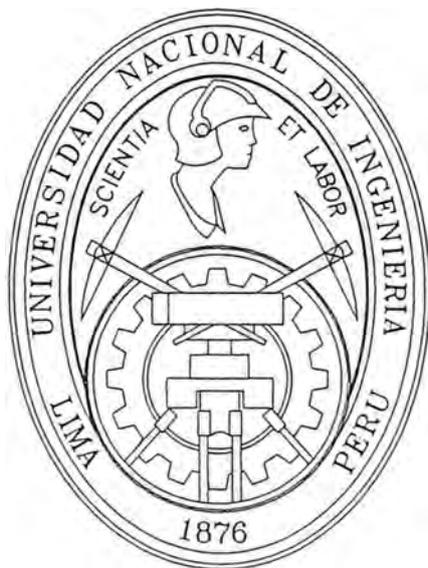


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**METODOLOGIA PARA LA CALIFICACION DE  
PROCEDIMIENTOS Y OPERARIOS DE  
SOLDADURA PARA LA FABRICACION DE  
PUENTES**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECANICO**

**DAVID ALEXANDER YI MONTOYA**

PROMOCION 2005-I

LIMA - PERU

2009

## TABLA DE CONTENIDOS

CAPITULO 1	Introducción.....	3
1.1	Justificación.....	3
1.2	Objetivo.....	4
1.3	Alcance.....	4
1.4	Limitaciones.....	5
CAPITULO 2	Marco Teórico .....	6
2.1	Definición de puente .....	6
2.2	Calidad en la soldadura .....	6
2.3	Propósito de la calificación .....	7
2.3.1	Calificación de procedimientos de soldadura .....	7
2.3.2	Calificación de operarios de soldadura .....	7
2.4	Responsabilidad .....	8
2.5	Materiales base.....	8
2.6	Procesos de soldadura .....	9
2.6.1	Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW) .....	10
2.6.2	Soldadura por arco eléctrico con alambre sólido protegido por gas (GMAW).....	10
2.6.3	Soldadura por arco eléctrico con alambre tubular (FCAW) .....	11
2.6.3.1	Soldadura por arco eléctrico con alambre tubular protegido por gas (FCAW-G) .....	11

2.6.3.2	Soldadura por arco eléctrico con alambre tubular autoprotegido (FCAW-S).....	12
2.6.4	Soldadura por arco eléctrico sumergido (SAW) .....	13
2.7	Tipos de uniones .....	13
2.8	Tipos de soldadura .....	15
2.9	Tipos de penetración .....	16
2.9.1	Junta de penetración completa (CJP) .....	16
2.9.2	Junta de penetración parcial (PJP) .....	17
2.10	Posiciones de soldadura y calificación.....	17
2.10.1	Posiciones de soldadura .....	17
2.10.2	Posiciones de calificación .....	21
2.11	Variables esenciales .....	22
2.12	Calor aportado (Heat Input) .....	22
2.13	Ensayo Charpy V-notch (CVN) .....	22
CAPITULO 3 Metodología para calificar un procedimiento de soldadura .....		24
3.1	Alternativas para la calificación de un procedimiento de soldadura.....	25
3.2	Procedimiento precalificado.....	26
3.2.1	Diagrama de flujo.....	28
3.2.2	Proceso de soldadura.....	29
3.2.3	Diseño de la unión.....	29
3.2.4	Posición de soldadura.....	29
3.2.5	Material base/Material de aporte.....	29
3.2.6	Temperaturas.....	30

3.2.7	Variables .....	30
3.2.8	Tratamiento térmico postsoldadura.....	30
3.2.9	Procedimiento precalificado impreso.....	30
3.3	Método del Máximo Calor Aportado .....	31
3.3.1	Calificación de procedimiento de soldadura .....	32
3.3.1.1	Diagrama de flujo.....	32
3.3.1.2	Proceso de soldadura.....	33
3.3.1.3	Diseño de la unión.....	33
3.3.1.4	Posición de soldadura.....	33
3.3.1.5	Material base/Material de aporte.....	33
3.3.1.6	Temperaturas.....	34
3.3.1.7	Determinación del máximo calor de aporte .....	34
3.3.1.8	Tratamiento térmico postsoldadura.....	35
3.3.1.9	Dimensiones del cupón de prueba.....	35
3.3.1.10	Criterios de aceptación de inspección visual .....	38
3.3.1.11	Criterios de aceptación de ensayo radiográfico .....	39
3.3.1.12	Número y tipo de ensayos a realizar .....	40
3.3.1.13	Dimensión de los especímenes a ensayar.....	41
3.3.1.14	Criterios de aceptación de los ensayos.....	41
3.3.1.15	Registro de la calificación.....	41
3.3.2	Verificación de un procedimiento de soldadura.....	42
3.3.2.1	Diagrama de flujo.....	42
3.3.2.2	PQR a verificar.....	43
3.3.2.3	Dimensiones del cupón de prueba.....	43

3.3.2.4	Criterios de aceptación de inspección visual .....	45
3.3.2.5	Criterios de aceptación de ensayo radiográfico .....	45
3.3.2.6	Número y tipo de ensayos a realizar .....	46
3.3.2.7	Dimensión de los especímenes a ensayar.....	46
3.3.2.8	Criterios de aceptación de los ensayos.....	46
3.3.2.9	Registro de la calificación.....	47
3.4	Método de Calificación General .....	47
3.4.1	Diagrama de flujo.....	48
3.4.2	Proceso de soldadura.....	49
3.4.3	Diseño de unión .....	49
3.4.4	Posición de soldadura.....	49
3.4.5	Material base/Material de aporte.....	49
3.4.6	Temperaturas.....	50
3.4.7	Variables esenciales .....	50
3.4.7.1	Material de aporte .....	50
3.4.7.2	Electrodos.....	51
3.4.7.3	Gas de protección.....	51
3.4.7.4	Múltiples electrodos usando SAW.....	51
3.4.7.5	Generales.....	51
3.4.8	Tratamiento térmico postsoldadura.....	52
3.4.9	Dimensiones del cupón de prueba.....	52
3.4.10	Criterios de aceptación de inspección visual .....	54
3.4.11	Criterios de aceptación de ensayo radiográfico .....	54
3.4.12	Número y tipo de ensayos a realizar .....	54

3.4.13	Dimensión de los especímenes a ensayar.....	55
3.4.14	Criterios de aceptación de los ensayos.....	55
3.4.15	Registro de la calificación.....	55
3.5	Ensayos adicionales para la calificación de procedimientos de uniones a filete .....	56
CAPITULO 4 Metodología para calificar operarios de soldadura .....		58
4.1	Metodología para la calificación de soldadores .....	59
4.1.1	Diagrama de flujo.....	59
4.1.2	Trabajo a realizar.....	60
4.1.3	Limitación de las variables.....	60
4.1.4	Procedimiento de soldadura calificado .....	60
4.1.5	Dimensiones del cupón de prueba.....	61
4.1.6	Criterios de aceptación de inspección visual .....	62
4.1.7	Número y tipo de ensayos a realizar .....	62
4.1.8	Dimensiones de los especímenes a ensayar .....	64
4.1.9	Criterios de aceptación de los ensayos.....	64
4.1.10	Registro de la calificación.....	64
4.2	Metodología para la calificación de operadores de soldadura .....	65
4.2.1	Diagrama de flujo.....	65
4.2.2	Trabajo a realizar.....	66
4.2.3	Limitación de las variables.....	66
4.2.4	Procedimiento de soldadura calificado .....	66
4.2.5	Dimensiones del cupón de prueba.....	66

