida del espécimen, el cual es cargado longitudinalmente hasta que la fractura ocurre. Posteriormente, se determinan las propiedades tensiles requeridas.

#### 7.4 PRUEBA DE FRACTURA EN SOLDADURAS DE FILETE

Esta prueba se usa para determinar la sanidad de una soldadura de filete. Consiste en aplicar una fuerza longitudinal por el lado opuesto al filete de una junta en T, a fin de comprimir la cara de soldadura y por desgarre abrir la raíz. La fuerza puede ser aplicada por prensa hidráulica o máquina de tensión. La figura 7.5 muestra un espécimen típico para prueba de fractura en soldaduras de filete.

Un filete cóncavo usualmente se fracturará a lo largo de la garganta, mientras que un filete convexo es más susceptible a fallar a lo largo de una pierna. Para asegurar la fractura a lo largo de la garganta de soldadura, se pueden aplicar cordones de refuerzo adicionales en los bordes del filete, re-posicionar el alma de la junta, o maquinara una ligera

muesca a lo largo de la cara de soldadura del filete. Estos métodos auxiliares de fractura también son mostrados en la figura 7.5.

El espécimen pasa la prueba si se dobla en forma plana sobre sí mismo. Si el filete se fractura, las superficies fracturadas son examinadas para sanidad; esto es, para pasar la prueba, dichas superficies no deben mostrar evidencia de grietas, faltas de fusión, o penetración incompleta en la raíz de la junta.

#### 7.5 PRUEBA DE DOBLEZ GUIADO

La prueba de doblez guiado se usa para determinar la ductilidad y sanidad de las juntas soldadas. Debido a esto, dicha prueba es ampliamente utilizada en la calificación de procedimientos de soldadura, y para evaluar la habilidad de los soldadores u operadores de soldadura.

Existen tres tipos básicos de dispositivos para prueba de doblez guiado, que son: el equipado con émbolo, el equipado con rodillos y el de rodillos envolventes. El dispositivo estándar de doblez guiado es el equipado con émbolo, el cual consiste en un émbolo o ariete y un dado, que le dan forma de U a un espécimen recto para doblez. La figura 7.6 muestra este tipo de dispositivo.

Para realizar la prueba de dobléz el espécimen es colocado a través de los hombros del dado, orientando la cara que se va a tensionar hacia el interior del mismo. El émbolo es entonces situado sobre el área de interés, y forzado hacia el dado para causar que el espécimen sea doblado a 180 grados y adopte una forma de U. Posteriormente, el espécimen es removido y evaluado.

Los especímenes de dobléz guiado son placas de sección rectangular que se obtienen por corte a partir de un cupón de prueba. Las superficies de corte deberán ser designadas como los lados del espécimen. Las otras dos superficies deberán ser llamadas superficies de cara y de raíz. La superficie de cara será la que tenga el mayor espesor de soldadura.

Las superficies a examinar deben ser lisas y estar libres de cualquier rayadura o marca, a fin de prevenir concentradores de esfuerzos o fallas prematuras. El refuerzo de soldadura y el respaldo (si existen), deben ser removidos al ras de la superficie del espécimen.

Los especímenes de dobléz guiado son de cinco tipos. Estos dependen de la orientación que tenga el eje de la soldadura con respecto al eje longitudinal del espécimen, y de la superficie (lado, cara o raíz ) que esté sobre el lado convexo (externo) del espécimen doblado. Estos cinco tipos de dobléz se definen como sigue:

Los tres primeros son los dobleces transversales de lado, cara o raíz, en donde el eje de la soldadura es perpendicular al eje longitudinal del espécimen; el cual se dobla para que la superficie de uno de los lados, cara o raíz, según sea el caso, se convierta en la superficie convexa del espécimen doblado. Estos tipos de doblez son los que más se usan en la evaluación de soldaduras.

Los otros dos tipos, son los dobleces longitudinales de cara o raíz, en los cuales el eje de la soldadura es paralelo al eje longitudinal del espécimen.

La figura 7.7 muestra un espécimen típico para prueba de doblez transversal de cara.

Las pruebas de doblez de cara y raíz son utilizadas cuando el espesor del material es de  $3/8$  pulg o menor. En materiales arriba de  $3/8$  pulg de espesor, las pruebas de doblez lateral son normalmente usadas; esto es debido a la dificultad que se tiene para realizar dobleces de cara o raíz sobre materiales gruesos.

Un doblez lateral es una prueba efectiva para examinar soldaduras de ranura en doble V, ya que permite detectar discontinuidades en todo el perfil de la junta soldada.

El doblez de cara permite detectar socavados, traslapes, grietas o porosidad, en la cara de la soldadura.

Por último, el doblar de raíz es una prueba efectiva que permite revelar cualquier penetración incompleta o fusión inadecuada en la raíz de la soldadura.

Para concluir con esta prueba, es importante mencionar que en la mayoría de códigos y especificaciones se considera que los especímenes han fallado, si sobre la superficie convexa existe una grieta o discontinuidad abierta a la superficie, que exceda de 1/8 pulg (medida en cualquier dirección).

#### 7.6 PRUEBA DE IMPACTO

La prueba de impacto se usa para evaluar la tenacidad de un material; esto es, determina la habilidad que tiene el material para absorber la energía de una carga dinámica.

Cuando se especifica que un material tiene baja tenacidad, se entiende que requiere de poca energía para fallar con poca evidencia de deformación. Por otro lado, un material tenaz romperá con un valor considerablemente mayor de energía y tendrá una gran cantidad de deformación plástica. Estos conceptos definen un comportamiento frágil para valores bajos de energía absorbida y un comportamiento dúctil para valores altos de energía.

Al igual que la ductilidad, la tenacidad también depende de la temperatura. Esta dependencia resulta en una disminución gradual de tenacidad y ductilidad, cuando disminuye la

temperatura; esto es debido a que a bajas temperaturas la fractura es frágil y la cantidad de energía absorbida es menor. En consecuencia, las propiedades de impacto para un material, se deben referir a una temperatura específica. Sin esta información adicional, los valores de impacto tienen poco significado.

El tipo de prueba de impacto que más se utiliza en la calificación de procedimientos de soldadura, es la Charpy de muesca tipo V. En esta prueba el espécimen usado consiste en una barra de sección cuadrada, que es removida en forma transversal a la soldadura de un cupón de prueba. Las superficies de dicho espécimen deben ser lisas y estar libres de cualquier discontinuidad o rayadura, a fin de evitar posibles concentradores de esfuerzos que puedan afectar los resultados de prueba.

En uno de los lados del espécimen se maquina cuidadosamente una muesca en forma de V, con un pequeño radio en el fondo. Este maquinado es extremadamente crítico, ya que cualquier inconsistencia en el radio de la muesca, puede originar variaciones drásticas en los resultados de prueba. Usualmente, el efecto de la muesca es concentrar esfuerzos (en su raíz) que ayuden a la fractura del espécimen.

Antes de iniciar el ensayo el espécimen es enfriado a la temperatura de prueba requerida, y después colocado

rápídamente sobre dos yunques, con la muesca centrada entre ellos. Posteriormente, la superficie opuesta de la muesca es golpeada por la punta de un péndulo oscilante. La cantidad de energía requerida para lograr la fractura del espécimen, representa la tenacidad del material, la cual se expresa en pies por libra (ft.lb). Usualmente, esta cantidad se lee directamente en la carátula de la máquina de impacto. La figura 7.8 muestra los elementos básicos de una prueba de impacto Charpy de muesca tipo V.

En adición a los datos de energía absorbida, otros dos parámetros cuantitativos que determina la prueba de impacto son: la apariencia de la fractura (porcentaje de fractura de corte) y el grado de deformación (expansión lateral) del espécimen fracturado; ambos también relacionados con la ductilidad del material, ya que cuando estos valores son elevados, es un indicio de que el material tiene un comportamiento dúctil, y por el contrario, cuando son bajos, el comportamiento del material es frágil.

Un método efectivo para determinar el porcentaje de fractura de corte, consiste en comparar la apariencia de la fractura del espécimen, con una serie de apariencias de fractura estándar como las que se muestran en la figura 7.9.

Por otro lado, la expansión lateral (mils. de pulg) resulta de sumar la altura de las dos protuberancias más grandes, que



se presentan en la raíz de la muesca de las dos mitades del espécimen fracturado. La medición de dichas protuberancias se logra con un indicador de carátula como el que se muestra en la figura 7.10. Dicha medición es hecha a partir de la superficie no fracturada del espécimen de prueba.

Siempre que se realice una prueba de impacto, es de importancia definir la orientación que tendrán los especímenes con respecto al sentido de rolado del material de prueba. Normalmente, los especímenes paralelos al sentido de rolado muestran valores de energía más altos, que aquellos obtenidos en forma transversal. Por lo general, la pérdida de tenacidad en estos últimos es causada por inclusiones y segregaciones químicas que se han originado durante la solidificación del acero, y que debido al proceso de formado resultan alargadas en la dirección de rolado. La figura 7.11 muestra el efecto que tiene la orientación del espécimen, sobre los resultados de una prueba de impacto Charpy de muesca tipo V.

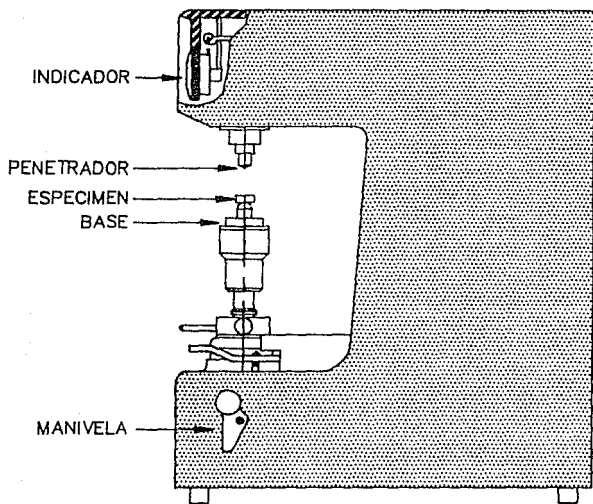


FIGURA 7.1  
PROBADOR TIPICO DE DUREZA ROCKWELL

## CONVERSION APROXIMADA DE VALORES DE DUREZA

DUREZA RB; 100 KgF DE CARGA BOLA DE 1/16"	NUMERO DE DUREZA VICKERS	DUREZA HB 3000 KgF DE CARGA BOLA DE 10 mm	DUREZA RA; 80 KgF DE CARGA PENETRADOR DE DIAMANTE	DUREZA RF; 80 KgF DE CARGA BOLA DE 1/16"	RESISTENCIA A LA TENSION APROX. KSI
100	240	240	61.5	...	116
99	234	234	60.9	...	114
98	228	228	60.2	...	109
97	222	222	59.5	...	104
96	216	216	58.9	...	102
95	210	210	58.3	...	100
94	205	205	57.6	...	98
93	200	200	57.0	...	94
92	195	195	56.4	...	92
91	190	190	55.8	...	90
90	185	185	55.2	...	89
89	180	180	54.6	...	88
88	176	176	54.0	...	86
87	172	172	53.4	...	84
86	169	169	52.8	...	83
85	165	165	52.3	...	82
84	162	162	51.7	...	81
83	159	159	51.1	...	80
82	156	156	50.6	...	77
81	153	153	50.0	...	73
80	150	150	49.5	...	72
79	147	147	48.9	...	70
78	144	144	48.4	...	69
77	141	141	47.9	...	68
76	139	139	47.3	...	67
75	137	137	46.8	99.6	66
74	135	135	46.3	99.1	65
73	132	132	45.8	98.5	64
72	130	130	45.3	98.0	63
71	127	127	44.8	97.4	62
70	125	125	44.3	96.8	61
69	123	123	43.8	96.2	60
68	121	121	43.3	95.6	59
67	119	119	42.8	95.1	58
66	117	117	42.3	94.5	57
65	116	116	41.8	93.9	56
64	114	114	41.4	93.4	...
63	112	112	40.9	92.8	...
62	110	110	40.4	92.2	...

FIGURA 7.2

RELACION DE NUMERO DE DUREZA CON LA RESISTENCIA A LA TENSION PARA ACEROS  
NO AUSTENITICOS SEGUN SA-370

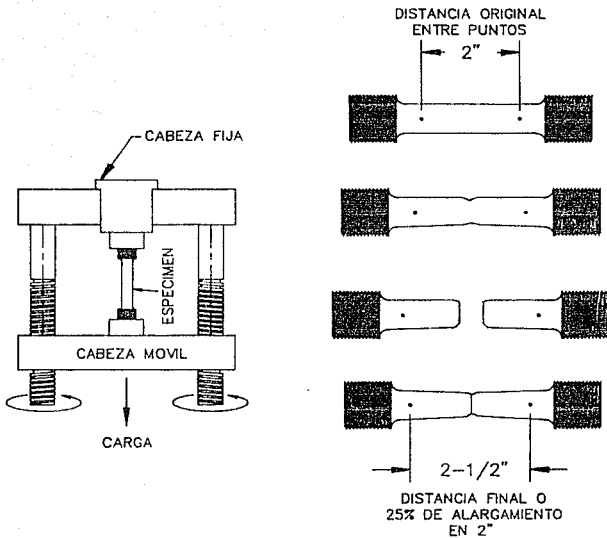


FIGURA 7.3  
PRINCIPIOS DE LA PRUEBA DE TENSION

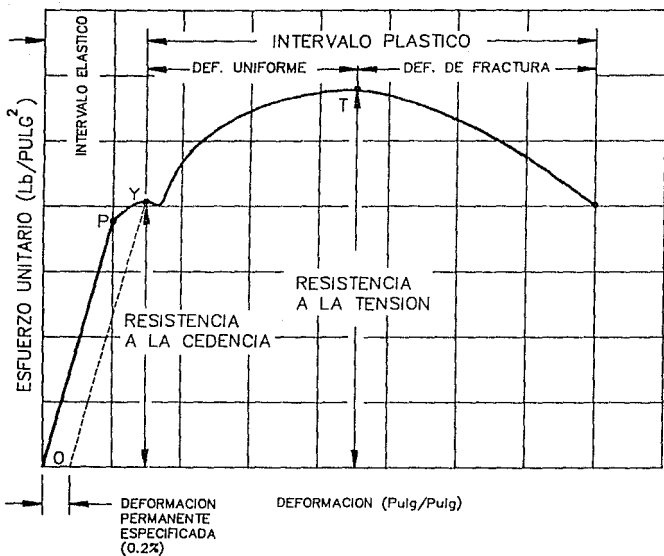


FIGURA 7.4  
 DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACION  
 PARA UN ACERO DUCTIL

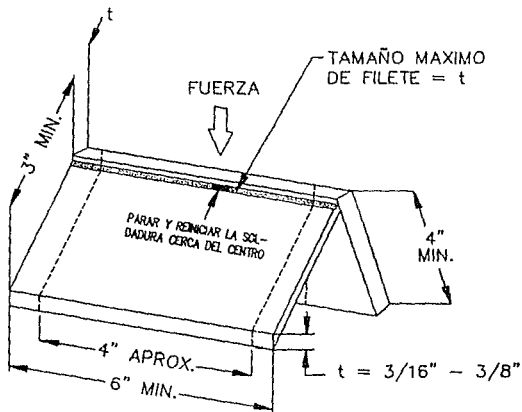
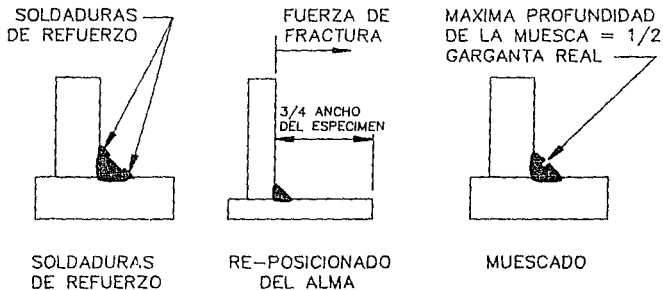


FIGURA 7.5  
 ESPECIMEN PARA PRUEBA DE FRACTURA EN  
 SOLDADURA DE FILETE, MOSTRANDO LOS TRES  
 METODOS DE ASEGURAR LA FRACTURA A LO  
 LARGO DEL CORDON DE SOLDADURA.

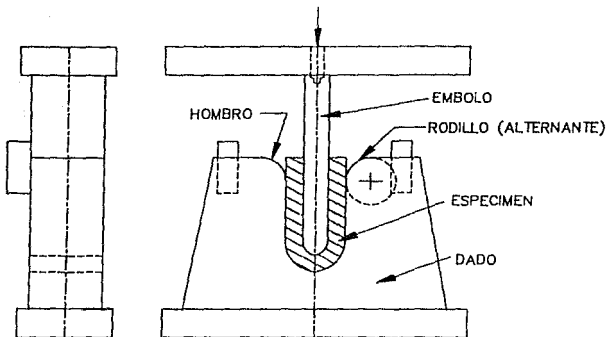


FIGURA 7.6  
DISPOSITIVO DE PRUEBA DE DOBLEZ GUIADO  
EQUIPADO CON EMBOLO

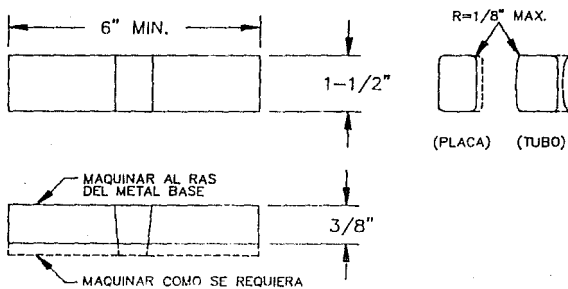


FIGURA 7.7  
ESPECIMEN TÍPICO PARA PRUEBA DE DOBLEZ  
DE CARA TRANSVERSAL EN PLACA Y TUBO

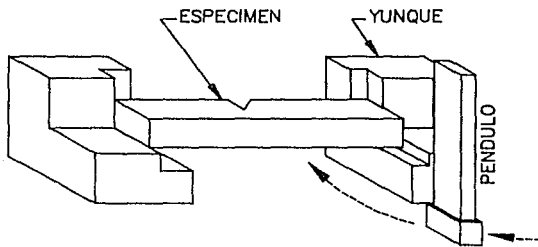
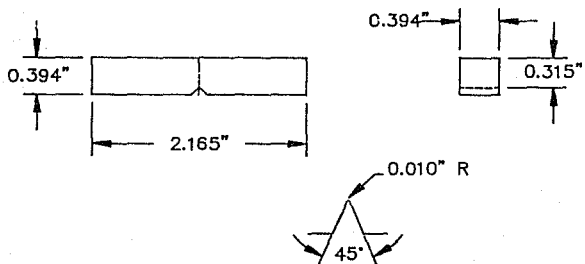


FIGURA 7.8  
ELEMENTOS BASICOS DE  
LA PRUEBA DE IMPACTO CHARPY  
DE MUESCA TIPO V



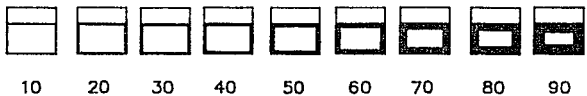
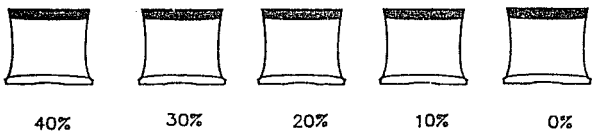
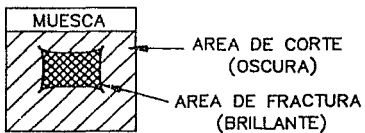


FIGURA 7.9  
 CARTAS DE APARIENCIA DE FRACTURA  
 Y COMPARADOR DE PORCENTAJE DE  
 FRACTURA DE CORTE. (SA-370)

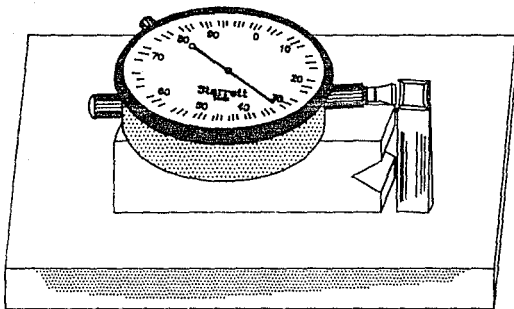


FIGURA 7.10  
INDICADOR DE CARATULA PARA  
MEDIR LA EXPANSION LATERAL  
DE LOS ESPECIMENES DE IMPACTO  
CHARPY DE MUESCA TIPO "V"

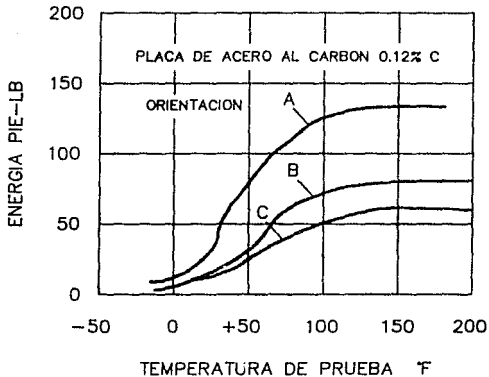
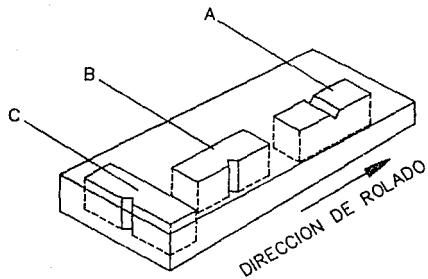


FIGURA 7.11  
 EFECTO DE LA ORIENTACION DEL ESPECIMEN  
 SOBRE LOS RESULTADOS DE UNA PRUEBA  
 DE IMPACTO DE MUESCA TIPO "V"

## 6 ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

### 8.1 CONCEPTO Y CARACTERISTICAS RELEVANTES

La especificación de procedimiento de soldadura (Welding Procedure Specification, WPS) es un documento que define en detalle todas las variables que se necesitan para producir una unión donde exista compatibilidad mecánica y metalúrgica, entre los metales base a unir y los metales de aporte seleccionados. En otras palabras, el objetivo primordial de una especificación de procedimiento de soldadura, es producir soldaduras que cumplan al menos con los mínimos requerimientos mecánicos y metalúrgicos de los metales base que van a ser unidos.