4.2.6	Criterios de aceptación de inspección visual .....	67
4.2.7	Número y tipo de ensayos a realizar .....	68
4.2.8	Dimensiones de los especímenes a ensayar .....	68
4.2.9	Criterios de aceptación de los ensayos.....	68
4.2.10	Registro de la calificación.....	69
4.3	Metodología para la calificación de apuntaladores de soldadura.....	70
4.3.1	Diagrama de flujo.....	70
4.3.2	Trabajo a realizar.....	71
4.3.3	Limitación de las variables.....	71
4.3.4	Procedimiento de soldadura calificado .....	71
4.3.5	Dimensiones del cupón de prueba.....	71
4.3.6	Criterios de aceptación de inspección visual .....	72
4.3.7	Ensayo a realizar .....	73
4.3.8	Criterios de aceptación del ensayo .....	74
4.3.9	Registro de la calificación.....	74
CAPITULO 5 Aplicación: Calificación de un procedimiento de soldadura.....		75
5.1	Calificación de procedimiento de soldadura para proceso SAW.....	75
5.1.1	Proceso de Soldadura .....	76
5.1.2	Diseño de la unión.....	76
5.1.3	Posición de soldadura.....	76
5.1.4	Material base/Material de aporte.....	76
5.1.5	Temperaturas.....	77
5.1.6	Determinación del máximo calor de aporte .....	77

5.1.7	Tratamiento térmico postsoldadura.....	79
5.1.8	Dimensiones del cupón de prueba.....	79
5.1.9	Criterios de aceptación de inspección visual .....	79
5.1.10	Criterios de aceptación de ensayo radiográfico .....	79
5.1.11	Número y tipo de ensayos a realizar .....	79
5.1.12	Dimensiones de los especímenes a ensayar .....	80
5.1.13	Criterios de aceptación de los ensayos.....	80
5.1.14	Registro de la calificación.....	81
5.2	Duración de una calificación.....	85
Conclusiones .....		86
Bibliografía .....		88
Anexos .....		89

## PROLOGO

Este informe nace como consecuencia de la necesidad de realizar trabajos de soldadura de calidad para la fabricación de puentes. Para este fin debemos contar con procedimientos de soldadura calificados y por ende operarios de soldadura también calificados. Es por ello que en el presente informe se propone una secuencia de pasos que nos llevarán a obtener dichas calificaciones.

Al ser la fabricación de puentes un trabajo específico cuenta, por su envergadura, con un código de fabricación específico para este fin. Por tal motivo se establecerán metodologías para las calificaciones utilizando el código “AASHTO/AWS D1.5M/D1.5 Bridge Welding Code”. El contenido del informe será desarrollado en 5 capítulos, los cuales son:

Capítulo 1: Introducción. Se menciona la justificación, el objetivo, el alcance y las limitaciones.

Capítulo 2: Marco Teórico. En este capítulo se explican los conceptos más importantes en la soldadura referidos a la calificación y al código mencionado.

Capítulo 3: Metodología para calificar procedimientos de soldadura. Se establecerán varias metodologías de calificación de procedimientos de soldadura para las alternativas de calificación que nos proporciona el código mencionado.

Capítulo 4: Metodología para calificar operarios de soldadura. Se establecerá una metodología de calificación para cada tipo de operario de soldadura (soldador, operador y apuntalador).

Capítulo 5: Aplicación: Calificación de un procedimiento de soldadura. Se utilizará una de las metodologías propuestas para la calificación de un procedimiento de soldadura.

Finalmente, agradezco mi formación en el campo de la soldadura a la empresa SOLDEXA S.A., al invaluable aporte del Ing. Leonardo Rodríguez por su guía para el desarrollo de este informe y a los retos del mañana, claves en el desarrollo profesional de cualquier persona.

# CAPITULO 1

## INTRODUCCION

### 1.1 Justificación

Para salvar un accidente geográfico o cualquier otro obstáculo físico como un río, un valle, una depresión o cualquier obstrucción se construyen puentes. Como parte del crecimiento de un país nace la necesidad de construir carreteras y vías férreas para conectar internamente dicho país. El Perú no es ajeno a esto y debido a su geografía accidentada parte de las carreteras o vías férreas requerirán la construcción de uno o varios puentes. Debido a la importancia que implica construir un puente y aún más lo catastrófica que resultaría la falla de uno es que su fabricación debe ser realizada cumpliendo altos estándares de calidad, por tal motivo es importante que las personas involucradas en las áreas principalmente de producción y calidad, conozcan a profundidad la aplicación de las normas utilizadas para tal fin.

Los puentes pueden ser fabricados con hormigón o acero principalmente, siendo estos últimos los más flexibles en su fabricación y de mejor desempeño frente a las condiciones de trabajo (tracción, compresión y flexión). Las piezas de estos puentes de acero pueden ser unidos por remachado en caliente o soldadura fundamentalmente y dentro de estas la más utilizada es la unión soldada.

En el Perú para realizar las uniones soldadas en la fabricación de puentes de acero se utiliza, en la actualidad, el código “AASHTO/AWS D1.5M/D1.5 Bridge Welding Code”, pero para que las empresas obtengan buenos resultados en las uniones soldadas, es necesario que conozcan la correcta aplicación del código en cuanto a las variables a seleccionar, los procesos de soldadura, los material de aporte, la calificación del procedimiento de soldadura, la calificación de los soldadores, operadores y apuntaladores de soldadura (operarios de soldadura) y la inspección (antes, durante y después de soldar).

Vemos pues que la calificación procedimientos de soldadura y operarios de soldadura es uno de los pasos más importante para obtener buenos resultados en una obra, por tal motivo he visto conveniente establecer metodologías para las llevar a cabo dichas calificaciones basándome en el código “AASHTO/AWS D1.5M/D1.5 Bridge Welding Code”

## **1.2 Objetivo**

Proveer una metodología para la calificación de procedimientos de soldadura y operarios de soldadura (soldadores, operadores y apuntaladores) para la fabricación de puentes, de acuerdo al código “AASHTO/AWS D1.5M/D1.5 Bridge Welding Code”.

## **1.3 Alcance**

1. El informe está basado en la cláusula 5 del código “AASHTO/AWS D1.5M/D1.5 Bridge Welding Code”.

2. Se contemplan los procesos de soldadura utilizados en nuestro medio para la fabricación de puentes: SMAW, GMAW, FCAW y SAW.

#### **1.4 Limitaciones**

1. La edición del código “AASHTO/AWS D1.5M/D1.5 Bridge Welding Code” en la cual se basa el presente informe es la quinta edición, publicada en el año 2008.
2. El lector debe tener conocimiento sobre códigos y normas de soldadura para comprender los términos utilizados.

## CAPITULO 2

### MARCO TEORICO

#### 2.1 Definición de puente

Un puente es una construcción, por lo general artificial, que permite salvar un accidente geográfico o cualquier otro obstáculo físico como un río, un cañón, un valle, una depresión o cualquier obstrucción. El diseño de cada puente varía dependiendo de su función y la naturaleza del terreno sobre el que el puente es construido.