Por lo general, las variables relacionadas con la elaboración del procedimiento de soldadura, son establecidas por el código o especificación aplicable. Estas pueden ser:

a) Esenciales. Son aquellas cuyo cambio fuera de los límites establecidos por el código o especificación, es considerado a afectar las propiedades mecánicas de la unión. Cuando esto sucede, el procedimiento de soldadura debe ser recalificado. Un ejemplo de estas variables, es un cambio de un metal base o de aporte, a otro de características completamente diferentes.

b) Esenciales suplementarias. Son variables cuyo cambio fuera de los límites especificados, es considerado a afectar las propiedades de tenacidad de la unión. En este caso, el procedimiento de soldadura también debe ser recalificado. Algunos ejemplos de estas variables son: un incremento en la entrada de calor a la junta de soldadura, o un cambio de cualquier posición de soldadura, a la posición vertical ascendente.

c) No esenciales. Son aquellas cuyo cambio no afecta las propiedades mecánicas de la unión. Debido a esto, el procedimiento de soldadura no necesita ser recalificado. Un ejemplo de estas variables, es la eliminación de un respaldo de soldadura en una junta de bisel sencillo.

La especificación de procedimiento de soldadura debe ser elaborada en forma clara, concisa y sin detalles extraños, a fin de que pueda reunir los siguientes aspectos:

- 1) Cumplir con los requerimientos de un contrato u orden de compra y con las buenas prácticas de la industria.
- 2) Asegurar que las soldaduras resultantes satisfagan los requisitos de los códigos o especificaciones aplicables.
- 3) Indicar al soldador u operador de soldadura la forma en que se deben realizar las soldaduras de producción.

La mayoría de códigos y especificaciones establecen que la especificación de procedimiento de soldadura, debe ser preparada por cada fabricante o contratista; y que además, copias de la misma deben estar disponibles para soldadores, operadores de soldadura, e inspectores autorizados.

## 8.2 DETALLES

Los detalles típicos que normalmente se incluyen en la especificación de procedimiento, son discutidos a continuación. Estos detalles no necesariamente aplican a todos los procesos de soldadura. También pueden existir algunas variables para ciertos procesos, que no estén cubiertas; si éste es el caso, se debe consultar con el código o especificación aplicable. La figura 8.1 muestra estos aspectos en un formato típico de especificación de procedimiento de soldadura, realizado de acuerdo a la Sección IX del Código de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME).

a) Proceso de soldadura. El proceso de soldadura que va a ser usado en producción y el tipo de operación, deberán estar claramente descritos en la especificación de procedimiento.

El proceso de soldadura puede ser por arco metálico; en sus modalidades: con electrodo revestido, sumergido, con protección de gas y con electrodo de tungsteno.

El tipo de operación puede incluir cualquiera de las siguientes formas:

1) Manual, cuando toda la operación de soldadura es ejecutada manualmente.

2) Semiautomática, cuando el equipo de soldar controla únicamente la alimentación del metal de aporte, y la velocidad de depósito es controlada manualmente.

3) Tipo máquina, cuando el operador monitorea y controla el equipo que realiza la operación de soldadura.

4) Automática, cuando el operador no interviene en el ajuste de los controles del equipo que realiza la soldadura.

En los dos últimos tipos de operación (máquina y automática), el equipo de soldar puede o no realizar la carga y descarga del trabajo.

b) Diseño de la junta y tolerancias. los diseños detallados de la junta deben ser indicados, así como la secuencia de aplicación de la soldadura. Esto puede ser hecho mediante

bosquejos que muestren en sección transversal, el espesor del metal base y los detalles de la unión.

Las tolerancias deben ser indicadas para todas las dimensiones. Esto es importante, dado que por ejemplo, el incremento de la cara de raíz, o la disminución del ángulo de ranura y de la abertura de raíz, crean una condición en la cual, aún los soldadores más expertos no pueden producir una soldadura satisfactoria.

c) Preparación de la junta. Los métodos que pueden ser usados para preparar las juntas y el grado de limpieza superficial requerido, deben estar indicados en el procedimiento de soldadura. La preparación puede incluir: maquinado, oxicorte, o corte con arco plasma. La limpieza de las superficies a soldar puede involucrar: esmerilado, cincelado, o cepillado con cepillo de alambre.

d) Metales base. Los metales base a unir deben ser especificados. Esto puede hacerse, indicando su composición química o por referencia al código o especificación aplicable. Asimismo, se debe señalar la condición de cada material e indicar su rango de espesor calificado.

En el Código de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), para reducir el número de procedimientos de soldadura requeridos, todos los metales base con características



similares son agrupados bajo una designación de números P (P para plate, placa o metal principal). Dicha agrupación está basada en características tales como: composición química, soldabilidad y propiedades mecánicas.

e) Metales de aporte. La composición, especificación, clasificación y tamaño del metal de aporte, deben indicarse siempre, a fin de asegurar su utilización adecuada. Otras características relacionadas con el metal de aporte tales como: el rango de metal depositado y nombre comercial, también deben ser especificadas.

Los electrodos y alambres para soldar son agrupados por el Código ASME, bajo una designación de números F (F para filler o metal de aporte), la cual fundamentalmente indica la habilidad de los soldadores u operadores de soldadura, para realizar soldaduras satisfactorias con un metal de aporte dado.

Otra agrupación particular del Código ASME, es la designación de números A (A para analysis o análisis químico). Esta agrupación se refiere a la composición química del metal de soldadura depositado.

El uso de los números P, F y A, amplía el rango de calificación para cada prueba de procedimiento o de habilidad. Esto es, la calificación en lugar de ser

restringida a una simple combinación de metales base y de aporte, se convierte en una calificación para varios metales base y de aporte similares.

f) Posiciones de la soldadura. Una especificación de procedimiento siempre debe incluir las posiciones en las que se va a realizar la soldadura. Además, debe indicarse el tipo de avance (ascendente o descendente) para soldaduras en posición vertical. Las posiciones de soldadura más comunes son mostradas en la figura 8.2.

g) Temperaturas de precalentamiento e interpasos. Los límites de estas temperaturas deben ser indicados, siempre y cuando sean factores significativos en la producción de juntas sanas, o influyan en las propiedades de la unión. En muchos casos, estas dos variables deben ser conservadas en un rango bien definido, para evitar la degradación de la soldadura o de la zona afectada por el calor.

Por lo general, las temperaturas de precalentamiento e interpasos se miden por contacto directo de un crayón térmico, con la superficie del metal base más cercana a la junta de soldadura. Una práctica común, es medir estos parámetros a 1 pulg de la preparación para soldar.

h) Tratamiento térmico posterior a la soldadura. Cuando después de la soldadura, los materiales soldados requieran de

algún tratamiento térmico para lograr estabilidad dimensional, o algunas propiedades mecánicas y metalúrgicas, dicho tratamiento debe ser referido en el procedimiento de soldadura. Esto puede lograrse mediante una descripción resumida que lo refiera a un código o especificación aplicable.

i) Gas protector. Cuando se utilicen procesos de soldadura que involucren el uso de gases, ya sea de protección, arrastre o respaldo; el tipo, composición y rango de flujo de éstos, debe ser indicado en la especificación de procedimiento.

j) Características eléctricas. Siempre que la soldadura involucre el uso de energía eléctrica, el tipo de corriente debe ser especificada; esto es debido a que la mayoría de electrodos revestidos operan ya sea con corriente directa o con corriente alterna. Si se especifica corriente directa, debe indicarse la polaridad adecuada. En adición, el rango de corriente para cada tamaño de electrodo, también debe ser especificado. Para todos los procesos de soldadura por arco eléctrico, es una práctica común indicar el rango de voltaje.

k) Velocidad de depósito. Los rangos de velocidad de depósito son obligatorios para procesos de soldadura automáticos, y muchas veces son deseables para procesos semiautomáticos o manuales. Asimismo, cuando se sueldan algunos metales con

requerimientos de impacto, en donde el calor suministrado a la junta es una consideración importante, es imperativo que los límites permisibles para velocidad de depósito o ancho del cordón de soldadura, sean especificados.

l) Entrada de calor. Para materiales con requerimientos de impacto, esta variable debe ser conservada en un rango bien definido, a fin de evitar el crecimiento de grano (grano grueso) y por ende, la pérdida de tenacidad en la zona afectada por el calor. Por esta razón, los detalles para su control deben ser indicados en la especificación de procedimiento. Por lo general, la entrada de calor en una junta está gobernada por la corriente, voltaje y velocidad de depósito, utilizadas en el proceso de soldadura.

m) Limpieza de interpasos. El método de limpieza entre cordones de soldadura debe ser indicado en la especificación de procedimiento. Este puede incluir: esmerilado, cincelado, o cepillado con cepillo de alambre.

n) Eliminación de la raíz de soldadura. Cuando las juntas van a ser soldadas por ambos lados, los métodos de remoción del paso de raíz deben ser descritos en la especificación de procedimiento. Estos pueden incluir esmerilado, o ranurado con arco aire-carbón (arc-air) hasta encontrar metal de soldadura sano.

Básicamente, el método de arco aire-carbón incluye:

1) Un electrodo de carbón cuya punta forma un arco eléctrico con la pieza de trabajo.

2) Aire comprimido para desalojar el metal depositado que se encuentra en estado líquido, debido al efecto calorífico generado por el arco.

o) Martillado. El uso indiscriminado del martillado no debe ser permitido; sin embargo, algunas veces se utiliza para eliminar esfuerzos residuales o para corregir distorsiones en la soldadura o metales base; si éste es el caso, los detalles para su aplicación y las herramientas usadas, deben ser indicadas en el procedimiento de soldadura.



**ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)**

WPS No.: \_\_\_\_\_ REV.: \_\_\_\_\_ REVERSO

**POSICIONES (QW-405)**  
 POSICION(ES) DE LA RAJURA: \_\_\_\_\_  
 AVANCE DE LA SOLDADURA: \_\_\_\_\_ ASCENDENTE \_\_\_\_\_ DESCENDENTE \_\_\_\_\_  
 POSICION(ES) DEL FILETE: \_\_\_\_\_

<p><b>PRECALENTAMIENTO (QW-406)</b></p> <p>TEMPERATURAS:                  PRECALENTAMIENTO MINIMA: _____                  INTERPASOS MAXIMA: _____                  PARA EL PUNTEO CON SOLDADURA: _____                  MANTENIMIENTO DEL PRECALENTAMIENTO: _____                  OTROS: _____</p>	<p><b>TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA (QW-407)</b></p> <p>RANGO DE TEMPERATURA: _____                  RANGO DE TIEMPO: _____                  OTRO (S): _____</p>
--	---

<b>GAS (QW-408)</b>	GAS (ES)	COMPOSICION (%) (MEZCLA)	RANGO DE FLUJO
PROTECCION: _____	_____	_____	_____
ARRASTRE: _____	_____	_____	_____
RESPALDO: _____	_____	_____	_____

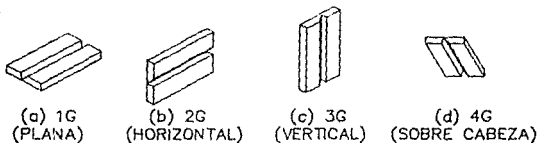
**CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)**

CORRIENTE (CD O CA): \_\_\_\_\_ POLARIDAD: \_\_\_\_\_  
 AMPERAJE (RANGO): \_\_\_\_\_ VOLTAJE (RANGO): \_\_\_\_\_  
 ENTRADA DE CALOR (MAX.): \_\_\_\_\_  
 TAMAÑO Y TIPO DEL ELECTRODO DE TUNGSTENO: \_\_\_\_\_  
 MODO DE TRANSFERENCIA PARA PROCESO GMAW: \_\_\_\_\_  
 RANGO DE ALIMENTACION DEL ALAMBRE: \_\_\_\_\_

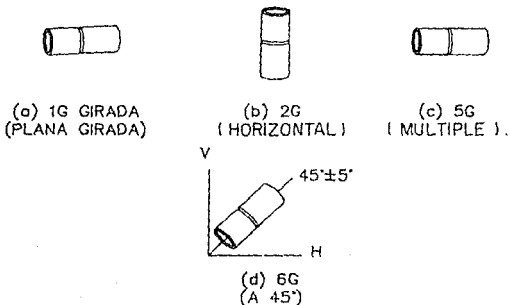
**TECNICA (QW-410)**

CORDON RECTO U OSCILADO: \_\_\_\_\_  
 ESPESOR DEL CORDON POR CADA PASADA: \_\_\_\_\_  
 TAMAÑO DE ORIFICIO O COPA DE GAS: \_\_\_\_\_  
 LIMPIEZA INICIAL/INTERPASOS: \_\_\_\_\_  
 METODO DE ELIMINACION DE RAIZ: \_\_\_\_\_  
 OSCILACION: \_\_\_\_\_  
 DISTANCIA TUBO DE CONTACTO-TRABAJO: \_\_\_\_\_  
 PASO MULTIPLE O SENCILLO (POR LADO): \_\_\_\_\_  
 ELECTRODO MULTIPLE O SENCILLO: \_\_\_\_\_  
 MARTILLADO: \_\_\_\_\_  
 OTRO (S): \_\_\_\_\_

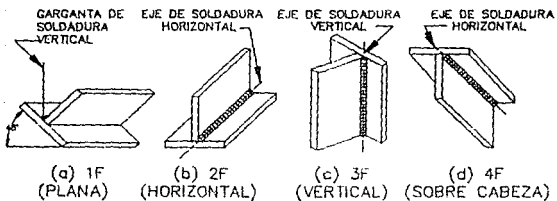
CAPA(S) DE SOLDADURA	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE		VOLTS (RANGO)	VELOCIDAD DE DEPOSITO (RANGO)	ANCHO DE CORDON MAX
		CLASE	DIAM	TIPO Y POLARIDAD	AMPS (RANGO)			



QW-461.3 POSICIONES DE PRUEBA PARA SOLDADURA DE RANURA EN PLACA



QW-461.4 POSICIONES DE PRUEBA PARA SOLDADURA DE RANURA EN TUBO



QW-461.5 POSICIONES DE PRUEBA PARA SOLDADURA DE FILETE EN PLACA

FIGURA B.2  
POSICIONES DE PRUEBA TÍPICAS PARA SOLDADURA SEGUN ASME SECCION IX.



9 CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO  
DE SOLDADURA

9.1 CARACTERISTICAS RELEVANTES

Hasta este punto, el fabricante ha escrito los procedimientos de soldadura que gobernarán la producción de cualquier componente soldado en el taller. El siguiente paso es determinar si estos procedimientos realmente produzcan juntas soldadas que cumplan con los requerimientos establecidos; una forma de lograr esto, es mediante las pruebas de calificación del procedimiento de soldadura.

El método que más se utiliza para calificar un procedimiento de soldadura, es el que emplea pruebas reales de calificación tales como: tensión, doblado guiado e impacto. Dichas pruebas pueden o no simular las condiciones reales de trabajo del componente soldado.

Normalmente, estas pruebas no son un medio para juzgar la habilidad del soldador u operador de soldadura que las realiza. Sin embargo, la mayoría de códigos consideran que si éste las aprueba, califica automáticamente para esa aplicación de soldadura.

Cada fabricante o contratista debe conducir las pruebas de calificación de procedimiento, requeridas por los códigos o

contratos de compra aplicables. Estas actividades de calificación deben efectuarse antes de iniciar las soldaduras de producción, a fin de asegurarse de que la combinación de materiales y las técnicas de soldadura seleccionadas, sean capaces de alcanzar los resultados deseados.

## 9.2 PASOS BASICOS

Existen cinco pasos básicos en la calificación de un procedimiento de soldadura; estos son:

a) Preparación, soldadura y monitoreo del cupón de prueba

Antes de iniciar una prueba de calificación de procedimiento, es de importancia señalar el alcance de la misma.

Si la calificación se realiza de acuerdo a la Sección IX del Código ASME, el procedimiento queda calificado dentro del rango de las variables esenciales establecidas para cada proceso de soldadura. Este código considera que las pruebas de ranura, además de calificar el procedimiento para soldaduras de ranura, también lo califican para soldaduras de filete; éstas últimas en todos los espesores de metal base, tamaños de filete y diámetros de tubo o tubería. Por otro lado, las pruebas de filete, califican el procedimiento únicamente para soldaduras de filete, en todos los espesores tanto de metal base como de tamaño de filete, y en todos los diámetros de tubo o tubería.

Normalmente, para calificar un procedimiento de soldadura se utiliza un ensamble o cupón de prueba hecho a partir de placa o tubo, y con una junta de soldadura representativa, la cual generalmente es la indicada en la especificación de procedimiento. El espesor, tipo y tamaño del cupón, están gobernados por el espesor, tipo y tamaño del material que va a ser soldado en producción, y por el tipo, tamaño y número de especímenes que van a ser removidos para prueba.

Un cupón típico para pruebas de calificación de procedimiento, mediante especímenes de tensión rectangulares, consiste en dos placas de 6 pulg de ancho por 14 pulg de longitud cada una. Cada placa es biselada por un extremo, y a través de toda su longitud; posteriormente, ambas son unidas mediante puentes metálicos soldados. Si el metal base requiere prueba de impacto Charpy, lo único que cambia es la longitud del cupón; ésta debe ser de 20 pulg.

Para lograr las mejores propiedades mecánicas (tensión, doblez guiado e impacto) de los especímenes, es necesario que el biselado del cupón sea perpendicular al sentido de rolado del material de prueba. Con esta orientación, los especímenes transversales para prueba resultaran paralelos a dicho sentido.

Con respecto a los especímenes de impacto, los valores de energía absorbida se obtienen localizando la muesca en la

zona de interés y en forma perpendicular a la superficie del material de prueba.

Una vez terminado el ensamble del cupón de prueba, se procede a realizar la aplicación de soldadura de acuerdo a los parámetros establecidos en la especificación de procedimiento. Cuando la calificación se realiza de acuerdo a la Sección IX del Código ASME, el cupón es soldado en posición plana; esto es debido a que dicho código considera que la calificación en esta posición, califica el procedimiento para todas las posiciones, excepto la posición vertical cuando existan requerimientos de impacto. Este código también considera que la calificación en posición vertical, califica el procedimiento para todas las posiciones.

En esta etapa, el ingeniero o inspector de soldadura debe realizar las actividades de inspección visual (antes, durante y después de la aplicación) requeridas, a fin de detectar posibles discontinuidades o anomalías que puedan afectar los resultados de prueba.

También es responsabilidad del ingeniero o inspector de soldadura, registrar todas las variables relacionadas con la soldadura del cupón de prueba. Estas pueden incluir: configuración real de la junta, secuencia de aplicación, amperaje, voltaje, velocidad de depósito, ancho del cordón de

soldadura y temperaturas de precalentamiento y de interpasos, entre otras. Este requisito se lleva a cabo en un documento certificado, conocido como registro de calificación de procedimiento (Procedure Qualification Record, PQR). La figura 9.1 muestra un formato típico de este documento, según la Sección IX del Código ASME.

b) Remoción y prueba de especímenes

Los especímenes para pruebas de calificación son removidos del cupón de prueba. El tipo, tamaño y número de especímenes removidos y los detalles de las pruebas, dependen de los requerimientos del código o especificación aplicable. Normalmente, las pruebas de soldadura de ranura incluyen especímenes de tensión y doblez guiado, los cuales determinan la resistencia, ductilidad y sanidad del metal de soldadura depositado. Si se prueban soldaduras de filete, por lo general se requieren especímenes para macro-ataque, los cuales determinan la sanidad y penetración del metal depositado. Una calificación típica de procedimiento en soldaduras de ranura, incluye 2 especímenes transversales de tensión y 4 especímenes transversales para pruebas de doblez guiado.

Algunos códigos o contratos de compra aplicables pueden requerir pruebas adicionales, a fin de cumplir con necesidades específicas. Estas pueden incluir: prueba de

impacto Charpy de muesca tipo V y prueba de dureza; ambas para el metal de soldadura, zona afectada por el calor y en algunas ocasiones también para el metal base. Usualmente, los especímenes para prueba de dureza también se obtienen en forma transversal a la soldadura del cupón de prueba.

Para lograr resultados de prueba más representativos, es necesario que los especímenes sean removidos después de todo tratamiento térmico, posterior a la soldadura del cupón de prueba.

Los requerimientos de la Sección IX del Código ASME, en lo que se refiere al tipo y número de especímenes de prueba y rango de espesor calificado, para calificaciones típicas de procedimiento en soldaduras de ranura y filete; están dados en las figuras 9.2 y 9.3. La remoción de dichos especímenes se muestra en las figuras 9.4 y 9.5.

#### c) Evaluación y registro de los resultados de prueba

Una vez que los especímenes han sido probados, y se han obtenido satisfactoriamente todos los requerimientos, los datos relevantes y los resultados de todas las pruebas y exámenes, también son incluidos en el registro de calificación de procedimiento (PQR).

En la evaluación de los resultados de prueba, los códigos aplicables proporcionan una guía general y algunos criterios

específicos de aceptación y rechazo. Por ejemplo, la resistencia mínima a la tensión y el número máximo de inclusiones u otras discontinuidades, están especificadas en estos documentos.

En general, es deseable que la soldadura iguale las propiedades mecánicas y metalúrgicas del metal base. Sin embargo, esto no siempre es posible, dado que puede haber aplicaciones donde se requiera un metal de aporte con características diferentes a las del metal base.

d) Aprobación de pruebas y especificaciones

Como regla general, el registro de calificación de procedimiento (PQR) y la especificación de procedimiento de soldadura (WPS), deben ser aprobadas por agencias de inspección o por el cliente, antes de iniciar cualquier soldadura de producción.

e) Cambios en un procedimiento de soldadura calificado

Un procedimiento de soldadura calificado que sufre cambios fuera del rango de sus variables esenciales, debe ser sometido a pruebas de recalificación, a fin de demostrar que los cambios efectuados también producirán resultados satisfactorios. Normalmente, estas pruebas no son requeridas cuando se cambian detalles menores o variables no esenciales en la especificación de procedimiento original.





**REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO (PQR)**

REVERSO

PQR No.: \_\_\_\_\_ REV.: \_\_\_\_\_

**PRUEBAS DE TENSION (QW-150)**

No. DE ESPECIMEN	ANCHO PULG.	TAMAÑO PULG.	AREA PULG. <sup>2</sup>	CARGA MAX. LB	RESIST. A LA TENSION. PSI	TIPO DE FALLA Y LOCALIZACION

**PRUEBAS DE DOBLEZ GUIADO (QW-160)**

TIPO Y NUMERO DE FIGURA	RESULTADO

**PRUEBAS DE TENACIDAD (QW-170)**

No. DE ESPECIMEN	LOCALIZACION DE LA MUESCA	TIPO DE MUESCA	TEMP. DE PRUEBA	VALORES LBF-PIE	FRACTURA / EXP. LAT.	
					% CORTE	MILS.

**PRUEBA DE SOLDADURA DE FILETE (QW-180)**

RESULTADO SATISFACTORIO:	SI ( )	NO ( )
PENETRACION EN METAL BASE:	SI ( )	NO ( )
RESULTADOS DE MACROATAQUE:	_____	

**OTRAS PRUEBAS**

TIPO DE PRUEBA: \_\_\_\_\_

ANALISIS DEL DEPOSITO: \_\_\_\_\_

OTRO (S): \_\_\_\_\_

NOMBRE DEL SOLDADOR: \_\_\_\_\_ FICHA: \_\_\_\_\_ MARCA: \_\_\_\_\_

PRUEBAS CONDUCCIDAS POR: \_\_\_\_\_

PRUEBA DE LABORAT. No.: \_\_\_\_\_

CERTIFICAMOS QUE LAS AFIRMACIONES ESTABLECIDAS EN ESTE REGISTRO SON CORRECTAS Y QUE LOS CUPONES DE PRUEBA FUERON PREPARADOS, SOLDADOS Y PROBADOS DE ACUERDO CON LOS REQUERIMIENTOS DE LA SECCION IX DEL CODIGO A S M E.

FABRICANTE: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

POR: \_\_\_\_\_

QW-451.1  
PRUEBAS DE TENSION Y PRUEBAS DE DOBLEZ TRANSVERSAL

ESPESOR T DEL CUPON DC PRUEBA SOLDADO, PULG	RANGO DE ESPESOR T DE METAL BASE CALIFICADO, PULG (NOTA (1))		ESPESOR t DE METAL DE SOLDADURA CALIFICADO, PULG (NOTA (1))	TIPO Y NUMERO DE PRUEBAS REQUERIDAS (PRUEBAS DE TENSION Y DOBLEZ GUIADO (NOTA (4)))			
	MIN	MAX	MAX	TENSION QW-150	DOBLEZ LATERAL QW-180	DOBLEZ DE CARA QW-180	DOBLEZ DE RAZ QW-180
MEJOR QUE 1/16	T	2T	2t	2	...	2	2
1/16 A 3/8	1/16	2T	2t	2	NOTA (3)	2	2
MAYOR QUE 3/8 PERO MENOR QUE 3/4							
3/4 Y MENOR QUE 1 1/2	3/16	2T	2t	2	NOTA (3)	2	2
3/4 Y MENOR QUE 1 1/2	3/16	2T	2t CUANDO $t \leq 3/4$	2 (5)	4	...	...
1 1/2 Y MAYORES	3/16	8 (2)	2t CUANDO $t \leq 3/4$	2 (5)	4	...	...
1 1/2 Y MAYORES	3/16	8 (2)	8 (2) CUANDO $t \geq 3/4$	2 (5)	4	...	...

NOTAS:

- (1) - PARA LIMITES ADICIONALES SOBRE EL RANGO DE ESPESOR CALIFICADO VER QW-403 (2, 3, 5, 9, 10) Y QW-407.4; TAMBIEN PARA EXCEPCIONES PERMITIDAS VER QW-202 (2, 3, 4).
- (2) - SOLAMENTE PARA LOS PROCESOS DE SOLDADURA INDICADOS EN QW-403.7; DE OTRA MANERA SEGUN NOTA (1) O 2T, O 2t, CUALQUIERA QUE SEA APLICABLE.
- (3) - CUANDO EL ESPESOR T SEA DE 3/8" Y MAYOR, CUATRO PRUEBAS DE DOBLEZ LATERAL SE PUEDEN SUSTITUIR POR LAS PRUEBAS DE DOBLEZ DE CARA Y RAZ REQUERIDAS.
- (4) - PARA COMBINACIONES DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA VER QW-200.4.
- (5) - PARA DETALLES DE ESPECIMENES MULTIPLES CUANDO LOS ESPESORES DEL CUPON DE PRUEBA SON SUPERIORES A 1" VER QW-151 (1, 2, 3).

FIGURA 9.2

LIMITES DE ESPESOR Y ESPECIMENES DE PRUEBA TÍPICOS PARA CALIFICACION DE  
PROCEDIMIENTO EN SOLDADURA DE RANURA SEGUN ASME SECCION IX

**QW-451.3**  
**PRUEBAS DE SOLDADURA DE FILETE**

	ESPESOR DE LOS CUPONES DE PRUEBA	RANGO	TIPO Y NUMERO DE PRUEBAS REQ.
<b>JUNTA</b>	COMO SON SOLDADOS  PULG.	CERTIFICADO	QW-462.4(a)  MACROATAQUE
FILETE	SEGUN QW-462.4(a)	TODOS LOS TAMAÑOS DE FILETE SOBRE EL METAL BASE Y TODOS LOS DIAMETROS DE TUBO.	5

**FIGURA 9.3**  
**LIMITES DE ESPESOR Y ESPECIMENES DE PRUEBA TÍPICOS PARA CALIFICACION  
DE PROCEDIMIENTO EN SOLDADURA DE FILETE SEGUN A S M E SECCION IX**

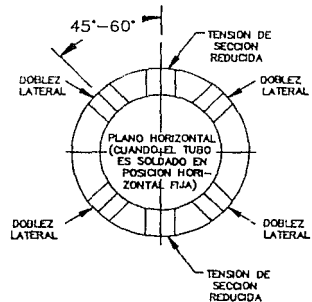
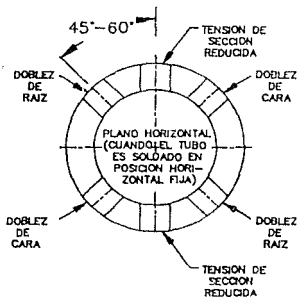
DESCARTAR	ESTA SECCION
ESPECIMEN DE TENSION	DE SECCION REDUCIDA
ESPECIMEN DE	DOBLEZ DE RAIZ
ESPECIMEN DE	DOBLEZ DE CARA
ESPECIMEN DE	DOBLEZ DE RAIZ
ESPECIMEN DE	DOBLEZ DE CARA
ESPECIMEN DE TENSION	DE SECCION REDUCIDA
DESCARTAR	ESTA SECCION

DESCARTAR	ESTA SECCION
ESPECIMEN DE	DOBLEZ LATERAL
ESPECIMEN DE TENSION	DE SECCION REDUCIDA
ESPECIMEN DE	DOBLEZ LATERAL
ESPECIMEN DE	DOBLEZ LATERAL
ESPECIMEN DE TENSION	DE SECCION REDUCIDA
ESPECIMEN DE	DOBLEZ LATERAL
DESCARTAR	ESTA SECCION



QW-463.1(a) CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO EN PLACAS MENORES QUE 3/4" DE ESPESOR

QW-463.1(b) CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO EN PLACAS DE 3/4" DE ESPESOR Y MAYORES, Y ALTERNANTE PARA ESPESORES DE PLACA DESDE 3/8", PERO MENORES QUE 3/4"

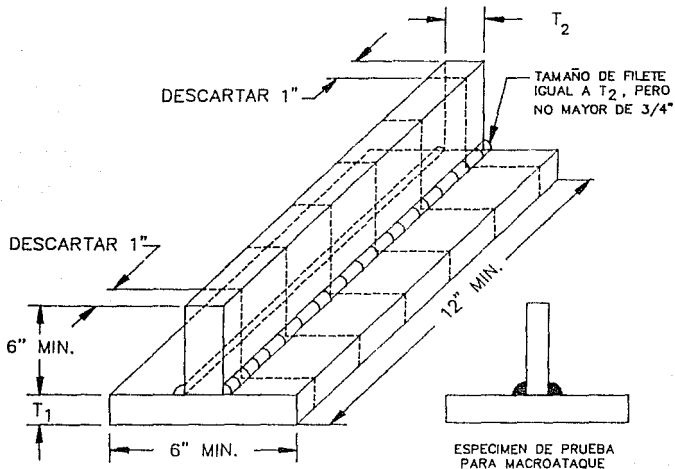


QW-463.1(d) CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO EN TUBOS MENORES QUE 3/4" DE ESPESOR

QW-463.1(e) CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO EN TUBOS DE 3/4" DE ESPESOR Y MAYORES, Y ALTERNANTE PARA ESPESORES DE TUBO DESDE 3/8", PERO MENORES QUE 3/4"

FIGURA 9.4  
REMOCION DE ESPECIMENES DE PRUEBA TÍPICOS PARA CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO EN SOLDADURA DE RANURA SEGUN ASME SECCION IX.

$T_1$	$T_2$
1/8" Y MENORES	$T_1$
MAYOR QUE 1/8"	IGUAL A O MENOR QUE $T_1$ PERO NO MENOR QUE 1/8"



**NOTA GENERAL:**

PRUEBA DE MACROATAQUE: EL FILETE DEBE MOSTRAR FUSION EN LA RAIZ DE LA SOLDADURA, PERO NO NECESARIAMENTE MAS ALLA DE LA RAIZ. EL METAL DE SOLDADURA DEPOSITADO Y LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR DEBEN ESTAR LIBRES DE GRIETAS.

QW-462.4(a) CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO EN SOLDADURA DE FILETE.

FIGURA 95  
REMOCION DE ESPECIMENES DE PRUEBA TÍPICOS PARA CALIFICAR PROCEDIMIENTO EN SOLDADURA DE FILETE SEGUN ASME SECCION IX.

10 CALIFICACION DE LA HABILIDAD DEL SOLDADOR U  
OPERADOR DE SOLDADURA

10.1 CARACTERISTICAS RELEVANTES

Una vez que el procedimiento de soldadura ha sido calificado, éste no puede ser usado hasta que los soldadores u operadores de soldadura hayan sido calificados para realizar soldaduras de acuerdo a ese procedimiento. Una forma de lograr este requisito, es mediante las pruebas de calificación de habilidad, las cuales determinan la capacidad de un soldador u operador de soldadura, para producir soldaduras sanas con los procesos, materiales y procedimientos que van a ser utilizados en producción.

Antes de continuar, es de importancia establecer la diferencia entre un soldador y un operador de soldadura. El primero, es aquel que realiza operaciones de soldadura manuales o semiautomáticas, y el segundo, es quien opera una máquina o un equipo automático de soldar.

Normalmente, las pruebas de calificación de habilidad son soldaduras estandarizadas hechas con esfuerzo y atención especiales, por lo cual no son un indicativo de lo que hará el operario bajo las condiciones reales de producción. Por esta razón, no puede tenerse una confiabilidad completa en estas pruebas para lograr la calidad total de las soldaduras.

Sin embargo, este requisito, junto con la especificación y calificación del procedimiento de soldadura, y con la supervisión e inspección adecuadas antes, durante y después de la aplicación, es un medio efectivo para asegurar la producción de soldaduras satisfactorias.

Al realizar una prueba de calificación de habilidad, se deben tomar en cuenta ciertos detalles que pueden afectar la capacidad de los soldadores u operadores de soldadura, para producir soldaduras aceptables. Estos detalles son comúnmente conocidos como variables esenciales para calificación de habilidad. Algunos ejemplos de estas variables son: posición de la soldadura, tipo de metal base y de aporte, materiales de respaldo y espesor de metal depositado.

Usualmente, cada fabricante o contratista debe calificar y certificar a sus soldadores u operadores de soldadura, en base a los requerimientos de un código o especificación aplicable.

## 10.2 PASOS BASICOS

Similar a la calificación del procedimiento de soldadura, la calificación de habilidad involucra cinco pasos; estos son:

a) Preparación, soldadura y monitoreo del cupón de prueba

Antes de iniciar una prueba de calificación de habilidad, es de importancia indicar el alcance de la misma.

Si la calificación se realiza de acuerdo a la Sección IX del Código ASME, el soldador u operador de soldadura queda calificado dentro del rango de las variables esenciales establecidas para cada proceso de soldadura. Este código considera que las pruebas de habilidad en soldaduras de ranura, además de calificar al operario para aplicar soldaduras de ranura, también lo califican para soldaduras de filete. Por otro lado, las pruebas de habilidad en soldaduras de filete, limitan al soldador u operador de soldadura a aplicar únicamente soldaduras de filete.

Al igual que en la calificación de procedimiento, para calificar la habilidad del personal que realizará las soldaduras de producción, se utilizan cupones de prueba hechos a partir de placa o tubo, y con una junta sencilla de soldadura, que puede ser la establecida en la especificación de procedimiento, o la especificada por el código aplicable. El espesor y tipo de material del cupón, están gobernados por el espesor del metal de soldadura a depositar y por el tipo de material que va a ser soldado en producción.

La figura 10.1 muestra las configuraciones típicas de junta para calificación de habilidad, propuestas por la Sección IX del Código ASME.

Un cupón típico para pruebas de calificación de habilidad, consiste en dos placas de 3 1/2 pulg de ancho por 7 pulg de



longitud cada una. Cada placa es biselada en forma transversal a la dirección de rolado del material; posteriormente, ambas son unidas mediante puentes metálicos soldados.

Una vez terminado el ensamble del cupón de prueba, se procede a realizar la aplicación de soldadura en base a los parámetros establecidos en el procedimiento de soldadura calificado. Normalmente, la soldadura del cupón se realiza en las posiciones que se van a requerir para producción. La figura 10.2 muestra las limitaciones de posición y diámetros de tubería, para calificación de habilidad, según la Sección IX del Código ASME.

En esta etapa el ingeniero o inspector de soldadura debe realizar las siguientes actividades:

- 1) Antes de la aplicación de soldadura, debe verificar que el ensamble del cupón sea el adecuado y que la configuración de la junta sea la indicada en el procedimiento de soldadura, o la especificada por el código en uso.
- 2) Durante la soldadura del cupón de prueba, debe asegurarse que ésta se realice de acuerdo a los parámetros establecidos en la especificación de procedimiento calificado.
- 3) Después de la aplicación, debe inspeccionar el cupón de prueba, a fin de detectar posibles discontinuidades (tales

como: socavados, faltas de fusión y penetración, y refuerzos excesivos de soldadura) que pongan en evidencia la falta de habilidad del operario, para realizar soldaduras aceptables.