El puente que nos trae al presente informe es el tipo de puente que se convierte en parte de una carretera o vía férrea, fabricado en acero mediante la unión de sus piezas por procesos de soldadura.

#### 2.2 Calidad en la soldadura

Como definición general, la calidad es la conformidad de lo real con lo requerido, es decir, que las características reales de un producto o servicio cumplan con las características requeridas por el diseño. Estas características deben ser medibles para que puedan ser comparadas.

En soldadura, esas características de las uniones soldadas se encuentran contenidas en los documentos del contrato o en las normas aplicables, en nuestro caso, en el código “AASHTO/AWS D1.5M/D1.5 Bridge Welding Code”.

### **2.3 Propósito de la calificación**

Como hemos visto desarrollaremos 2 tipos de calificación:

#### **2.3.1 Calificación de procedimientos de soldadura**

El propósito de la calificación de un procedimiento de soldadura (WPS) es desarrollar las pruebas diseñadas y proporcionadas por el código, que aseguren que el metal depositado por soldadura cumpla con los requisitos o criterios de aceptación del código en cuanto a resistencia mecánica del metal depositado, resistencia mecánica de la unión, ductilidad y tenacidad.

#### **2.3.2 Calificación de operarios de soldadura**

El propósito de la calificación operarios de soldadura es desarrollar las pruebas diseñadas y proporcionadas por el código, que aseguren que el soldador, operador o apuntalador tiene la suficiente habilidad para producir uniones soldadas que cumplan con los criterios de aceptación del código. En otras palabras, que tengan la suficiente habilidad para reproducir lo estipulado por los diferentes procedimientos de soldadura presentes en la obra.

## **2.4 Responsabilidad**

En este código existen dos partes presentes en la fabricación de un puente: el “dueño” de la obra (que en este caso se trata del Estado) representado por el “Ingeniero” y el “contratista” (parte encargada de llevar a cabo la fabricación del puente).

El contratista es responsable de llevar a cabo las pruebas y ensayos para la calificación de procedimientos y calificación de operarios de soldadura.

El ingeniero como representante oficial del dueño de la obra es quien en última instancia aprueba todos los documentos correspondientes a la fabricación, incluidas las calificaciones de procedimientos de soldadura, y tiene la potestad de solicitar pruebas adicionales. Asimismo, el ingeniero es quien aprueba el uso de materiales y procesos de soldadura no contemplados en el código.

## **2.5 Materiales base**

En este código tenemos materiales base aprobados para la fabricación de puentes, los cuales figuran en el cuadro N° 2.1 con sus respectivas equivalencias más comerciales.

Aprobado por el código	Equivalencia
ASTM A709M/A709 Gr. 250 [36]	ASTM A36M [A36]
ASTM A709M/A709 Gr. 345 [50]	ASTM A572M [A572] Gr. 345 [50]
ASTM A709M/A709 Gr. 345W [50W]	ASTM A588M [A588] Gr. 345 [50]
ASTM A709M/A709 Gr. 690 [100]	ASTM A514M [A514]
ASTM A709M/A709 Gr. 690W [100W]	ASTM A514M [A514]

Cuadro N° 2.1 Materiales aprobados por el código

La posibilidad de utilizar otros materiales base diferentes de los mostrados dependerá de la aprobación del ingeniero.

## **2.6 Procesos de soldadura**

Los procesos de soldadura contemplados en el código son 6, pero de éstos son sólo 4 los procesos usados en nuestro país:

### 2.6.1 Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW)

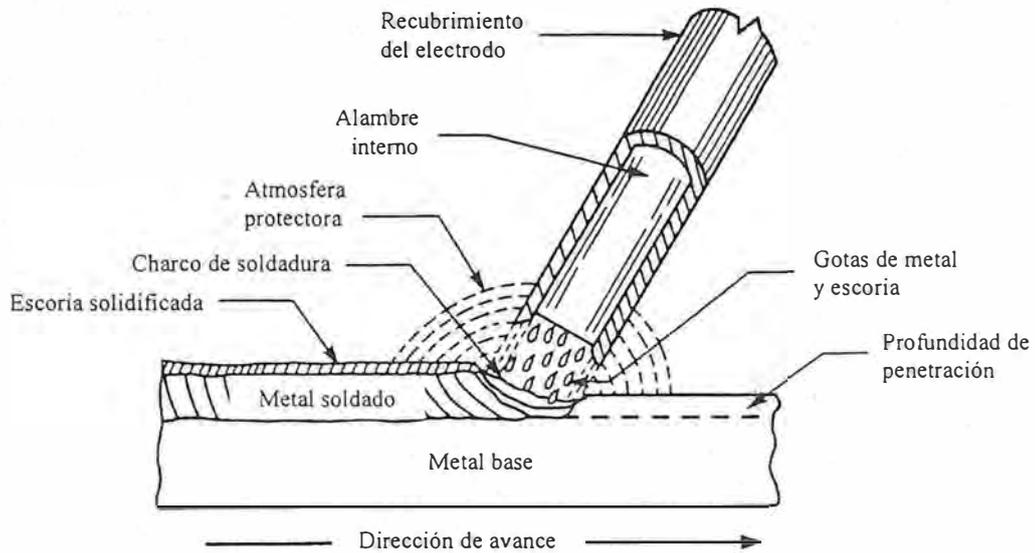


Figura N° 2.1 Esquema del proceso SMAW

### 2.6.2 Soldadura por arco eléctrico con alambre sólido protegido por Gas (GMAW)

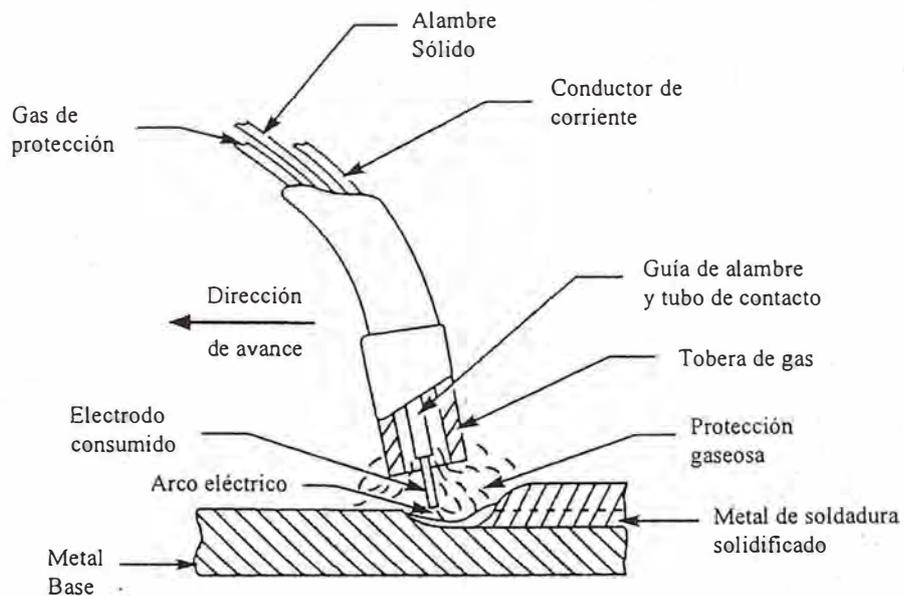


Figura N° 2.2 Esquema del proceso GMAW

### 2.6.3 Soldadura por arco eléctrico con alambre tubular (FCAW)

#### 2.6.3.1 Soldadura por arco eléctrico con alambre tubular protegido por gas (FCAW-G)

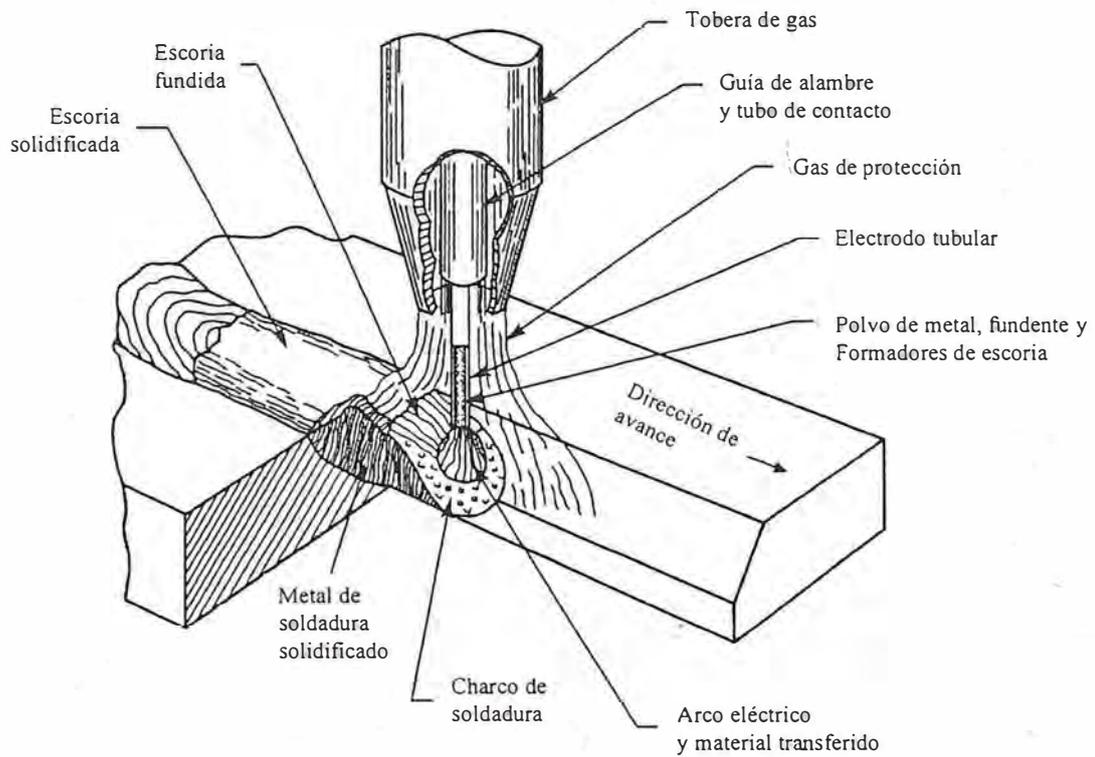


Figura N° 2.3 Esquema del proceso FCAW-G

2.6.3.2 Soldadura por arco eléctrico con alambre tubular autoprotegido  
(FCAW-S)

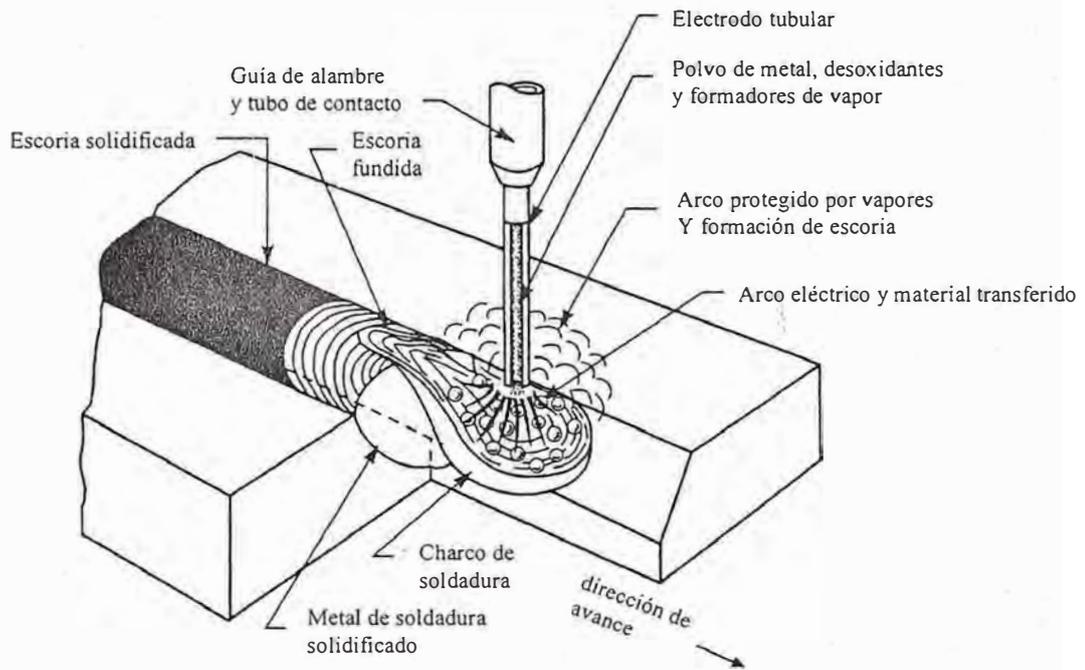


Figura N° 2.4 Esquema del proceso FCAW-S

### 2.6.4 Soldadura por arco eléctrico sumergido (SAW)

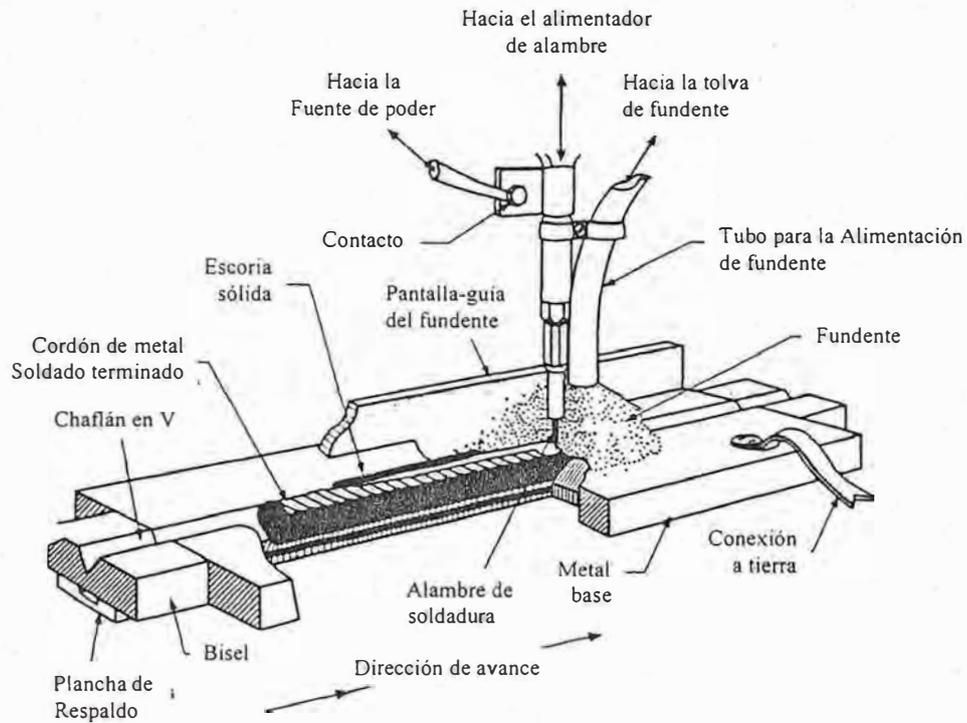
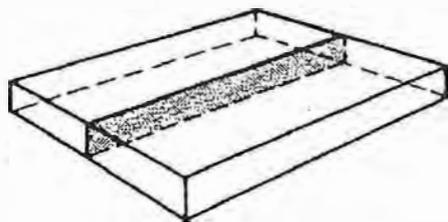