En cualquiera de las actividades anteriormente descritas, el ingeniero o inspector de soldadura tiene la facultad de suspender cualquier prueba de calificación, siempre y cuando considere que la persona que realiza la prueba, carece de habilidad para depositar soldaduras satisfactorias. Cuando esto sucede, se considera que esta persona ha fallado la prueba de calificación.

También es tarea del ingeniero o inspector de soldadura, registrar todas las variables relacionadas con la soldadura del cupón de prueba. Estas pueden incluir: metales base y de aporte, materiales de respaldo, espesor o diámetro del cupón, posición de la soldadura, espesor del metal depositado, avance de la soldadura, gas de respaldo, tipo de corriente y polaridad, entre otras. Este requisito se logra mediante un documento certificado, conocido como registro de calificación de habilidad del soldador u operador de soldadura (Welder or Welding Operator Qualification Record, WQP). La figura 10.3 muestra un formato típico de este documento, según la Sección IX del Código ASME.

b) Remoción y pruebas de especímenes

Los especímenes para pruebas de habilidad son removidos del cupón de prueba. El tipo y número de especímenes removidos y los detalles de las pruebas, dependen de los requerimientos del código o especificación en uso. Normalmente, las pruebas de habilidad en soldaduras de ranura incluyen especímenes de dobléz guiado o radiografía del cupón de prueba; ambas para determinar la sanidad del metal de soldadura depositado. Si se prueba la habilidad en soldaduras de filete, usualmente se requieren especímenes para fractura y macro-ataque, los cuales determinan la sanidad y penetración del metal depositado. Una calificación típica de habilidad en soldaduras de ranura, requiere de inspección radiográfica del cupón de prueba, en una longitud mínima de 6 pulg.

Normalmente, todas las pruebas de calificación de habilidad se efectúan en la condición de soldadura; esto es debido a que el tratamiento térmico posterior a la soldadura no afecta la sanidad del metal depositado.

Los requerimientos de la Sección IX del Código ASME, en lo que se refiere al tipo y número de especímenes de prueba, límites de diámetro y rango de espesor calificado, para calificaciones típicas de habilidad en soldaduras de ranura y filete; están dados en las figuras 10.4, 10.5 y 10.6. La

remoción de dichos especímenes se muestra en las figuras 10.7 y 10.8.

c) Evaluación y registro de los resultados de prueba

Después de que los especímenes han sido probados en forma satisfactoria, los rangos de habilidad calificados y los resultados de todas las pruebas y exámenes, también son incluidos en el registro de calificación de habilidad (WQP).

La evaluación de los resultados de prueba para calificación de habilidad, está soportada por los criterios de aceptación y rechazo, establecidos por los códigos aplicables. Por ejemplo, uno de los criterios de rechazo de la Sección IX del Código ASME, es aquel que considera al cupón de prueba como inaceptable, cuando la inspección radiográfica de la soldadura exhibe cualquier tipo de grieta, o zona de fusión inadecuada o de penetración incompleta.

d) Repetición de la prueba de calificación

Un soldador u operador de soldadura que falla en obtener los requerimientos de habilidad, puede repetir la prueba de calificación. Esto se lleva a cabo haciendo dos cupones consecutivos de prueba, para cada proceso y posición en los que él ha fallado. Las pruebas requeridas para estos cupones, deben ser las mismas que aquellas que se realizaron en los cupones de prueba originales; esto es, si el cupón original

falló con pruebas de doblez guiado, los dos nuevos cupones también deben ser evaluados con pruebas de doblez; además, ambas pruebas deben cumplir con los requerimientos establecidos.

Si a pesar de esta segunda oportunidad, el operario no aprueba la calificación, es necesario que éste reciba un entrenamiento adicional, en el proceso de soldadura y en la posición, en los cuales falló por segunda vez. Si el entrenamiento es documentado, el soldador u operador de soldadura puede efectuar otra prueba de calificación. En este caso, dicha prueba es repetida como si nunca hubiera existido falla alguna.

#### e) Recalificación de habilidad

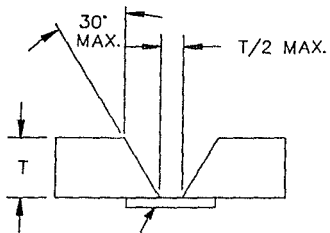
La recalificación de habilidad debe ser realizada cuando se presente cualquiera de las siguientes circunstancias:

- 1) Cuando se haga un cambio fuera del rango calificado de las variables esenciales establecidas para cada proceso de soldadura. Por ejemplo, un cambio de un número P de metal de aporte a otro, o un cambio de posición de soldadura. En este caso, la prueba de recalificación es hecha para las nuevas condiciones de trabajo.

- 2) Cuando el soldador u operador de soldadura haya dejado de soldar con un proceso específico para el que fue calificado

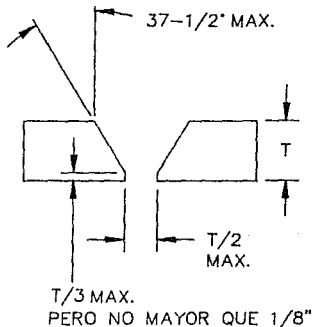
con anterioridad, por un período de seis meses o más. En este caso, la recalificación se realiza en condiciones similares a aquellas que se emplearon para soldar el cupón de prueba original.

3) Cuando exista una razón específica que cuestione la habilidad del operario, para realizar soldaduras sanas en producción. Si esto sucede, únicamente la calificación que soporta la soldadura que él está realizando, debe ser revocada. En este punto, la recalificación se realiza con un cupón de prueba, que debe ser soldado en condiciones similares a las usadas en producción.



TAMAÑO SUGERIDO DEL ANILLO  
O TIRA DE RESPALDO (T/3) X  
1 1/4T

QW-469.1 JUNTA A TOPE



QW-469.2 ALTERNATIVA  
DE JUNTA A TOPE

FIGURA 10.1  
CONFIGURACIONES TÍPICAS DE JUNTA PARA  
CALIFICACION DE HABILIDAD SEGUN ASME SECCION IX.

QW-461.9  
**LIMITACIONES DE POSICION Y DIAMETRO PARA CALIFICACION DE HABILIDAD  
(DENTRO DE LAS LIMITACIONES DE QW-303)**

PRUEBA DE CALIFICACION		POSICION Y TIPO DE SOLDADURA CALIFICADA (NOTA (1))		
		RANURA		FILETE
SOLDADURA	POSICION	PLACA Y TUBO	TUBO	PLACA
		> DE 24" DIAM. EXT.	≤24" DIAM. EXT.	Y TUBO
RANURA - EN PLACA	1G	F	F (NOTA (2))	F
	2G	F,H	F,H (NOTA (2))	F,H
	3G	F,V	F (NOTA (2))	F,H,V
	4G	F,O	F (NOTA (2))	F,V,O
	3G Y 4G	F,V,O	F (NOTA (2))	TODAS
	2G, 3G Y 4G	TODAS	F,H (NOTA (2))	TODAS
	POSICS. ESPECIALES (SP)	SP	SP	SP,F
FILETE - EN PLACA	1F	....	....	F (NOTA (2))
	2F	....	....	F,H (NOTA (2))
	3F	....	....	F,H,V (NOTA (2))
	4F	....	....	F,H,O (NOTA (2))
	3F Y 4F	....	....	TODAS (NOTA (2))
	POSICS. ESPECIALES (SP)	....	....	SP,F (NOTA (2))
RANURA - EN TUBO (NOTA (3))	1G	F	F	F
	2G	F,H	F,H	F,H
	3G	F,V,O	F,V,O	TODAS
	6G	TODAS	TODAS	TODAS
	2G Y 3G	TODAS	TODAS	TODAS
	POSICS. ESPECIALES (SP)	SP	SP	SP,F
FILETE - EN TUBO (NOTA (3))	1F	....	....	F
	2F	....	....	F,H
	2FR	....	....	F,H
	4F	....	....	F,V,O
	5F	....	....	TODAS
	POSICS. ESPECIALES (SP)	....	....	SP,F

**NOTAS:**

(1) LAS POSICIONES DE SOLDADURA SON COMO SE MUESTRAN EN QW-461.1 Y QW-461.2

- F = PLANA
- H = HORIZONTAL
- V = VERTICAL
- O = SOBRE CABEZA

(2) TUBO DE 2 7/8" DIAM EXT MINIMO

(3) VER RESTRICCIONES DE DIAMETRO QW-452.3, QW-452.4 Y QW-452.6

**FIGURA 10.2**  
**LIMITACIONES DE POSICION Y DIAMETRO PARA**  
**CALIFICACIONES DE HABILIDAD SEGUN ASME SECCION IX**





**QW-452.1**  
**PRUEBAS DE DOBLEZ TRANSVERSAL**

ESPOSOR I CALIFICADO DE METAL DE SOLDADURA DEPOSITADO PULG. (NOTA (2)). (VER QW-310.1)		TIPO Y NUMERO DE PRUEBAS REQUERIDAS (PRUEBAS DE DOBLEZ GUIADO). (NOTAS (3), (4), (8))			
TIPO DE JUNTA	ESPOSOR DEL CUPON DE PRUEBA SOLDADO PULG. (NOTAS (1))	DOBLEZ LATERAL		DOBLEZ DE CARA	DOBLEZ DE RAIZ (NOTA (5))
		MAX.	QW-452.2	QW-462.3(a)	QW-462.3(a)
RAMURA	HASTA 3/8	2T	NOTA (6)	1	1
RAMURA	MAYOR QUE 3/8	2T	NOTA (7)	1	1
RAMURA	PERO MENOR QUE 3/4				
	3/4 Y MAYORES	MAXIMO A SER SOLDADO	2	...	...

**NOTAS:**

- (1) - CUANDO SE CALIFIQUEN UNO O MAS SOLDADORES, EL ESPOSOR I DE METAL DE SOLDADURA DEPOSITADO PARA CADA SOLDADOR CON CADA PROCESO, DEBE SER DETERMINADO Y USADO INDIVIDUALMENTE EN LA COLUMNA DE ESPOSOR.
- (2) - DOS O MAS CUPONES DE PRUEBA TUBULARES DE DIFERENTES ESPORES PUEDEN SER USADOS PARA DETERMINAR EL ESPOSOR CALIFICADO DE METAL DE SOLDADURA DEPOSITADO Y ESE ESPOSOR PUEDE SER APLICADO A SOLDADURAS DE PRODUCCION EN EL DIAMETRO MAS PEQUEÑO PARA EL CUAL EL SOLDADOR ES CALIFICADO EN CONFORMIDAD CON QW-452.3.
- (3) - UN ESPOSOR DE CUPON DE PRUEBA DE 3/4" O MAYOR, DEBE SER USADO PARA CALIFICAR UNA COMBINACION DE TRES O MAS SOLDADORES, DONDE CADA CUAL PUEDE USAR EL MISMO O UN DIFERENTE PROCESO DE SOLDADURA.
- (4) - PARA CALIFICAR EN POSICION 5G Y 6G, COMO SE PRESCRIBE EN QW-302.3, SE REQUIEREN DOS ESPECIMENES DE DOBLEZ DE CARA Y DOS DE RAIZ O CUATRO ESPECIMENES DE DOBLEZ LATERAL, COMO SEA APLICABLE AL ESPOSOR DE CUPON DE PRUEBA.
- (5) - LAS PRUEBAS DE DOBLEZ DE CARA Y RAIZ PUEDEN SER USADAS PARA CALIFICAR UNA COMBINACION DE:
  - (a) - UN SOLDADOR USANDO DOS PROCESOS DE SOLDADURA O
  - (b) - DOS SOLDADORES USANDO EL MISMO O DIFERENTE PROCESO DE SOLDADURA.
- (6) - PARA UN ESPOSOR DE CUPON DE 3/8" UNA PRUEBA DE DOBLEZ LATERAL PUEDE SUSTITUIR A CADA UNA DE LAS PRUEBAS DE CARA Y DE RAIZ REQUERIDAS.
- (7) - UNA PRUEBA DE DOBLEZ LATERAL PUEDE SUSTITUIR A CADA UNA DE LAS PRUEBAS DE DOBLEZ DE CARA Y RAIZ REQUERIDAS.
- (8) - LOS CUPONES DE PRUEBA DEBEN SER EXAMINADOS VISUALMENTE, SEGUN QW-302.4.

**FIGURA 10.4**  
**LIMITES DE ESPOSOR Y ESPECIMENES DE PRUEBA TÍPICOS PARA CALIFICACION DE HABILIDAD  
EN SOLDADURA DE RAMURA SEGUN A S ME SECCION IX.**

**QW-452.3**  
**LIMITES DE DIAMETRO CALIFICADO EN SOLDADURA DE RANURA**

DIAMETRO EXT. DEL CUPON DE PRUEBA, PULG.	DIAMETRO EXT. MINIMO CALIFICADO, PULG.
MENOR QUE 1	TAMAÑO SOLDADO
1 Y MENOR QUE 2 7/8	1
2 7/8 Y MAYORES	2 7/8

- NOTAS:
- (1).- EL TIPO Y NUMERO DE PRUEBAS REQUERIDAS DEBE ESTAR EN CONFORMIDAD CON QW-452.1 .
- (2).- EL DIAMETRO EXTERIOR DE 2 7/8" ES CONSIDERADO EL EQUIVALENTE DE 2 1/2 NPS.

**FIGURA 10.5**  
**LIMITES DE DIAMETRO CALIFICADO PARA SOLDADURA DE RANURA**  
**SEGUN A S M E SECCION IX**

**QW-452.5**  
**PRUEBA DE HABILIDAD EN SOLDADURA DE FILETE**

TIPO DE JUNTA	ESPOSOR T DEL CUPON DE PRUEBA COMO ES SOLDADO, PULG.	RANGO CALIFICADO	TIPO Y NUMERO DE PRUEBAS REQUERIDAS (QW-452.4(b)) O QW-452.4(c))	
			MACRO	FRACTURA
FILETE EN T	3/16 - 3/8	TODOS LOS ESPESORES DE METAL BASE, TAMAÑOS DE FILETE Y DIAMETROS DE TUBO DE 2 7/8 Y MAYORES (1)	1	1
	MENOR QUE 3/16	ESPOSORES DE METAL BASE T A 2T, TAMAÑO MAXIMO DE FILETE T Y TODOS LOS DIAMETROS DE TUBO DE 2 7/8 Y MAYORES (1)	1	1

- NOTA:
- (1) EL DIAMETRO EXTERIOR DE 2 7/8" ES CONSIDERADO EL EQUIVALENTE DE 2 1/2 NPS. PARA CALIFICACIONES DE DIAMETRO MAS PEQUEÑO, REFERIRSE A QW-452.4 O QW-452.6.

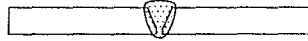
**FIGURA 10.6**  
**LIMITES DE ESPESOR Y ESPECIMENES DE PRUEBA TÍPICOS PARA CALIFICACION DE**  
**HABILIDAD EN SOLDADURA DE FILETE SEGUN A S M E SECCION IX**

DESCARTAR	ESTA SECCION
ESPECIMEN DE	DOBLEZ DE RAIZ
ESPECIMEN DE	DOBLEZ DE CARA
DESCARTAR	ESTA SECCION

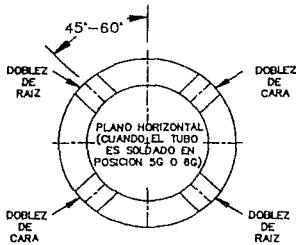
DESCARTAR	ESTA SECCION
ESPECIMEN DE	DOBLEZ LATERAL
ESPECIMEN DE	DOBLEZ LATERAL
DESCARTAR	ESTA SECCION



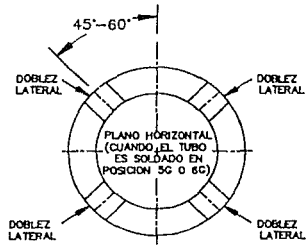
QW-463.2(g) CALIFICACION DE HABILIDAD EN PLACAS MENORES QUE 3/4" DE ESPESOR



QW-463.2(b) CALIFICACION DE HABILIDAD EN PLACAS DE 3/4" DE ESPESOR Y MAYORES, Y ALTERNANTE PARA ESPESORES DE PLACA DESDE 3/8", PERO MENORES QUE 3/4"

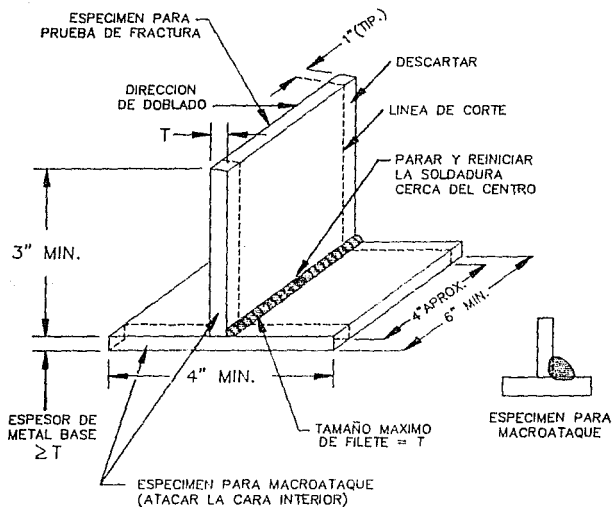


QW-463.2(d) CALIFICACION DE HABILIDAD EN TUBOS MENORES QUE 3/4" DE ESPESOR



QW-463.2(e) CALIFICACION DE HABILIDAD EN TUBOS DE 3/4" DE ESPESOR Y MAYORES, Y ALTERNANTE PARA ESPESORES DE TUBO DESDE 3/8", PERO MENORES QUE 3/4"

FIGURA 10.7  
REMOCION DE ESPECIMENES DE PRUEBA TÍPICOS PARA CALIFICACION DE HABILIDAD EN SOLDADURA DE RANURA SEGUN ASME SECCION IX.



NOTA GENERAL: REFERIRSE A QW-452.5 PARA RANGOS DE ESPELOR CALIFICADO T

QW-462.4(b) CALIFICACION DE HABILIDAD EN SOLDADURA DE FILETE

FIGURA 10.8  
 REMOCION DE ESPECIMENES DE PRUEBA TÍPICOS PARA CALIFICACION DE HABILIDAD EN SOLDADURA DE FILETE, SEGUN ASME SECCION IX.

## 11 MATERIALES Y DESARROLLO

### 11.1 MATERIALES

#### a) Placas

Para el desarrollo del presente trabajo se eligió un material que debido a sus características, constituye uno de los más empleados a nivel industrial, para la fabricación de recipientes que van a trabajar a altas temperaturas. Por su composición química este material se clasifica dentro de los aceros aleados al cromo-molibdeno, y por su aplicación se denomina como "Placa de Acero Aleado al Cromo-Molibdeno para la Construcción de Recipientes a Presión en Servicio a Elevada Temperatura", y corresponde bajo esta denominación, a la especificación SA-387, de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers, ASME). Es importante mencionar que la especificación SA-387 comprende placas de acero en once grados distintos, que son: 2, 12, 11, 22, 22L, 21, 21L, 5, 7, 9 y 91, los cuales están agrupados en dos clases, que son la 1 y 2; cada grado y clase está caracterizado por requerimientos químicos y propiedades mecánicas bien definidas.

Entonces, dentro de estas clasificaciones, el material seleccionado corresponde a la especificación SA-387 Gr. 22,

Cl. 1, el cual es normalmente conocido como placa de acero 2 1/4 Cr - 1 Mo.

También en la especificación SA-387 se indican algunos requisitos suplementarios que pueden ser aplicados bajo acuerdo entre comprador y vendedor. Estos requisitos son detallados en la especificación ASME SA-20 (Requisitos Generales de Placas de Acero para Recipientes a Presión).

En relación al material empleado, un requisito suplementario establecido por el cliente, es la prueba de impacto. Dicha prueba tiene las siguientes características:

Tipo de prueba:	De muesca tipo V
Valor mínimo de impacto:	35 ft.lb
Temperatura de prueba:	32° F

Otros requerimientos adicionales establecidos por el cliente para este tipo de material, son:

Temperatura de servicio:	970° F
Espesor:	1 5/8 pulg
Condición:	Normalizado y revenido
Valor máximo de dureza :	225 BHN

Límites de composición química max. (%):

P	S	Sn	Sb	As	V
0.010	0.010	0.015	0.005	0.015	0.010

$$\text{Factor J} = (\text{Mn} + \text{Si}) (\text{P} + \text{Sn}) \times 10^4 \leq 150$$

(Fórmula de Watanabe, AWS. Welding Research Supplement,  
May. 1983)

Donde:

El factor J es estimado en condiciones de servicio, y se ha comprobado que con un valor  $\leq$  a 150 se reduce considerablemente la fragilización por revenido en los materiales 2 1/4 Cr - 1 Mo.

Los elementos son expresados en por ciento (%).

#### a).1 Características de la placa

Las características de la placa empleada para calificar el procedimiento de soldadura y la habilidad del soldador, se indican a continuación:

Material para procedimiento:	Placa de acero SA-387 Gr. 22, Cl. 1
Condición:	Normalizado (1700°F) y revenido (1380 °F)
Espesor:	1 5/8 pulg



Composición química real (%):

C	Mn	P	S	Si	Cr
0.075	0.50	0.010	0.001	0.244	2.21
Mo	Sn	Sb	As	V	
0.93	0.001	0.0006	0.004	0.003	

$$\text{Factor } J = (0.50 + 0.244) (0.010 + 0.001) \times 10^4 = 81.8$$

Propiedades mecánicas nominales:

Resistencia a la tensión: 60,000 a 85,000 lb/pulg<sup>2</sup>

Resistencia a la cedencia, min.: 30,000 lb/pulg<sup>2</sup>

Alargamiento en 2 pulg, min.: 18%

Impacto Charpy V, a 32° F: 243 ft.lb

Dureza: 145 BHN

Microestructura: Ferrita - Bainita

Material para habilidad: Placa de acero SA-387  
Gr. 22, Cl. 1

Espesor: 3/4 pulg

Como podemos observar, los metales base seleccionados cumplen con los requerimientos del cliente y de los códigos o especificaciones aplicables.

Entre las aplicaciones del material SA-387 Gr. 22, Cl. 1, se puede citar el convertidor catalítico de PEMEX, localizado en la refinería Miguel Hidalgo.

a).2 Características del material 2 1/4 Cr - 1 Mo

El acero 2 1/4 Cr - 1 Mo se caracteriza por tener un contenido promedio de 2.25 % de cromo y 1 % de molibdeno. Debido a su bajo contenido de carbono (no mayor que 0.17%), este acero tiene buena soldabilidad, y es fácilmente endurecible, gracias a sus elementos de aleación tales como: cromo, molibdeno, manganeso y silicio. El cromo proporciona resistencia a la corrosión y oxidación, y el molibdeno incrementa la resistencia del material a elevadas temperaturas. Normalmente, el acero 2 1/4 Cr - 1 Mo es suministrado en la condición de recocido o normalizado y revenido, siendo este último tratamiento térmico el que resulta en una microestructura compuesta por ferrita y bainita, la cual tiene buena ductilidad.

Generalmente, dentro de los aceros al cromo-molibdeno, la clasificación 2 1/4 Cr - 1 Mo proporciona la mejor resistencia a elevadas temperaturas. Cuando este material es enfriado rápidamente desde arriba de la temperatura crítica superior de transformación ( $A_{c3}$ ), la dureza y resistencia se incrementan, sin embargo, la ductilidad y tenacidad se reducen considerablemente.

Debido a su alto grado de endurecibilidad, los aceros 2 1/4 Cr - 1 Mo requieren de un tratamiento térmico adicional (revenido) para restaurar la ductilidad y tenacidad, después de que han sido calentados por encima de sus temperaturas de transformación.

Uno de los principales problemas que presenta este material, es la fragilización por revenido o pérdida de tenacidad. La principal razón de este fenómeno, es la precipitación de elementos residuales (tales como: fósforo, arsénico, antimonio y estaño) en las fronteras de grano. Esta fragilización se manifiesta por un cambio ascendente de la temperatura de transición del estado dúctil a frágil, después de que los materiales han sido sometidos a largos tiempos de exposición, en el rango de temperatura de 750 a 1100°F.

Una forma de solucionar este problema de fragilización, es mediante la reducción de los elementos residuales a un nivel extremadamente bajo. Por otro lado, el silicio (elemento fragilizador) y manganeso (elemento aleante), deben ser limitados; este último debido a su tendencia a precipitarse junto con los elementos residuales.

El requerimiento para un acero resistente a la fragilización por revenido, es comúnmente expresado por el factor J. Dicho factor ya fue descrito en el inciso a) de este capítulo.

b) Electrodo

Los requerimientos químicos y mecánicos para el metal depositado, son los mismos que aquellos establecidos para el metal base, excepto que para minimizar la fragilización por revenido, los elementos residuales deben ser controlados como se indica a continuación:

$$\text{Factor X} = \frac{10 P + 5 Sb + 4 Sn + As}{100} \leq 20 \text{ ppm}$$

(Fórmula de Bruscato, AWS. Welding Research Supplement, May. 1983)

Donde:

El factor X es determinado en condiciones de servicio.

Los elementos son expresados en partes por millón (ppm).

b).1 Características de los electrodos

Los electrodos empleados para la aplicación de soldadura corresponden a la especificación SPA 5.5, de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), y a la clasificación E9015-B3, de la Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society, AWS). Dichos electrodos tienen las siguientes características:

Denominación comercial: Thyssen chromo 2

Diámetro: 1/8 y 5/32 pulg

Composición química real del depósito (%):

Diámetro	C	Mn	P	S	Si	Cr
1/8 pulg	0.07	0.81	0.007	0.010	0.26	2.26
5/32 pulg	0.06	0.82	0.006	0.009	0.22	2.25
	Mo	Sn	Sb	As	V	
	1.11	0.005	0.002	0.006	< 0.010	
	1.11	0.003	0.001	0.003	< 0.010	

Factor X para depósito (1/8 pulg de diam.):

$$X = \frac{10(0.007)}{100} + \frac{5(0.002)}{100} + \frac{4(0.005)}{100} + \frac{0.006}{100} \times 10^6 = 10.6$$

Factor X para depósito (5/32 pulg de diam.): 8.0

Propiedades mecánicas nominales del depósito (min.):

Resistencia a la tensión: 90,000 lb/pulg<sup>2</sup>  
Resistencia a la cedencia: 77,000 lb/pulg<sup>2</sup>  
Alargamiento en 2 pulg: 17%

Posición para la soldadura: Todas las posiciones

Características del recubrimiento: Bajo hidrógeno

Características de operación: Corriente directa,  
polaridad invertida.

La elección del electrodo se realizó con base en:

- 1) El análisis químico del metal depositado, es similar al del metal base.
- 2) La resistencia mecánica que proporciona el electrodo, no es menor a la del metal base; por lo anterior se cumple con la Sección IX, parte QW-153 del Código ASME.
- 3) Dado que las características del electrodo establecen bajo contenido de hidrógeno, se minimiza el problema de fragilización por este elemento.
- 4) Al aplicar corriente directa, el arco de soldadura es relativamente constante y produce soldaduras de mejor acabado.
- 5) De acuerdo al punto anterior, el depósito se efectúa con el circuito eléctrico dispuesto para polaridad invertida (electrodo positivo); con esto se logra una mayor penetración de la soldadura en el metal base. Sin embargo, con este arreglo la concentración de calor es mayor en la junta, aumentando así el efecto térmico en el depósito, por parte de los cordones que se aplican.

#### b).2 Características de la soldadura 2 1/4 Cr - 1 Mo

Las características del metal de soldadura 2 1/4 Cr - 1 Mo, son las mismas que aquellas establecidas para el metal base. Sin embargo, en el caso del metal depositado, el manganeso no se precipita, debido a la rápida solidificación y a los altos rangos de enfriamiento subsecuentes. Por lo tanto, el tiempo para una extensa difusión en los límites de grano, es corto, y no es necesario limitar el contenido de este elemento hasta el mismo punto, como en el caso del metal base.

La experiencia práctica muestra que la tenacidad del metal de soldadura, puede ser mejorada si el contenido de manganeso se mantiene en el rango de 0.70 a 1.0 %. Esto es debido a que con esta cantidad se incrementa la formación de ferrita acicular (en forma de aguja) en la microestructura resultante.

En adición, el incremento del contenido de manganeso también incrementa la resistencia tensil (en caliente) del metal de soldadura depositado.

El comportamiento frágil para el metal de soldadura, es descrito por el factor X. Dicho factor ya fue definido en el inciso b) de este capítulo.

Al igual que el metal base, el metal de soldadura 2 1/4 Cr - 1 Mo es susceptible a agrietamiento por temple e

hidrógeno inducido. El primero se presenta cuando el material es enfriado en forma drástica desde la temperatura de austenización, y el segundo, cuando se utilizan materiales de aporte productores de hidrógeno. Debido a esto, los procedimientos de soldadura deben incluir todas las precauciones necesarias para prevenir estos defectos, tanto en el metal depositado como en la zona afectada por el calor.

Algunos aspectos que deben ser usados para evitar dichos agrietamientos, incluyen: precalentamientos y postcalentamientos adecuados, enfriamientos lentos después de la soldadura y consumibles apropiados.

Normalmente, las uniones 2 1/4 Cr - 1 Mo requieren de un tratamiento térmico posterior a la soldadura, a fin de mejorar la tenacidad del metal depositado y zona afectada por el calor.



## 11.2 DESARROLLO

### 11.2.1 DESARROLLO DE LA ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

La especificación de procedimiento de soldadura para unir materiales 2 1/4 Cr - 1 Mo, mediante el proceso de soldadura por arco metálico con electrodo revestido, es identificada como WPS-20701-01. Dicha especificación es soportada por el registro de calificación de procedimiento PQR - WPS-20701-01, el cual será detallado más adelante.

Las características relevantes en el desarrollo de esta especificación son tratadas a continuación, y además son incluidas en el formato mostrado en la figura 11.1.

#### a) Juntas (QW-402)

La geometría de la junta recomendada para espesores de 5/8 pulg y mayores (Welding Handbook, Volume 2, de la Sociedad Americana de Soldadura, AWS), corresponde a una preparación tipo ranura doble V, con ángulo de ranura de 60 grados, y abertura y cara de raíz de 1/8 pulg.

La preparación de la junta debe ser hecha por oxicorte, seguido de esmerilado; éste último debe contemplar al menos una distancia de 1/2 pulg a partir de la preparación para soldar.

b) Metales base (QW-403)

Según la Sección IX del Código ASME, parte QW-422.5, la placa SA-387 Gr. 22, Cl. 1, corresponde a un material base agrupado en un número P-No. 5, grupo 1 (placa 2 1/4 Cr - 1 Mo).

El rango de espesor calificado de metal base para una soldadura de ranura, está definido por QW-451.1 y QW-403.6, y es de 5/8 a 8 pulg. Esto es debido a los requerimientos de impacto del material y a que el espesor de nuestro cupón de prueba, es mayor que 1 1/2 pulg.

c) Metales de aporte (QW-404)

La especificación SPA 5.5, corresponde a un grupo de materiales de aporte, designado como F-No. 4 (QW-432.1), y a una clasificación A-No. 4 (QW-442), para análisis de metal de soldadura depositado.

El rango de metal depositado está definido en QW-451.1, y es de 8 pulg máximo. Esto es debido a que el espesor del cupón de prueba es mayor a 1 1/2 pulg y el espesor del metal depositado es superior a 3/4 pulg.

El Manual de Procedimientos para Soldadura de Arco de la Compañía Lincoln Electric, recomienda para este tipo de junta (ranura doble V), utilizar electrodos de 5/32 pulg de diámetro. Sin embargo, para efectos de este trabajo, el paso

de raíz se realizará con electrodos de 1/8 pulg de diámetro, y el relleno y respaldo de la junta con electrodos de 5/32 pulg. La razón de usar electrodos de 1/8 pulg de diámetro, es para lograr un mejor control del fundeo. Como los electrodos son de bajo hidrógeno, deberán ser usados directamente de un paquete recién abierto, u obtenidos de un horno ventilado a una temperatura mínima de 150° F.

d) Posiciones (QW-405)

La especificación de procedimiento de soldadura, es elaborada para realizar la soldadura de los materiales 2 1/4 Cr - 1 Mo, en todas las posiciones.

e) Pre calentamiento (QW-406)

Para determinar la temperatura aproximada de pre calentamiento, nos auxiliaremos de la fórmula del carbono equivalente (CE) para aceros al carbono y aleados endurecibles, la cual resulta en una medida aproximada de la soldabilidad de un material o susceptibilidad a agrietamiento por soldadura. Para efectos de este cálculo se usa la composición química del metal base. Dicha fórmula es la siguiente:

$$CE = \% C + \frac{\% Mn}{6} + \frac{\% Cr + \% Mo + \% V}{5} + \frac{\% Si + \% Ni + \% Cu}{15}$$

Si : CE  $\leq$  0.45 % - El precalentamiento es opcional

CE > 0.45 %,

Pero < 0.60 % - El precalentamiento debe ser de  
200 a 400° F

CE > 0.60 % - El precalentamiento debe ser de  
400 a 700° F

Ahora, si calculamos el carbono equivalente, tenemos lo siguiente:

$$CE = 0.075 + \frac{0.50}{6} + \frac{2.21 + 0.93 + 0.003}{5} + \frac{0.244}{15} = 0.80 \%$$

Según el cálculo, nuestro material tiene un carbono equivalente mayor que 0.60%; por lo que podemos reafirmar que se trata de un acero susceptible a agrietamiento por enfriamiento rápido, razón por la cual debemos precalentar a una temperatura mínima de 400° F (también recomendada en el apéndice R de la Sección VIII, División 1 del Código ASME), a fin de reducir los rangos de enfriamiento que puedan producir zonas frágiles en el material, debidas a la formación de una microestructura dura, conocida como martensita.

La temperatura máxima de precalentamiento o de interpasos no debe exceder de 550° F. Esto es con la finalidad de reducir

la entrada de calor en la junta y por ende, asegurar los valores de tenacidad del material.

Para evitar la contaminación de los metales base que están siendo soldados y del metal de soldadura depositado, el precalentamiento debe realizarse por medio de quemadores de gas natural.

f) Tratamiento térmico posterior a la soldadura (QW-407)

El tratamiento térmico posterior a la soldadura para un material 2 1/4 Cr - 1 Mo (P-No. 5, grupo 1), está definido en la parte UCS-56 de la Sección VIII, División 1 del Código ASME. Para efectos de este trabajo, dicho tratamiento consistirá en calentar la parte a una temperatura de  $1350^{\circ} F \pm 25^{\circ} F$ , durante un período de mantenimiento de 2 horas por pulg. Es de importancia señalar que esta temperatura es menor a la crítica inferior de transformación, Aci ( $1480^{\circ} F$ ), del material en cuestión.

Con este tratamiento térmico esperamos lograr lo siguiente:

- 1) Asegurar la dureza requerida por el cliente (225 BHN max).
- 2) Eliminar los esfuerzos generados durante la soldadura.
- 3) Aumentar la ductilidad y tenacidad del metal de soldadura y zona afectada por el calor.

4) Eliminar el posible hidrógeno contenido en la junta.

g) Características eléctricas (QN-409)

Las corrientes de operación (tomadas de las recomendaciones del fabricante del electrodo) son de 100 a 140 amperes para el electrodo de 1/8 pulg de diámetro, y de 140 a 160 amperes para el de 5/32 pulg. Con respecto a los voltajes de trabajo, éstos serán, de 22 a 26 volts para el electrodo de 1/8 pulg de diámetro, y de 24 a 26 volts para el de 5/32 pulg.

La velocidad de depósito que aporta más calor a la junta, es la aplicada en posición vertical. Esta se recomienda (Manual de Procedimientos para Soldadura de Arco, de la Compañía Lincoln Electric) de 3 a 6 pulg por minuto para el paso de raíz y respaldo (con cordón recto), y de 2 a 4 pulg por minuto para el relleno (con cordón oscilado). Las velocidades de aporte para las otras posiciones (plana, horizontal y sobre cabeza) también son indicadas en la especificación de procedimiento.

La entrada de calor (EC), según los parámetros eléctricos establecidos, está dada por la siguiente fórmula:

$$EC = \frac{V \times A \times 60}{v} = \text{Joules/pulg}$$

Donde:

- V = Voltaje (volts)  
A = Amperaje (amps)  
v = Velocidad de depósito (pulg/min)  
60 = Constante para conversión de minutos a segundos

Entonces, sustituyendo los valores máximos de corriente y voltaje, y la mínima velocidad de depósito, tenemos una entrada de calor máxima; esto es:

$$EC \text{ max.} = \frac{160 \times 26 \times 60}{2} = 124,800 \text{ J/pulg}$$

Con esta entrada de calor esperamos obtener un valor de impacto superior a 35 ft.lb.

#### h) Técnica (QW-410)

La técnica recomendada (Metals Handbook, Volume 6) para soldar materiales 2 1/4 Cr - 1 Mo, consiste en usar cordones rectos, ya que con éstos la entrada de calor en la junta es menor, y por consiguiente los valores de impacto del metal de soldadura y zona afectada por el calor, se incrementan. Sin embargo, con esta técnica se reduce considerablemente la eficiencia de depósito y por ende, se requiere de más tiempo para soldar una junta. Debido a esto, y a fin de eficientar el proceso de soldadura, la técnica a utilizar será la de

cordón completamente oscilado; con una oscilación máxima de 1 1/8 pulg y un espesor por pasada de aproximadamente 1/8 pulg. Posteriormente, las pruebas requeridas en la calificación de procedimiento, determinarán si la soldadura depositada con esta técnica, cumple o no con los requerimientos deseados.

La limpieza entre cordones se realizará con cepillo de alambre, cincel neumático o esmeril. En este punto es importante remover la escoria cuando ésta haya alcanzado un color gris oscuro, a fin de evitar enfriamientos bruscos del cordón de soldadura.

Después de que la soldadura haya avanzado, las partes ya soldadas deben cubrirse con colcha refractaria (fibra cerámica), a fin de tener un enfriamiento lento y uniforme en la soldadura y zona afectada por el calor. Esta misma operación debe repetirse cuando por algún motivo se deje de aplicar soldadura a la parte.

Posterior a la soldadura del primer lado de la junta, es la remoción del paso de raíz hasta encontrar metal de soldadura sano. Esta remoción se debe hacer por medio de arco aire-carbón. Para esto, si la parte se ha enfriado, es necesario precalentarla a la temperatura especificada en este procedimiento (400° F).



Una vez removido el paso de raíz, se procede a esmerilar la ranura resultante, evitando dejar esquinas o filos agudos que sirvan como concentradores de esfuerzos. Esto se logra dejando una ranura de segmento circular.

Después de terminar la preparación de raíz, se procede a soldar el segundo lado de la junta, siguiendo los mismos parámetros que se utilizaron para soldar el primer lado.

Finalmente, el martillado no es permitido como método de relevado de esfuerzos, debido a que la junta terminada será sometida a un tratamiento térmico posterior a la soldadura.

**ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)**

FRENTE

COMPANIA: CONSORCIO INDUSTRIAL S.A.

WPS No.: 20701-01 REV. No. A1 ELABORADO POR: J. PEDRO RAYA FECHA: 12/X/92

REVISADO POR: SERGIO DE MORAES FECHA: 14/X/92

SOPORTADO POR PQR No.(S): WPS 20701-01 REV. No.: A1

PROCESO(S) DE SOLDADURA: ARCO METALICO CON ELECTRODO REVESTIDO (SMAW).

TIPO(S): MANUAL

**JUNTAS (QW-402)**

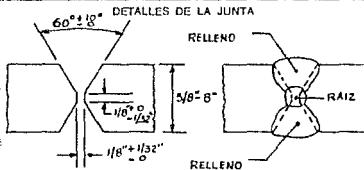
DISEÑO DE LA JUNTA: DOBLE "V"

METODO(S) DE PREPARACION: OXICORTE  
SEGUIDO DE ESMERILADO

RESPALDO SI  NO

MATERIAL DE RESPALDO (TIPO): METAL DE SOLDADURA.

NOTA: SON ACEPTABLES OTROS DISEÑOS DE JUNTA ESPECIFICADOS EN DIBUJOS DE INGENIERIA, HOJAS DE PROCESO O RUTAS DE FABRICACION



**METALES BASE (QW-403)**

P-No.: 5 GRUPO No.: 1 A P-No.: 5 GRUPO No.: 1

ESPECIFICACION, TIPO Y GRADO: N/A

A ESPECIFICACION, TIPO Y GRADO: N/A

ANALISIS QUIMICO Y PROPS. MECANICAS: N/A

A ANALISIS QUIMICO Y PROPS. MECANICAS: N/A

**RANGO DE ESPESOR:**

METAL BASE: RANURA: 5/8" - 8" FILETE: TODOS

DIAMETRO DE TUBO: RANURA: TODOS FILETE: TODOS

OTROS:

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

PROCESO(S) DE SOLDADURA: SMAW

ESPECIFICACION SFA: 5.5

CLASIFICACION AWS: E9015-B3

No. F: 4

No. A: 4

DIAMETRO DEL METAL DE APORTE: 1/8" Y 5/32"

ESPEOR METAL DEPOSITADO: RANURA: 8" MAX.

FILETE: TODOS

CLASIFICACION FUNDENTE-ALAMBRE: N/A

NOMBRE COMERCIAL DEL FUNDENTE: N/A

INSERTO CONSUMIBLE: N/A

OTRO(S): N/A

SMAW		
5.5		
E9015-B3		
4		
4		
1/8" Y 5/32"		
8" MAX.		
TODOS		
N/A		
N/A		
N/A		
N/A		

**FIGURA III**  
ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS 20701-01.

## ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

WPS No.: 20701-01      REV.: A1      REVERSO

### POSICIONES (QW-405)

POSICION(ES) DE LA RANURA: TODAS  
 AVANCE DE LA SOLDADURA: ASCENDENTE  DESCENDENTE  
 POSICION(ES) DEL FILETE: TODAS

### PRECALENTAMIENTO (QW-406)

TEMPERATURAS:  
 PRECALENTAMIENTO MINIMA: 400 ° F  
 INTERPASOS MAXIMA: 550 ° F  
 PARA EL PUNTEO CON SOLDADURA: 400 ° F  
 MANTENIMIENTO DEL PRECALENTAMIENTO: POR FLAMA  
 O POR CALOR DE LA SOLDADURA.  
 OTROS: MEDICION CON CRAYON TERMICO

### TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA (QW-407)

RANGO DE TEMPERATURA: 1350 ° F ± 25 ° F  
 RANGO DE TIEMPO: 2 HRS. / PULG.  
 OTRO(S): CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO SEGUN PARrafo UCS - 56 DEL CODIGO ASME SECC. VIII, DIV. 1.

### GAS (QW-408)

	GAS (ES)	COMPOSICION (%) (MEZCLA)	RANGO DE FLUJO
PROTECCION:	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
ARRASTRE:	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
RESPALDO:	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>

### CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)

CORRIENTE (CD O CA): DIRECTA (CD)      POLARIDAD: INVERTIDA  
 AMPERAJE (RANGO): 100-160 AMPS.      VOLTAJE (RANGO): 22-26 VOLTS  
 ENTRADA DE CALOR (MAX.): 124,600 J/PULG.  
 TAMAÑO Y TIPO DEL ELECTRODO DE TUNGSTENO: N/A  
 MODO DE TRANSFERENCIA PARA PROCESO GMAW: N/A  
 RANGO DE ALIMENTACION DEL ALAMBRE: N/A

### TECNICA (QW-410)

CORDON RECTO U OSCILADO.	<u>AMBOS</u>
ESPOSOR DEL CORDON POR CADA PASADA:	<u>1/8" APPROX.</u>
TAMAÑO DE ORIFICIO O COPA DE GAS:	<u>N/A</u>
LIMPIEZA INICIAL/INTERPASOS:	<u>CEPILLO DE ALAMBRE, ESMERIL O CINCEL NEUMATICO</u>
METODO DE ELIMINACION DE RAIZ:	<u>ARCO AIRE-CARBON Y ESMERIL</u>
OSCILACION:	<u>1 1/8" MAX.</u>
DISTANCIA TUBO DE CONTACTO-TRABAJO:	<u>N/A</u>
PASO MULTIPLE O SENCILLO (POR LADO):	<u>MULTIPLE</u>
ELECTRODO MULTIPLE O SENCILLO:	<u>SENCILLO</u>
MARTILLADO:	<u>NO PERMITIDO</u>
OTRO(S):	<u>LIMPIEZA EN UNA DISTANCIA AL MENOS 1/2" DESDE LA PREPARACION PARA SOLDAR. AL SUSPENDER O TERMINAR LA SOLDADURA, SE DEBE CUBRIR EL AREA CON COLCHA REFRACTARIA, 6" MIN. DE CADA LADO DE LA UNION (PARA ENFRIAM. LENTO)</u>

CAPA(S) DE SOLDADURA	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE			VELOCIDAD DE AVANCE DE DEPOSITO (RANGO)	CORDON MAX
		CLASE	DIAM	TIPO Y POLARIDAD	AMPS (RANGO)	VOLTS (RANGO)		
RAIZ	SMAW	E9015-B3	1/8"	CD (+)	100-140	22-26	*	
RELLENO	SMAW	E9015-B3	5/32"	CD (+)	140-160	24-26	**	1 1/8"
RESPALDO	SMAW	E9015-B3	5/32"	CD (+)	140-160	24-26	**	

\* CORDON RECTO: F.H.O = 4-6 PULG/MIN ; V = 3-5 PULG/MIN

\*\* CORDON RECTO: F.H.O = 6-10 PULG/MIN ; V = 4-6 PULG/MIN

\*\* CORDON OSCILADO: F.H.O = 6-8 PULG/MIN ; V = 2-4 PULG/MIN

11.2.2 DESARROLLO DE LA CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA .

La secuencia de calificación del procedimiento de soldadura WPS-20701-01, se muestra en la figura 11.2; posteriormente se presenta una breve descripción de cada uno de los pasos.

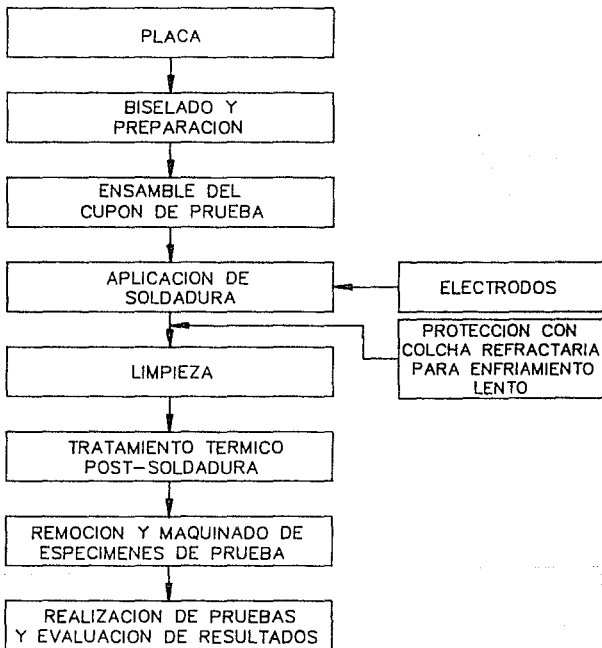


FIGURA 11.2  
SECUENCIA DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA  
WPS-20701-01.

a) Placa, biselado, preparación y ensamble

El procedimiento de soldadura WPS-20701-01, fue calificado mediante un cupón de prueba hecho a partir de placa 2 1/4 Cr - 1 Mo, de 1 5/8 pulg de espesor. Se seleccionó este tamaño de placa, debido a que la calificación de procedimiento en este espesor, califica el espesor del metal base que va a ser soldado en producción (1 5/8 pulg).

El biselado de las placas de prueba se realizó en forma transversal al sentido de rolado del material, y fue de acuerdo al diseño de junta especificado en el procedimiento de soldadura.

Tanto el biselado como la preparación del cupón de prueba, fueron hechos por oxicorte, seguido de esmerilado. Los componentes y ensamble de dicho cupón son mostrados en las figuras 11.3 y 11.4.

b) Soldadura

La soldadura del cupón se realizó en posición vertical (3G) y de acuerdo a los parámetros y consideraciones establecidas en el procedimiento de soldadura WPS-20701-01. Se eligió este arreglo debido a que para materiales con requerimientos de impacto, la calificación en esta posición, califica el procedimiento de soldadura para todas las posiciones (ASME Sección IX, Parte QW-405.2).

Al terminar de soldar el primer lado del cupón, éste se protegió con colcha refractaria para enfriamiento lento. Posteriormente, se procedió a remover los puentes metálicos y a eliminar el paso de raíz; ambos con arco aire-carbón, seguido de esmerilado. Los puentes removidos se colocaron en el lado ya terminado del cupón, y la soldadura del segundo lado se realizó siguiendo los mismos parámetros que se usaron para soldar el primer lado.

La secuencia de aplicación y las características del metal de soldadura depositado, son mostradas en la figura 11.5.

#### c) Limpieza

Una vez terminada la soldadura del cupón de prueba, se removieron los puentes metálicos y las placas auxiliares para entrada y salida del electrodo; éstas últimas, también con arco aire-carbón. Seguido a esto, el cupón fue limpiado por medio de esmerilado, y además marcado con el número de procedimiento de soldadura, posición de prueba y número de marca del soldador que realizó la soldadura. Dicho marcaje se hizo con números y letras de golpe, y quedó de la siguiente manera:

C.P.S. WPS-20701-01/3G/198

d) Tratamiento térmico posterior a la soldadura

El tratamiento térmico del cupón de prueba se realizó en un horno eléctrico marca Grieve, y de acuerdo a los parámetros indicados en la especificación de procedimiento. Los detalles de dicho tratamiento son mostrados en la figura 11.6.

e) Pruebas requeridas

1) Pruebas de tensión y dobléz guiado

Como el espesor del cupón de prueba es mayor que 1 1/2 pulg (1 5/8 pulg), y el del metal depositado es superior a 3/4 pulg (1 5/8 pulg), los requerimientos de la Sección IX del código ASME, parte QW-451.1, para calificación de procedimiento, son:

2 Pruebas transversales de tensión de sección reducida.

4 Pruebas transversales de dobléz guiado lateral.

Puesto que nuestra máquina de tensión no tiene la capacidad de carga requerida para fracturar especímenes de 1 5/8 pulg de espesor, tomaremos la consideración establecida en la Sección IX del Código ASME, parte QW-151.1 (b), la cual consiste en usar especímenes múltiples para prueba de tensión. Cada juego de especímenes deberá representar todo el espesor del metal de soldadura depositado; por lo tanto, en

nuestro caso, 2 especímenes de tensión de 1/2 pulg de espesor cada uno, representarán un juego de prueba.

La remoción y maquinado de los especímenes para pruebas de tensión y dobléz guiado, se indica en las figuras 11.7, 11.8 y 11.9.

## 2) Pruebas de impacto Charpy de muesca tipo V

Los lineamientos de impacto para la calificación de procedimiento en espesores de prueba mayores a 1 1/2 pulg (en nuestro caso 1 5/8 pulg), están definidos en el párrafo UG-84 (h) (3) de la Sección VIII, División 1 del Código ASME. Estos son:

- 1 Juego de impacto para la zona afectada por el calor
- 2 Juegos de impacto para la soldadura

Cada juego de impacto consta de 3 especímenes.

Para cumplir con el párrafo anterior, de los dos juegos de impacto para la soldadura, uno se tomará a partir de 1/16 pulg de la superficie de una cara de la placa, y el otro se localizará a la mitad, entre la superficie y el centro del espesor del lado opuesto.

El juego de impacto para la zona afectada por el calor, tendrá la misma localización que aquella establecida para el segundo juego de impacto de la soldadura.



El espécimen de impacto que usaremos, será el de tamaño completo (0.394 x 0.394 pulg); pero si con este tipo de espécimen, nuestro material absorbe valores de energía superiores a 180 ft.lb, podemos aplicar la recomendación establecida en el párrafo UG-84 (c) (2) (a), la cual consiste en utilizar especímenes de sección reducida (0.394 x 0.264 pulg). Sin embargo, si usamos esta opción, el valor mínimo de impacto para cada espécimen, debe ser de 75 ft.lb.

Un requerimiento adicional de un juego de impacto será necesario para verificar la tenacidad del metal base. La localización de estos especímenes será la misma que aquella establecida para los de la zona afectada por el calor.

La remoción y maquinado de los especímenes para pruebas de impacto se muestra en las figuras 11.7 y 11.10.

### 3) Prueba de dureza

Para verificar la dureza del metal base, soldadura y zona afectada por el calor, se requerirá un espécimen para perfil de dureza. La remoción y maquinado de dicho espécimen se ilustra en las figuras 11.7 y 11.11.

### 4) Prueba metalográfica y análisis químico.

Para realizar estas pruebas se requiere de un espécimen para metalografía y otro para análisis químico. La prueba

metalográfica incluye: metal base, soldadura y zona afectada por el calor; mientras que el análisis químico comprende únicamente soldadura. La remoción y maquinado de estos especímenes se indica en las figuras 11.7 y 11.12.

f) Realización de las pruebas y evaluación de los resultados

1) Pruebas de tensión

Las pruebas de tensión se realizaron en una máquina de tensión Tinius Olsen de 60,000 lb de capacidad de carga. Los dos juegos de especímenes dieron valores de tensión superiores a la resistencia mínima del metal base (arriba de 60,000 lb/pulg<sup>2</sup>). El resultado promedio de resistencia a la tensión fue de 68,415 lb/pulg<sup>2</sup>, el alargamiento promedio en 2 pulg resultó del 28%, y el tipo de fractura fue dúctil, con localización en el metal base. De estos resultados de prueba, se deduce que la resistencia a la tensión del metal de soldadura, es superior a la resistencia mínima del metal base; y por lo tanto, se cumple con el criterio de aceptación para prueba de tensión, establecido en la Sección IX del Código ASME, parte QW-153.

2) Pruebas de doblez guiado

Las pruebas de doblez fueron hechas mediante un dispositivo de doblez guiado del tipo rodillo. La máquina que se utilizó para realizar este ensayo, fue la misma que aquella utilizada

para la prueba de tensión. Los cuatro especímenes doblados no presentaron ningún defecto abierto a la superficie , tanto en el metal base como en la soldadura; por lo que se deduce que la prueba cumple con el criterio de aceptación para pruebas de dobléz, definido en la Sección IX del Código ASME, parte QW-163.

### 3) Pruebas de impacto

Las pruebas de impacto se realizaron en una máquina de impacto Tinius Olsen de 300 ft.lb de capacidad, y a una temperatura de prueba de 32° F. Los resultados de prueba fueron los siguientes:

**Metal Base:** De los tres especímenes de sección completa (0.394 x 0.394 pulg), el primero dio un valor de impacto de 289 ft.lb; como este valor fue superior a 180 ft.lb, los especímenes restantes se remaquinaron a sección reducida (0.394 x 0.264 pulg), y al ser probados dieron un valor promedio de 172 ft.lb.

**Zona afectada por el calor:** El primer espécimen (de sección completa) dio un valor de impacto de 294 ft.lb, y los otros dos (de sección reducida) dieron un valor de 187 ft.lb cada uno.

**Soldadura:** Los dos juegos de soldadura (de sección completa) dieron un resultado promedio de impacto 135 ft.lb.

En conclusión, los valores de impacto obtenidos para el metal base, soldadura y zona afectada por el calor, son satisfactorios; esto es debido a que exceden el valor mínimo requerido de 35 ft.lb.

#### 4) Prueba de dureza

Esta prueba fue hecha en la escala Rockwell B de un probador de dureza marca Wilson. Los resultados promedio de dureza (figura 11.13) fueron: 128.3 BHN para el metal base, 180 BHN para la soldadura y 151.6 BHN para la zona afectada por el calor. Como podemos observar, estos valores no exceden del requerimiento máximo establecido de 225 BHN. Por lo tanto, se concluye que los resultados de la prueba de dureza son satisfactorios.

#### 5) Prueba metalográfica

La prueba metalográfica se efectuó en un microscopio marca Olympus de 1500 ampliaciones (1500X) de capacidad. La ampliación de prueba fue de 100 aumentos (100X). Las microestructuras resultantes (figura 11.14) fueron: ferrita y bainita para el metal base y bainita para el metal de soldadura y zona afectada por el calor. De estos resultados, se deduce que la ausencia de martensita en las zonas de interés, es un claro indicio de ductilidad en el material de prueba.

#### 6) Análisis químico

El análisis químico del depósito de soldadura fue realizado mediante un espectrómetro de absorción atómica. Los resultados de prueba fueron los siguientes:

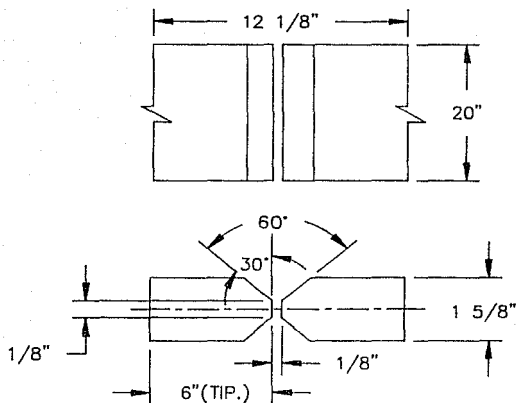
C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Sn
0.0863	0.783	0.006	0.005	0.276	2.704	1.15	0.001
Sb	As	V					
0.003	0.009	< 0.001					

Factor X = 8.8

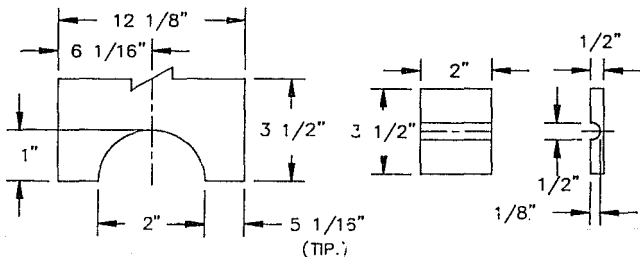
Con estos resultados podemos reafirmar que la soldadura cumple con los requerimientos químicos establecidos por el cliente.

#### g) Registro de los resultados de prueba

En vista de que los resultados de todas las pruebas anteriormente descritas, fueron satisfactorios, se concluye que el procedimiento de soldadura WPS-20701-01, ha sido calificado; por lo tanto, el registro de calificación de procedimiento WPS-PQR-20701-01, resulta como se muestra en la figura 11.15.