Figura N° 2.5 Esquema del proceso SAW

### 2.7 Tipos de uniones

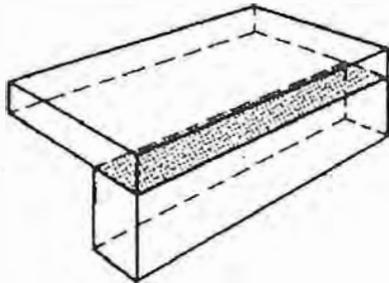
Son 5 los tipos de uniones básicas. Se muestran en la figura N° 2.6.



(A) Unión a tope

Aplicable a soldaduras

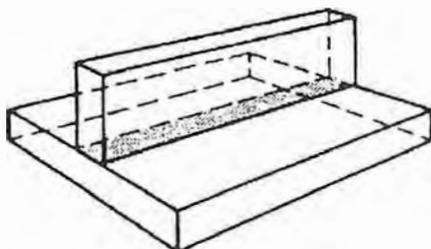
Con chaflán biselado	Con chaflán en V ensanchada
Con chaflán en bisel ensanchado	Con chaflán plano
Con chaflán en J	De borde en canto
Con chaflán en U	Fuertes
Con chaflán en V	



(B) Unión en esquina

Aplicable a soldaduras

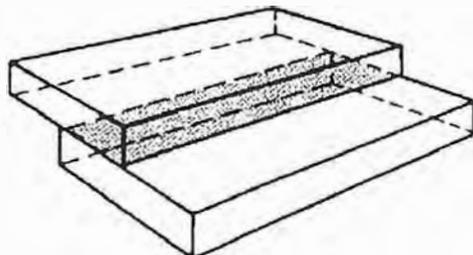
Con chaflán biselado	Con chaflán plano
Con chaflán en bisel ensanchado	De tapón
Con chaflán en J	En ángulo
Con chaflán en U	En ojal
Con chaflán en V	Fuertes
Con chaflán en V ensanchada	Por costura
	Por protuberancias
	Por puntos



(C) Unión en T

Aplicable a soldaduras

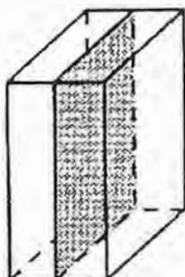
Con chaflán biselado	En ángulo
Con chaflán en bisel ensanchado	En ojal
Con chaflán en J	Fuertes
Con chaflán plano	Por costura
De tapón	Por protuberancias
	Por puntos



(D) Unión a solape

Aplicable a soldaduras

Con chaflán biselado	En ojal
Con chaflán en bisel ensanchado	Fuertes
Con chaflán en J	Por costura
De tapón	Por protuberancias
En ángulo	Por puntos



(E) Unión en canto

Aplicable a soldaduras

Con chaflán biselado	Con chaflán en V ensanchada
Con chaflán en bisel ensanchado	Con chaflán plano
Con chaflán en J	De canto
Con chaflán en U	Por costura
Con chaflán en V	

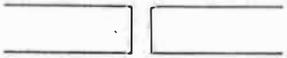
Figura N° 2.6 Tipos de uniones

## 2.8 Tipos de Soldadura

Como se ha visto para los tipos de unión se puede aplicar varios tipos de soldadura. Estos tipos de soldadura se pueden agrupar en 9 categorías las cuales se muestran en el cuadro N° 2.2. En cada una de esas categorías contienen ciertos tipos de soldadura. Las más usadas son las categorías de soldadura de chaflán (groove) y filete (fillet) mostradas en el cuadro N° 2.3.

N°	Categoría de soldadura	Traducción
1	Soldadura con chaflán (groove)	Groove
2	Soldadura de filete (fillet)	Fillet
3	Soldadura en botón o en tapón o Soldaduras en ranura o en ojal	Tapón (Plug) Ojal (Slot)
4	Soldadura de espárragos	Stud
5	Soldadura por puntos o Soldadura por proyección	Spot or Projection
6	Soldadura por costura	Seam
7	Soldadura de reverso o Soldadura de respaldo	Back or Backing
8	Soldaduras con recargue	Surfacing
9	Soldadura de componentes curvos	Flange

Cuadro N° 2.2 Categorías de tipos de soldadura

Categoría de Soldadura	Tipo de Soldadura	
Chaflán (groove)	Cuadrada o plano (square)	
	Inclinada (scarf)	
	En V	
	En bisel (bevel)	
	En U	
	En J	
	V ensanchada (Flare V)	
	Bisel ensanchado (Flare bevel)	
Filete (fillet)	Filete	

Cuadro N° 2.3 Tipos de soldadura de chaflán y filete

## 2.9 Tipos de penetración

Se tienen 2 tipos de penetración.

### 2.9.1 Junta de penetración completa (CJP)

Aquellas en las cuales el metal de soldadura se extiende a través de todo el espesor del material soldado. Ver figura 2.7.

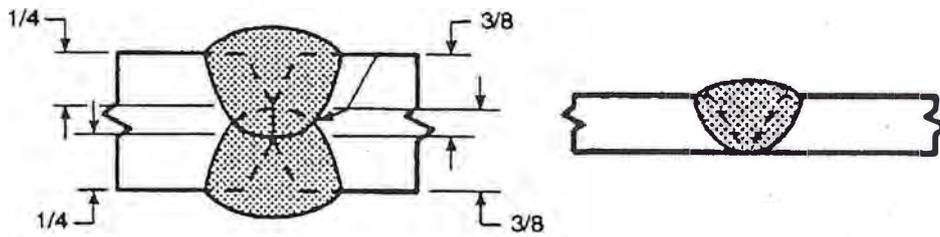


Figura N° 2.7 Junta de penetración completa

### 2.9.2 Junta de penetración parcial (PJP)

Aquellas en las cuales el metal de soldadura no llega a extenderse a través de todo el espesor del material soldado. Ver figura 2.8.