A) PLACAS PARA CUPON (2)  
 (PLACA SA-387 GR. 22 CL 1; 1 5/8" ESP.)  
 CONDICION: NORMALIZADO Y REVENIDO



B) PUENTES (3)  
 (PLACA SA-516-70; 1 1/4" ESP.)

C) PLACAS PARA INICIO Y  
 FINAL DEL ARCO (2)  
 (PLACA SA-516-70; 1/2" ESP.)

FIGURA 11.3  
 COMPONENTES DEL CUPON DE PRUEBA PARA CALIFICACION  
 DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS-20701-01

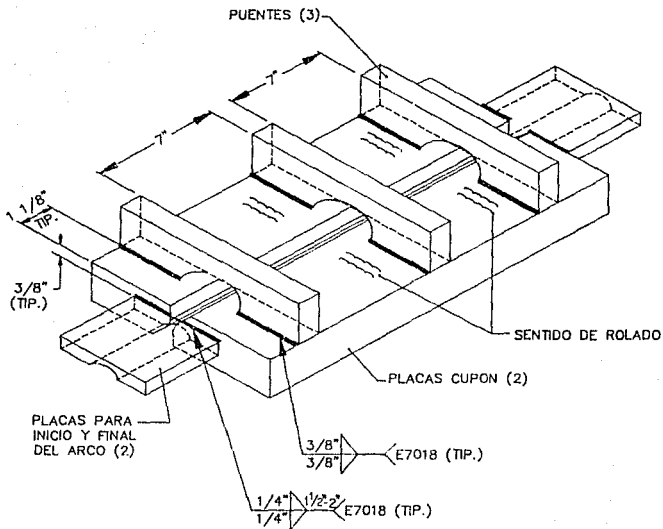
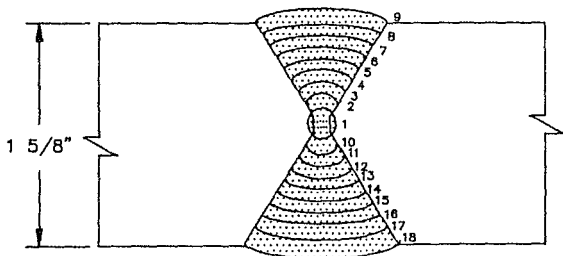


FIGURA 11.4  
 ENSAMBLE DEL CUPON DE PRUEBA PARA CALIFICACION  
 DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS-20701-01



NUMERO DE PASADAS:	18
NUMERO DE CAPAS:	18
ESPESOR APROXIMADO POR PASADA:	1/8"
ANCHO MAXIMO DEL CORDON:	1 1/8"
ESPESOR DE METAL DE SOLDADURA DEPOSITADO:	1 5/8"

FIGURA 11.5  
 SECUENCIA DE APLICACION Y CARACTERISTICAS DEL METAL  
 DEPOSITADO PARA LA CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO  
 DE SOLDADURA WPS-20701-01



**PROCEDIMIENTO DE TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA**

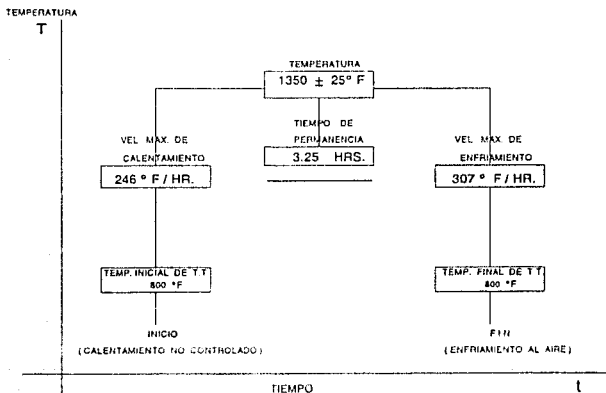
PWHT No.: PCR-WPS-20701-01 Rev.: A1  
 ELABORADO POR: J. PEDRO RAYA S. FECHA: 15 / X / 92  
 REVISADO POR: SERGIO DE MORAES FECHA: 16 / X / 92

EQUIPO: N/A  
 O.T.: N/A  
 ESPECIFICACION APLICABLE: ASME SECC. VIII, DIV. 1 (UCS-56)  
 DESCRIPCION DE LA PARTE QUE RECIBIRA TRATAMIENTO TERMICO: CUPON DE PRUEBA PARA CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS-20701-01.

**TIPO DE TRATAMIENTO TERMICO**

LOCAL  TOTAL

MATERIAL: SA-387-GR 22-CL.1 (2 1/4 Cr - 1 Mo) ESPESOR NOMINAL 15/8"  
 (ASME SECC IX)



**FIGURA 11.6**  
**TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA DEL CUPON DE PRUEBA PARA CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS 20701-01**

DESCARTAR ESTA		SECCION	1"
ESPECIMEN PARA		DOBLEZ LATERAL	3/4" (TP.)
ESPECIMEN PARA		TENSION (2)	1 5/8" (TP.)
ESPECIMEN PARA		DOBLEZ LATERAL	
ESPECIMEN PARA		DOBLEZ LATERAL	
ESPECIMEN PARA		TENSION (2)	
ESPECIMEN PARA		DOBLEZ LATERAL	
ESPECIMEN PARA		IMPACTO ZAC (1) Y METAL BASE (1)	3/4" (TP.)
ESPECIMEN PARA		IMPACTO ZAC (1) Y METAL BASE (1)	
ESPECIMEN PARA		IMPACTO ZAC (1) Y METAL BASE (1)	
ESPECIMEN PARA		IMPACTO SOLDADURA (2)	
ESPECIMEN PARA		IMPACTO SOLDADURA (2)	
ESPECIMEN PARA		IMPACTO SOLDADURA (2)	
ESPECIMEN PARA		PRUEBA DE DUREZA	3/4"
ESPECIMEN PARA		METALOGRAFIA	3/4"
ESPECIMEN PARA		ANALISIS QUIMICO	3/4"
SOBRANTE		DEL CUPON	


CUPON DE PRUEBA	
-----------------	--

FIGURA 11.7  
 REMOCION DE ESPECIMENES DE PRUEBA PARA CALIFICACION  
 DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS-20701-01

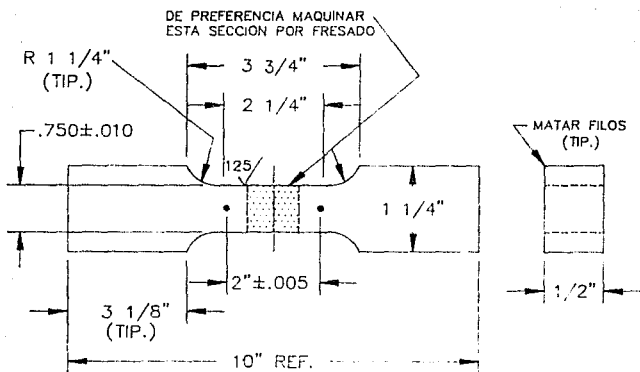
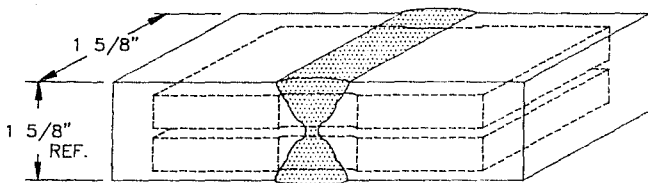
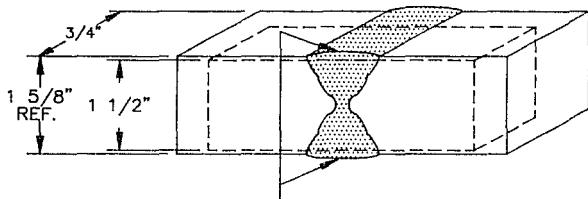


FIGURA II 8  
ESPECIMEN PARA PRUEBA DE TENSION  
[QW-462.1(a)/SA-370]



REMOVER LOS REFUERZOS DE  
SOLDADURA A LA DIMENSION INDICADA

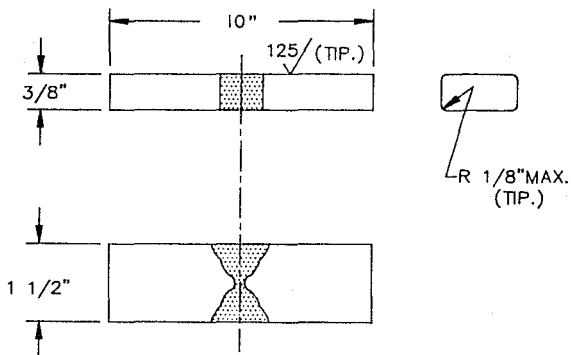


FIGURA 11.9  
ESPECIMEN PARA PRUEBA DE DOBLEZ LATERAL  
[QW-462.2(a)]

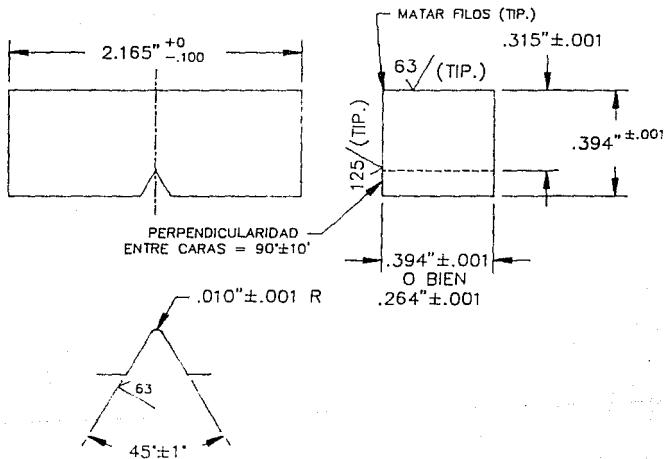
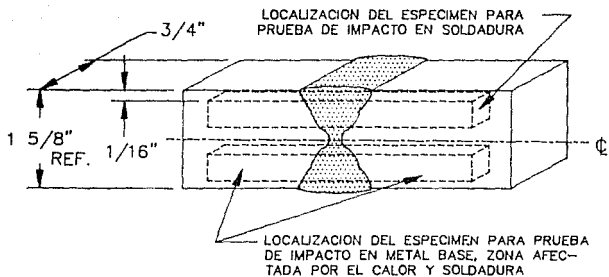


FIGURA 1110  
ESPECIMEN PARA PRUEBA DE IMPACTO  
[UG-84/SA 370]

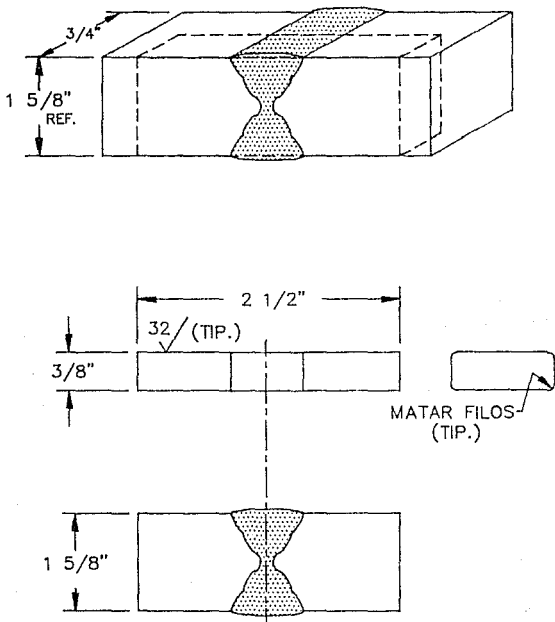
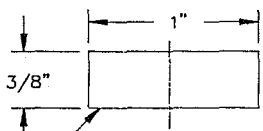
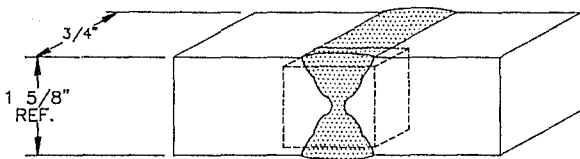
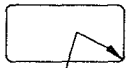


FIGURA 11.11  
 ESPECIMEN PARA PRUEBA DE DUREZA  
 (ROCKWELL "B") (SA-370)



PULIDO ESPEJO (TIP.)  
 (PARA METALOGRAFIA)

125/ $\sqrt{\quad}$  (TIP.) (PARA ANALISIS QUIMICO)



MATAR FILOS  
 (TIP.)

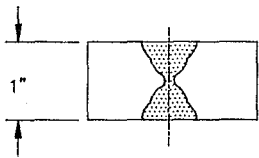
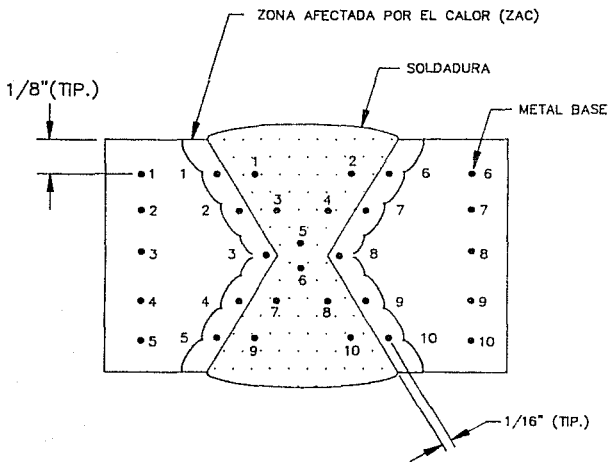


FIGURA 11.12  
 ESPECIMENES PARA PRUEBA METALOGRAFICA Y  
 ANALISIS QUIMICO  
 (ASTM E3/E59)



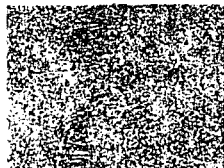
DUREZA PROMEDIO EN METAL BASE:	71.4 RB (128.3 BHN)
DUREZA PROMEDIO EN ZAC:	80.6 RB (151.6 BHN)
DUREZA PROMEDIO EN SOLDADURA:	89.0 RB (180.0 BHN)

FIGURA 11.13  
 PERFIL DE DUREZA PARA CALIFICACION DEL  
 PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS-20701-01





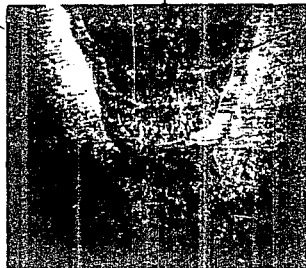
METAL BASE



SOLDADURA



ZONA AFECTADA  
POR EL CALOR  
(ZAC)



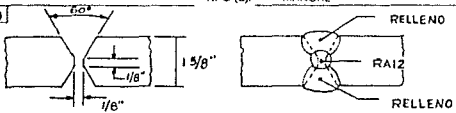
ESTRUCTURA METAL BASE : MATRIZ FERRITICA + BAINITA

ESTRUCTURA ZAC : BAINITA

ESTRUCTURA SOLDADURA : BAINITA

FIGURA 11.14

ESTRUCTURAS METALOGRAFICAS OBTENIDAS EN LA CALIFICACION DEL  
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS-20701-01

REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO (PQR)															
COMPANIA: CONSORCIO INDUSTRIAL SA			FRENTE												
PQR No.: WPS 20701-01	REV.: A1	ELABORADO POR: J. PEDRO RAYA	FECHA: 30/X/92												
WPS No.: 20701-1	REV.: A1	REVISADO POR: S. DE MORAES	FECHA: 03/XI/92												
PROCESO(S) DE SOLDADURA: ARCO METALICO		CON ELECTRODO REVESTIDO (SMAW).													
TIPO(S):		MANUAL													
<b>JUNTAS (QW-402)</b>  <p style="text-align: center;">DISEÑO DE LA JUNTA DEL CUPON DE PRUEBA</p>															
(PARA CALIFICACIONES COMBINADAS REGISTRAR EL ESPESOR DEL METAL DE SOLDADURA DEPOSITADO PARA CADA METAL DE APORTE O PROCESO USADOS)															
<b>METALES BASE (QW-403)</b>		<b>TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA (QW-407)</b>													
ESPEC. DE MATERIAL: SA-387	TIPO O GRADO: 22 CL.1	TEMPERATURA: 1360 ° F	TIEMPO: 3.25 HRS.												
P No.: 5 GPO. 1 A	P No.: 5 GPO. 1	OTRO(S): CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO SEGUN PWHT-PQR-20701-01.													
ESPESOR DEL CUPON: 1 5/8 *	DIAMETRO DEL CUPON: N/A	<b>GAS (QW-408)</b>													
OTRO(S): N/A		<table border="1"> <thead> <tr> <th>GAS (E5)</th> <th>COMP (54) MEZCLA</th> <th>FLUJO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PROTECCION</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>ARRASTRE:</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>RESPALDO:</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> </tr> </tbody> </table>		GAS (E5)	COMP (54) MEZCLA	FLUJO	PROTECCION	N/A	N/A	ARRASTRE:	N/A	N/A	RESPALDO:	N/A	N/A
GAS (E5)	COMP (54) MEZCLA	FLUJO													
PROTECCION	N/A	N/A													
ARRASTRE:	N/A	N/A													
RESPALDO:	N/A	N/A													
<b>METALES DE APORTE (QW-404)</b>		<b>CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)</b>													
PROC(S) DE SOLD.: SMAW	ESPEC. SFA: 5.5	CORRIENTE: DIRECTA (CD)													
CLASIF. AWS: E9015-B3	No. F: 4	POLARIDAD: INVERTIDA													
No. A: 4	TAMAÑO: 1/8" Y 5/32"	AMPERAJE: 110/160													
OTRO(S): N/A	ESP. METAL DEPOS: 1 5/8 *	VOLTAJE: 26													
		ENTRADA DE CALOR: 124,800 J/PULG.													
		TAMAÑO ELECT. TUNGS: N/A													
		OTROS: EL PASO DE RAIZ SE REALIZO CON 110 AMPs.													
<b>POSICION (QW-405)</b>		<b>TECNICA (QW-410)</b>													
POSICION DE LA RANURA O FILETE: 3G	AVANCE DE LA SOLDADURA: ASCENDENTE <input checked="" type="checkbox"/> DESCENDENTE	VELOCIDAD DE AVANCE: 4 / 2-4 PULG / MIN.													
OTRO(S): N/A		CORDON RECTO U OSCILADO: AMBOS													
		OSCILACION: 1 1/8" MAX.													
<b>PRECALENTAMIENTO (QW-406)</b>		PASO MULTIPLE O SENCILLO (POR LADO): MULTIPLE													
TEMPERATURAS: PRECALENTAMIENTO: 400 ° F	INTERPASOS: 500 ° F	ELECTRODO MULTIPLE O SENCILLO: SENCILLO													
OTRO(S) MANTENIMIENTO POR FLAMA/CALOR DE SOLDADURA		OTRO(S): DESPUES DE LA SOLDADURA, EL CUPON SE PROTEGIO CON COLCHA REFRACTARIA PARA ENFRIAMIENTO LENTO.													
		DESPUES DE SOLDAR EL 1er LADO, SE ELIMINO EL PASO DE RAIZ POR EL OTRO LADO CON ARCO AIRE-CARBON Y SE SOLDÓ CON EL MISMO PROCEDIMIENTO.													
FIGURA 11.15															
REGISTRO DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS-20701-01															

**REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO (PQR)**

REVERSO

POR No.: WPS-20701-01 REV: A1

**PRUEBAS DE TENSION (QW-150)**

No. DE ESPECIMEN	ANCHO PULG.	TAMAÑO PULG.	AREA PULG. <sup>2</sup>	CARGA MAX. LB.	RESIST. A LA TENSION. PSI	TIPO DE FALLA Y LOCALIZACION
T1	0.744	0.507	0.3772	26,607	70,538	DUCTIL / METAL BASE
T2	0.743	0.508	0.3774	25,947	68,752	DUCTIL / METAL BASE
T3	0.744	0.510	0.3794	25,418	66,995	DUCTIL / METAL BASE
T4	0.742	0.511	0.3792	25,550	67,378	DUCTIL / METAL BASE