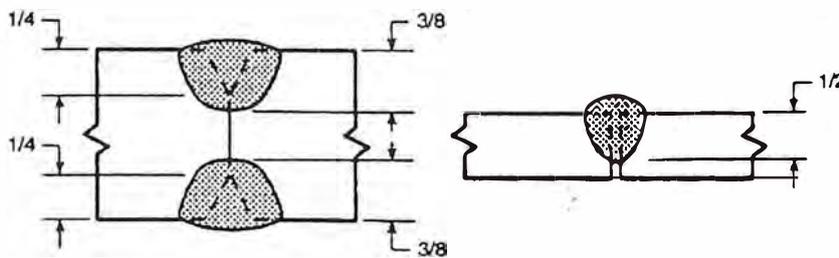


Figura N° 2.8 Junta de penetración parcial

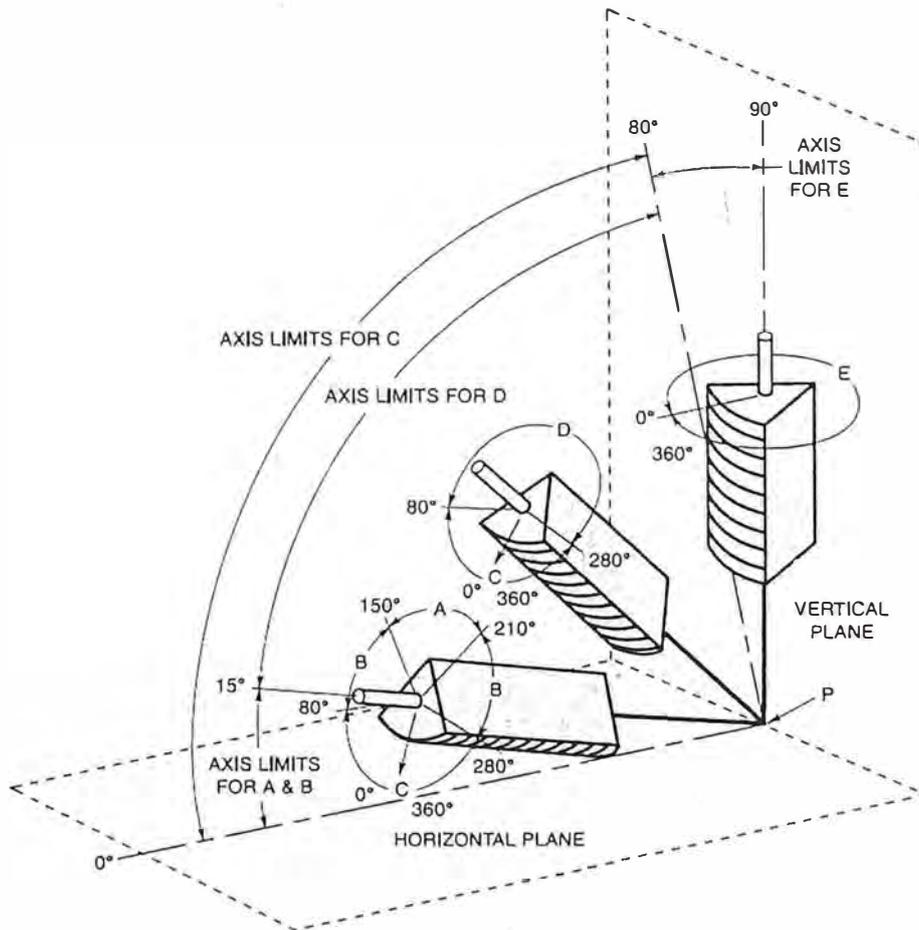
### 2.10 Posiciones de soldadura y calificación

#### 2.10.1 Posiciones de soldadura

Son las posiciones en que son depositados los cordones de soldadura en producción u obra. Sólo existen 4 posiciones de soldadura y lo que diferencia a una de otra posición son el ángulo de inclinación del cordón de soldadura con respecto al eje

horizontal y la rotación de la cara de la soldadura con respecto a su propio eje. El código mediante tablas y figuras clasifica una u otra posición. En la figura N° 2.9 podemos observar las posiciones para las soldaduras de chaflán y en la figura N° 2.10 podemos observar las posiciones para las soldaduras en filete.

Tabulation of Positions of Groove Welds			
Position	Diagram Reference	Inclination of Axis	Rotation of Face
Flat	A	0° to 15°	150° to 210°
Horizontal	B	0° to 15°	80° to 150° 210° to 280°
Overhead	C	0° to 80°	0° to 80° 280° to 360°
Vertical	D	15° to 80°	80° to 280°
	E	80° to 90°	0° to 360°

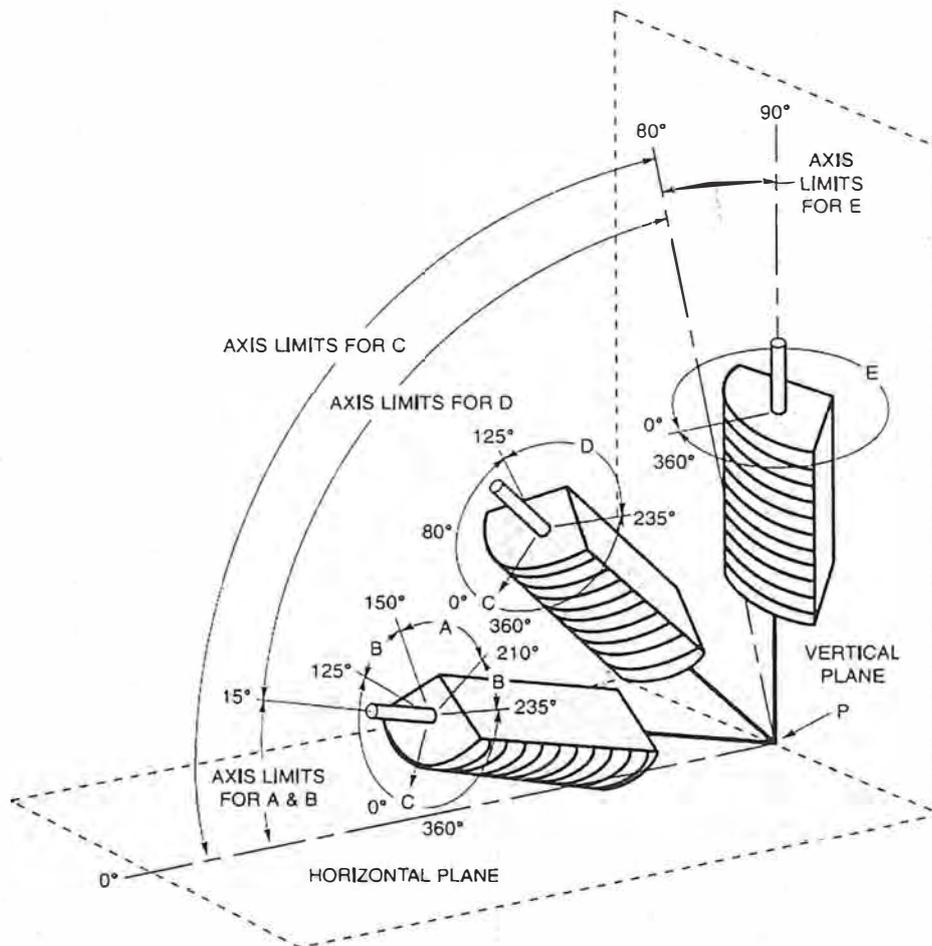


General Notes:

- The horizontal reference plane shall always be taken to lie below the weld under consideration.
- The inclination of axis shall be measured from the horizontal reference plane toward the vertical reference plane.
- The angle of rotation of the face shall be determined by a line perpendicular to the theoretical face of the weld which passes through the axis of the weld. The reference position (0°) of rotation of the face invariably points in the direction opposite to that in which the axis angle increases. When looking at point P, the angle of rotation of the face of the weld shall be measured in a clockwise direction from the reference position (0°).

Figura N° 2.9 Posiciones de soldadura – Chaflán

Tabulation of Positions of Fillet Welds			
Position	Diagram Reference	Inclination of Axis	Rotation of Face
Flat	A	0° to 15°	150° to 210°
Horizontal	B	0° to 15°	125° to 150° 210° to 235°
Overhead	C	0° to 80°	0° to 125° 235° to 360°
Vertical	D	15° to 80°	125° to 235°
	E	80° to 90°	0° to 360°



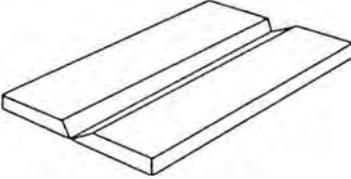
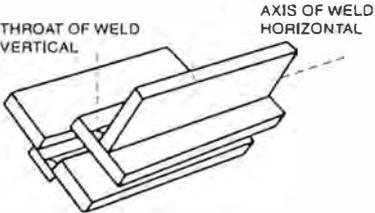
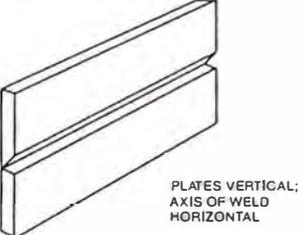
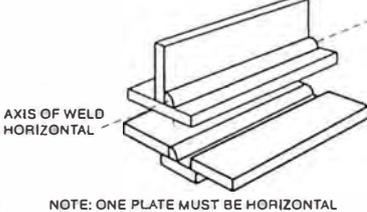
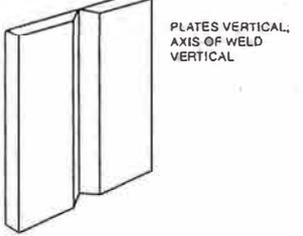
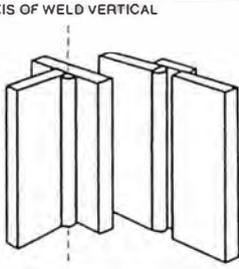
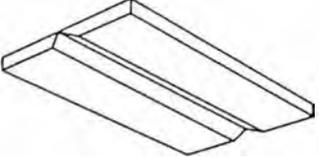
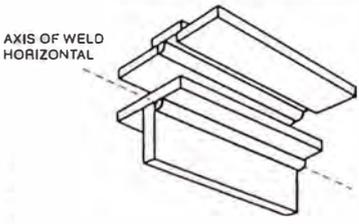
General Notes:

- The horizontal reference plane shall always be taken to lie below the weld under consideration.
- The inclination of axis shall be measured from the horizontal reference plane toward the vertical reference plane.
- The angle of rotation of the face shall be determined by a line perpendicular to the theoretical face of the weld which passes through the axis of the weld. The reference position (0°) of rotation of the face invariably points in the direction opposite to that in which the axis angle increases. When looking at point P, the angle of rotation of the face of the weld shall be measured in a clockwise direction from the reference position (0°).

Figura N° 2.10 Posiciones de soldadura – Filete

### 2.10.2 Posiciones de calificación

Son las posiciones de prueba en que se califican los procedimientos y operarios de soldadura. Podemos observarlas en el cuadro N° 2.4.

Chaflán	Filete
 <p>1G</p>	 <p>1F</p>
 <p>2G</p>	 <p>2F</p>
 <p>3G</p>	 <p>3F</p>
 <p>4G</p>	 <p>4F</p>

Cuadro 2.4 Posiciones de prueba para la calificación

### 2.11 Variables esenciales

Las variables esenciales son aquellas que al ser modificadas afectan las propiedades mecánicas de la unión soldada. El código hace referencia a las variables esenciales para uno de sus métodos de calificación.

### 2.12 Calor aportado (Heat Input)

Es la energía (en forma de calor) que suministra el arco eléctrico de soldadura al material soldado. El código proporciona la formula N° 2.1 para determinar el calor aportado.

$$\text{Calor Aportado (kJ/mm)} = \frac{\text{Amperaje x Voltaje x 0.06}}{\text{Velocidad de avance (mm/min)}}$$

Formula N° 2.1 Cálculo del calor aportado

### 2.13 Ensayo Charpy V-notch (CVN)

El ensayo Charpy es usado para determinar la tenacidad de un material. El ensayo consiste en golpear una probeta de 55mm de longitud y sección cuadrada de 10mm con una pequeña muesca en el centro (figura N° 2.11) con un pesado péndulo causando su fractura (figura N° 2.12). La energía absorbida en la fractura de la probeta es calculada a partir de la masa del péndulo, su longitud, la altura inicial del martillo del péndulo y la altura final a la cual llega luego de fracturar la probeta. El ensayo es

realizado a varias temperaturas y los resultados nos proporcionan información acerca del comportamiento del material con respecto a la tenacidad, así como la temperatura a la cual el material cambia de dúctil a frágil.