**PRUEBAS DE DOBLEZ GUIADO (QW-160)**

TIPO Y NUMERO DE FIGURA	RESULTADO
D1 - LATERAL QW-462.2 (a)	SATISFACTORIO
D2 - LATERAL QW-462.2 (a)	SATISFACTORIO
D3 - LATERAL QW-462.2 (a)	SATISFACTORIO
D4 - LATERAL QW-462.2 (a)	SATISFACTORIO

**PRUEBAS DE TENACIDAD (QW-170)**

No. DE ESPECIMEN	LOCALIZACION DE LA MUESCA	TIPO DE MUESCA	TEMP. DE PRUEBA	VALORES LDF-PIE	FRACTURA / EXP. LAT.
MB1	METAL BASE	CHARPY *V*	32 *F	269	% CORTE N/A MILS. N/A
MB2-3	METAL BASE	CHARPY *V*	32 *F	172 PROM *	N/A N/A
ZAC1	ZONA AFECTADA (ZAC)	CHARPY *V*	32 *F	294	* PROBETAS DE SECCION
ZAC2-3	ZONA AFECTADA (ZAC)	CHARPY *V*	32 *F	187 PROM *	REDUCIDA SEGUN UG-81
SOLD1-5	SOLDADURA	CHARPY *V*	32 *F	135 PROM,	N/A N/A

**PRUEBA DE SOLDADURA DE FILETE (QW-180)**

RESULTADO	SATISFACTORIO.	SI ( - )	NO ( - )
PENETRACION EN METAL BASE:		SI ( - )	NO ( - )
RESULTADOS DE MACROATAQUE:			N/A

**OTRAS PRUEBAS**

TIPO DE PRUEBA:	DUREZA PROM.: MB = 128.3 BHN; ZAC = 151.6 BHN; SOLD = 180 BHN.
ANALISIS DEL DEPOSITO:	C = 0.0963; Mn = 0.783; P = 0.006; S = 0.005; Si = 0.276; Cr = 2.704; Mo = 1.15 Sn = 0.001; Sb = 0.003; As = 0.003; V < 0.001. FACTOR X = 8.8
OTRO (S):	ANALISIS DEL METAL BASE: C = 0.075; Mn = 0.50; P = 0.010; S = 0.001; Si = 0.244, Cr = 2.21; Mo = 0.93; Sn = 0.001; Sb = 0.0006; As = 0.004; V = 0.003. FACTOR J = 81.8

NOMBRE DEL SOLDADOR: ANSELMO ROJO NIETO FICHA: 17 MARCA 192  
 PRUEBAS CONDUCCIDAS POR: J. PEDRO RAYA S.  
 PRUEBA DE LABORAT. No.: PT-141-2, PD-233-2, PI-005, PDZ = 205, PAO-236-LF

CERTIFICAMOS QUE LAS AFIRMACIONES ESTABLECIDAS EN ESTE REGISTRO SON CORRECTAS Y QUE LOS CUPONES DE PRUEBA FUERON PREPARADOS, SOLDADOS Y PROPADOS DE ACUERDO CON LOS REQUERIMIENTOS DE LA SECCION IX DEL CODIGO ASME

FABRICANTE: CISA

FECHA: OCT. 28, 1992

POR: SERGIO DE MOHAES

11.2.3 DESARROLLO DE LA CALIFICACION DE HABILIDAD DEL SOLDADOR .

La secuencia de calificación de la habilidad del soldador que realizará las soldaduras en los materiales 2 1/4 Cr-1Mo, se muestra en la figura 11.16; posteriormente se presenta una breve descripción de cada uno de los pasos.

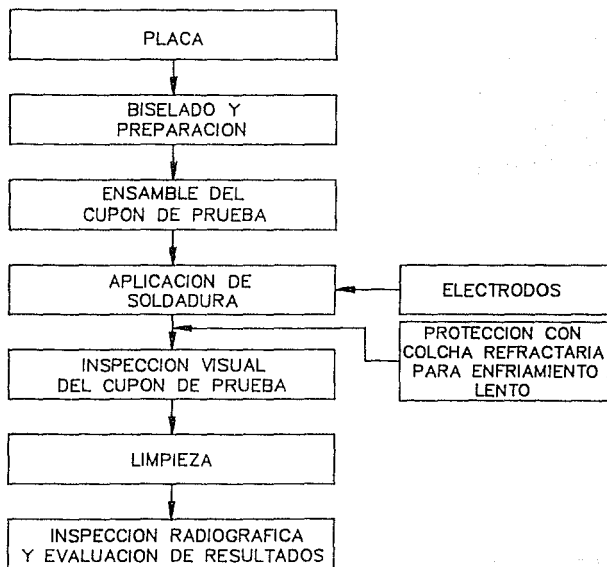


FIGURA 11.16  
SECUENCIA DE CALIFICACION DE HABILIDAD DEL SOLDADOR PARA  
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS-20701-01.

a) Placa, biselado, preparación y ensamble

La habilidad del soldador fue evaluada mediante un cupón de prueba hecho a partir de placa 2 1/4 Cr - 1 Mo, de 3/4 pulg de espesor. Se eligió este tamaño de placa, debido a que la calificación de habilidad en este espesor, califica al soldador para soldar en todos los espesores de metal base (ASME Sección IX, parte QW-452).

El biselado de las placas de prueba se realizó en forma transversal al sentido de rolado del material, y fue del tipo ranura en V sencilla, con ángulo de bisel de 30 grados y abertura y cara de raíz de 1/8 pulg.

Al igual que en la calificación de procedimiento, el biselado y la preparación del cupón de prueba, fueron hechos por oxicorte, seguido de esmerilado. Los componentes y ensamble de dicho cupón son mostrados en las figuras 11.17 y 11.18.

b) Soldadura

La soldadura del cupón se realizó en posición vertical (3G) y de acuerdo a los parámetros y consideraciones establecidas en el procedimiento de soldadura WPS-20701-01. Se eligió esta posición porque es la que más se va a utilizar en las soldaduras de producción.

Al terminar de soldar la ranura, el cupón se protegió con colcha refractaria para enfriamiento lento. Posteriormente, se procedió a remover los puentes metálicos y a eliminar el paso de raíz; ambos con arco aire-carbón, seguido de esmerilado. Por último, se aplicó la soldadura de respaldo y se protegió nuevamente el cupón con colcha refractaria.

c) Inspección visual

Después de la soldadura, el cupón se inspeccionó visualmente, y no se detectó ningún tipo de defecto superficial; esto es, la junta no presentó socavados, refuerzos excesivos, porosidad, o faltas de fusión entre cordones de soldadura. Debido a esto, el cupón de prueba fue aceptado visualmente.

d) Limpieza

Una vez concluida la inspección visual, se removieron las placas auxiliares para entrada y salida del electrodo; éstas también con arco aire-carbón. Posteriormente, el cupón fue limpiado por medio de esmerilado, y además marcado con el número de marca del soldador, número de procedimiento de soldadura y posición de prueba. Dicho marcaje se realizó con números y letras de golpe, y quedó de la siguiente manera:

C.H.S. 9/WPS-20701-01/3G

**e) Pruebas requeridas**

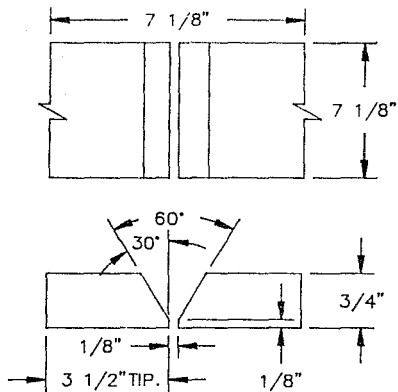
El cupón de prueba para evaluar la habilidad del soldador, se calificará mediante inspección radiográfica (ASME Sección IX, parte QW-304).

**f) Realización de las pruebas y evaluación de los resultados**

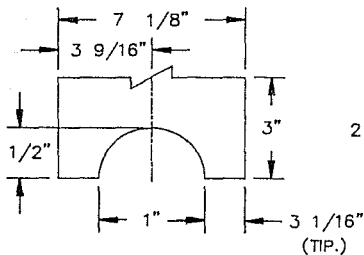
La inspección radiográfica se efectuó con una fuente radioactiva de Iridio-192. La película radiográfica presentó una soldadura libre de defectos; por lo tanto, se deduce que dicha prueba cumple con el criterio de aceptación para inspección radiográfica, establecido en la Sección IX del Código ASME, parte QW-191.

**g) Registro de los resultados de prueba**

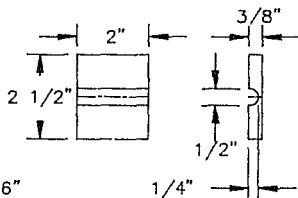
Debido a que los resultados de inspección visual y radiográfica, fueron satisfactorios, se concluye que el soldador ha aprobado la prueba de calificación; por lo tanto, el registro de calificación de habilidad (WQP) resulta como se indica en la figura 11.19.



A) PLACAS PARA CUPON (2)  
(PLACA SA-387 GR. 22 CL. 1; 3/4" ESP.)



B) PUENTES (2)  
(PLACA SA-516-70; 3/4" ESP.)



C) PLACAS PARA INICIO Y  
FINAL DEL ARCO (2)  
(PLACA SA-516-70; 3/8" ESP.)

FIGURA 11.17  
COMPONENTES DEL CUPON DE PRUEBA PARA CALIFICAR  
LA HABILIDAD DEL SOLDADOR DE ACUERDO AL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS-20701-01



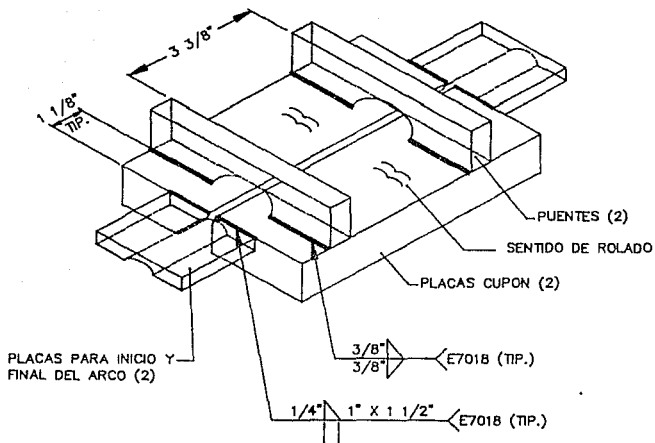


FIGURA 11.18  
 ENSAMBLE DEL CUPON DE PRUEBA PARA CALIFICAR  
 LA HABILIDAD DEL SOLDADOR DE ACUERDO AL  
 PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS-20701-01

**REGISTRO DE CALIFICACION DE SOLDADOR/OPERADOR  
DE SOLDADURA (WPO)**

**COMPANIA:** CONSORCIO INDUSTRIAL S.A.  
**NOMBRE DEL SOLDADOR/OPERADOR:** SANCHEZ BARRIENTOS J. GUADALUPE  
**FICHA:** 79 **MARCA:** 9  
**PROCESO(S) DE SOLDADURA UTILIZADO(S):** SMAW **TIPO:** MANUAL  
**WPS(S) UTILIZADO(S) PARA LA CALIFICACION:** 20701-1  
**MATERIAL(ES) UTILIZADO(S):** SA-397 GR.22-CL.1 A SA-397 GR.22-CL.1

**VARIABLES PARA CADA PROCESO**

**MANUAL O SEMIAUTOMATICO (QW-350)**

	VALORES REALES	RANGO CALIFICADO
<b>RESPALDO:</b>	CON	CON
<b>METALES BASE P No.:</b>	P5 A P5	P1 A P11 Y P4X
<b>PLACA ( X ) O TUBO ( )</b>	3/4" ESP.	N/A
<b>ESPEC. M. DE APORTE (SFA):</b> 5.5 <b>CLASIFICACION:</b>	E9015-B3	
<b>METAL DE APORTE F No.:</b>	4	4, 3, 2, 1
<b>INSERTO CONSUMIBLE (P) PARA GTAW O PAW:</b>	N/A	N/A
<b>ESPESOR DE DEPOSITO PO1) PROCESO:</b>	3/4"	ILIMITADO
<b>POSICION DE SOLDADURA:</b> 3G <b>RANURA:</b> PLACA Y TUBO MAYOR DE 24" DIA. TUBO 2-7/8" A 24" DIA.	F	F, V, U
<b>FILETE:</b> PLACA Y TUBO.	F, H, V, U	
<b>AVANCE (ASCENDENTE O DESCENDENTE):</b>	ASCENDENTE	ASCENDENTE
<b>GAS DE RESPALDO (GTAW, GMAW O PAW):</b>	N/A	N/A
<b>MODO DE TRANSFERENCIA (GMAW):</b>	N/A	N/A
<b>TIPO DE CORRIENTE Y POLARIDAD (GTAW):</b>	N/A	N/A

**VARIABLES PARA CADA PROCESO**

**MAQUINA O AUTOMATICO (QW-350)**

	VALORES REALES	RANGO CALIFICADO
<b>CONTROL VISUAL REMOTO/DIRECTO:</b>	N/A	N/A
<b>CONTROL DE VOLTAJE AUTOMATICO (GTAW):</b>	N/A	N/A
<b>POSICIONADO AUTOMATICO DE LA JUNTA:</b>	N/A	N/A
<b>POSICION DE SOLDADURA:</b>	N/A	N/A
<b>INSERTO CONSUMIBLE:</b>	N/A	N/A
<b>RESPALDO:</b>	N/A	N/A

**RESULTADOS DE PRUEBAS DE DOBLEZ GUIADO**

TIPO DE PRUEBA DE DOBLEZ GUIADO	( ) QW-462.2 ( LATERAL )	( ) QW-462.3(a) ( TRANSV. CARA Y RAIZ )	( ) QW-462.3(b) ( LONG. CARA Y RAIZ )
N/A	N/A	N/A	N/A

**RESULTADOS DE EXAMINACION VISUAL (QW-302.4):** SATISFACTORIO  
**RESULTADOS DE RADIOGRAFIA (QW-304 Y QW-305):** SATISFACTORIO  
(ALTERNATIVA DE CALIFICACION PARA SOLDADURA DE TUBERIA)

**RESULTADOS DE LIQUIDOS PENETRANTES:** N/A

**SOLDADURA DE FILETE:**

**FRACTURA:** N/A **LONG. Y % DE DEFECTOS:** N/A **PULG.**

**MACROATAQUE:** FUSION: N/A **TAMANO PIERNA:** N/A **PULO X:** N/A **PULO CONCAV/CONVEX:** N/A **PULO:**

**PRUEBA DE SOLDADURA CONDUCCIA POR:** J. PEDRO RAYA S.

**PRUEBAS MECANICAS CONDUCCIAS POR:** N/A

**REPORTE DE LABORATORIO No.:** PR-715/92

CERTIFICAMOS QUE LAS AFIRMACIONES ESTABLECIDAS EN ESTE REGISTRO SON CORRECTAS Y QUE LOS COUPONES DE PRUEBA FUERON PREPARADOS SOLDADOS Y PROBADOS DE ACUERDO CON LOS REGLAMENTOS DE LA SECCION II DEL CODIGO ASME.

**FABRICANTE:** CISA

**FECHA:** NOV. 09, 1992 **POR:** SERGIO DE MORAES

**FIGURA 11 19**

**REGISTRO DE HABILIDAD DE SOLDADOR PARA PROCESO SMAW Y MATERIALES 2 1/2 Cr-1 Mo**

## 12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La especificación de procedimiento de soldadura y las pruebas de calificación, tanto de procedimiento como de habilidad, expuestas en este trabajo, han cumplido con los requerimientos del cliente y de la Sección IX del Código de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME). Por lo tanto, las soldaduras de producción en los materiales 2 1/4 Cr - 1 Mo, pueden ser iniciadas.

Es importante recalcar que antes de iniciar cualquier soldadura de producción, y a fin de evitar gastos innecesarios por soldaduras mal aplicadas, debemos contar con un procedimiento de soldadura calificado en base a los requerimientos de un código, especificación, o contrato de compra aplicable.

Con respecto a los soldadores, éstos también deben estar calificados para desempeñar el trabajo de soldadura requerido, ya que este requisito, aunado con la elaboración y calificación del procedimiento, y con la inspección antes, durante y después de la aplicación, contribuirá a que se tengan soldaduras libres de posibles defectos que puedan afectar las propiedades requeridas.

Un aspecto importante en los trabajos de producción, es el monitoreo de las soldaduras de acuerdo a los parámetros

establecidos en el procedimiento de soldadura calificado, ya que con esto se garantiza obtener las propiedades requeridas, tanto en el metal base como en el metal de soldadura depositado.

Finalmente, al calificar un procedimiento de soldadura, debemos ser honestos y no alterar los resultados de prueba, ya que de éstos depende la funcionalidad de los equipos y la seguridad de la gente que está trabajando con ellos.

13 BIBLIOGRAFIA

1. AWS. Welding Processes. Welding Handbook. Vol. 2. 7th. Ed. U.S.A., Florida. 1978
2. AWS. Fundamentals of Welding. Welding Handbook Vol. 1. 7th. Ed. U.S.A., Florida. 1981
3. ASM. Welding, Brazing and Soldering. Metals Handbook Vol. 6. 9th. Ed. U.S.A., Ohio. 1973
4. AWS. Welding Inspection Technology. U.S.A., Florida. 1986
5. ASM-AWS. Visual and Liquid Penetrant Inspection. Homestudy and Extension Course. U.S.A., Florida. 1979
6. General Dynamics. Radiographic Testing Classroom. Training Handbook. 2nd. Ed. 1983
7. AWS. Engineering, Costs, Quality and Safety. Welding Handbook. Vol. 5. 7th. Ed. U.S.A., Florida. 1984
8. ASM-AWS. Chemical, Metallurgical and Mechanical Testing of Welds. Homestudy and Extension Course. U.S.A., Florida. 1973
9. ASM. Metals Handbook. Properties and Selection: Iron and Steels. Vol. 1. 9th. Ed. U.S.A., Ohio. 1978

10. ASME. Specification for Mechanical Testing of Steel. SA-370
11. ASM-AWS. Qualification of Welding Procedures, Welders and Welding Operators. Homestudy and Extension Course. U.S.A., Florida. 1979
12. ASME. Welding and Brazing Qualifications. Section IX. U.S.A., New York. 1992
13. ASME. Material Specifications. Section II, Part A. Specification for Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Chromium-Molybdenum. SA-387.
14. ASME. Specification for General Requirements for Steel Plates for Pressure Vessels. SA-20
15. ASME. Material Specifications. Section II, Part C. Specification for Low Alloy Steel Covered Arc-Welding Electrodes. SFA-5.5. U.S.A., New York. 1992
16. AWS. Metals and Their Weldability. Welding Handbook. Vol. 4. Chapt. Weldability of Chromium-Molybdenum Steels. 7th. Ed. U.S.A., Florida. 1982
17. AWS. Welding Research Supplement. Prevention of Temper Embrittlement in 2 1/4 Cr - 1 Mo Weld Metal by Metallurgical Actions. Ed. May. 1983

18. LINCOLN. The Procedure Handbook of Arc Welding. 12th. Ed. U.S.A., Ohio. 1973
19. ASME. Rules for Construction of Pressure Vessels. Section VIII, Div. 1. Parts. UG, UW, AND UCS. U.S.A. New York. 1991.