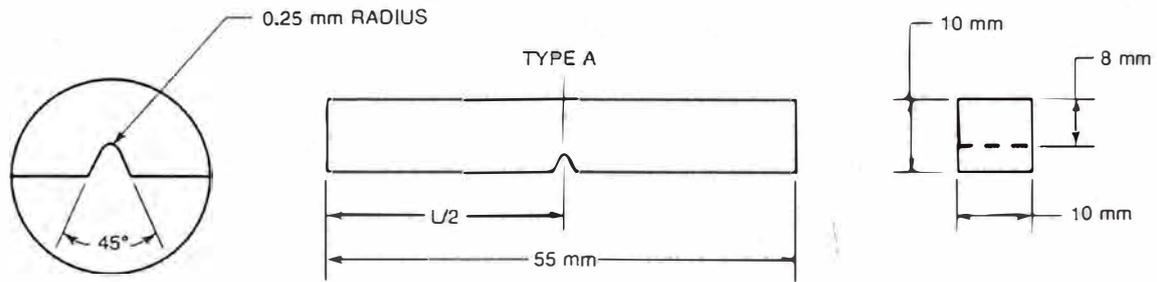


Figura N° 2.11 Probeta para ensayo Charpy V-notch

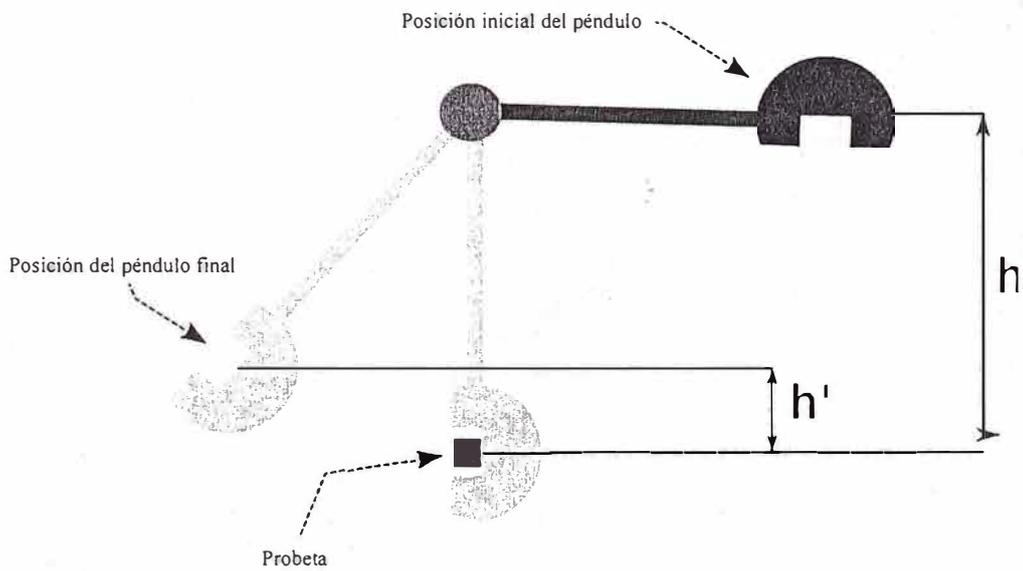


Figura N° 2.12 Esquema del ensayo Charpy V-notch

### CAPITULO 3

## METODOLOGIA PARA CALIFICAR PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

Dentro de este código, dependiendo del diseño de la unión de soldadura, el tipo de proceso de soldadura y la combinación de material base/material de aporte a utilizar en producción, podemos encontrar una o más alternativas para obtener un procedimiento de soldadura calificado (WPS) o un procedimiento de soldadura precalificado (preWPS). Para cada alternativa se propondrá una metodología.

Para la calificación de un procedimiento de soldadura se debe tener en consideración la Cláusula “4. Technique” del código en la cual se muestran los requerimientos generales y requerimientos específicos según el proceso de soldadura a utilizar en producción.

Cabe resaltar que todas las alternativas de calificación deben ser verificadas por el “Ingeniero”, incluida la precalificación.

### 3.1 Alternativas para la calificación de un procedimiento de soldadura

En el cuadro N° 3.1 se puede observar las alternativas que nos proporciona el código, según el diseño de la unión de soldadura, el tipo de proceso de soldadura y la combinación de material base/material de aporte a utilizar en producción, para la calificación de un procedimiento de soldadura.

Diseño de la Unión	Proceso de Soldadura	Material Base/ Material Aporte (Tabla del código)	Alternativa de Calificación
Unión a chaflán (Groove) Conforme las figuras 2.4 o 2.5 del código	SMAW	Tabla del código 4.1	Precalificado (subcláusula 5.11 del código)
		Tabla del código 4.2	Método General (subcláusula 5.13 del código)
	FCAW-G, SAW, GMAW <sup>a</sup>	Tabla del código 4.1	Método Máximo Calor de Aporte (subcláusula 5.12 del código) Método General (subcláusula 5.13 del código)
		Tabla del código 4.2	Método General (subcláusula 5.13 del código)
Unión a chaflán (Groove) diferente a las figuras 2.4 o 2.5 del código	FCAW-S, GMAW  SMAW, SAW, FCAW (-G y -S), GMAW	Tabla del código 4.2  Tabla del código 4.1 o 4.2	Método General (subcláusula 5.13 del código)  Método General (subcláusula 5.13 del código)
Uniones a Filete (Fillet)	SMAW, SAW, FCAW (-G y -S), GMAW	Tabla del código 4.1 o 4.2	subcláusula 5.10 del código

(a) Sólo para Metal Cored

Cuadro N° 3.1 Alternativas de calificación

En el cuadro anterior se hace referencia a: i) las figuras 2.4 y 2.5 del código para saber cuales son los diseños de las uniones de soldadura contemplados en el código y ii) las tablas 4.1 y 4.2 del código para saber cuales son las combinaciones de material base/material de aporte, de los cuales va depender la selección de la opción para

calificar o precalificar un procedimiento (subcláusulas 5.10, 5.11, 5.12 y 5.13 del código).

Cabe resaltar que para las uniones a filete se toma como base la calificación para uniones a chaflán (para determinar las propiedades mecánicas) y adicionalmente se realizan pruebas de sanidad conforme lo indica la subcláusula 5.10 del código.

También el código nos indica que para realizar uniones a penetración parcial (PJP) en producción se utilizarán las calificaciones realizadas a penetración completa (CJP) con la salvedad que el ingeniero puede solicitar pruebas adicionales de sanidad (macrografías).

### **3.2 Procedimiento Precalificado**

Los procedimientos precalificados son procedimientos que pueden ser utilizados para la fabricación de puentes sin necesidad de realizar los ensayos que se requieren para calificar un procedimiento de soldadura.

Para que un procedimiento sea considerado como precalificado es necesario que cumpla con ciertos requisitos según el código aplicable. Para nuestro caso los requisitos se pueden observar en el cuadro N° 3.2.

ítem	Requisito
Proceso de Soldadura	SMAW
Tipo de Soldadura	Chaflán (Groove)
Combinación Materiales Base/ Materiales de Aporte	Ver Tabla 4.1 del Código
Diseño de unión	Ver Figuras 2.4 y 2.5 del Código

Cuadro N° 3.2 Requisitos para aplicar un procedimiento precalificado

Los procedimientos precalificados deben ser verificados por el “Ingeniero” para garantizar que los parámetros considerados cumplen con los requerimientos del trabajo a realizar.

La metodología para la elaboración de un procedimiento precalificado debería ser según el siguiente diagrama de flujo:

### 3.2.1 Diagrama de flujo

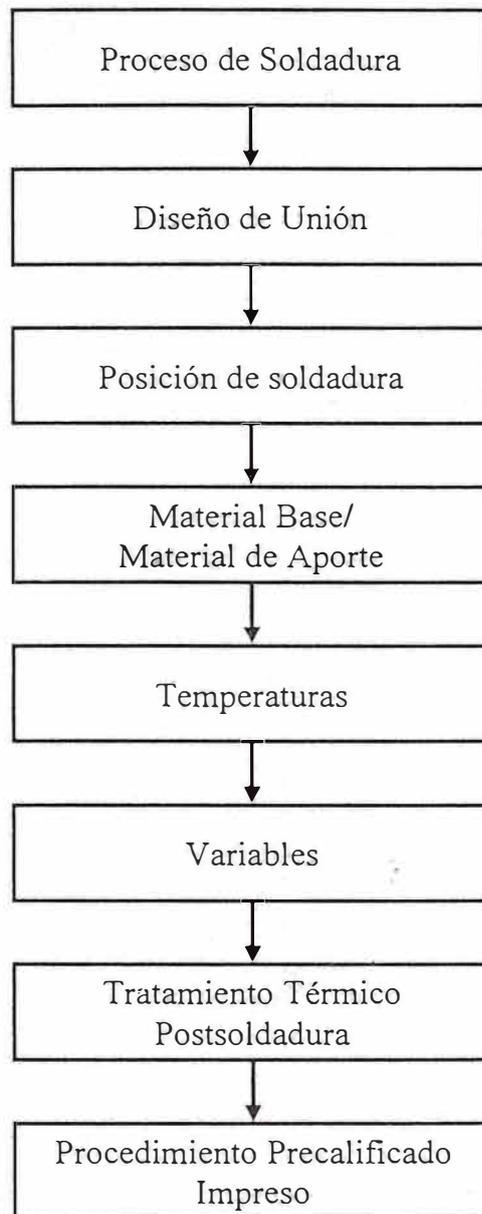


Figura N° 3.1 Diagrama de flujo preWPS

### **3.2.2 Proceso de soldadura**

El único proceso de soldadura con el cual se puede utilizar procedimientos precalificados es el proceso SMAW.

### **3.2.3 Diseño de la unión**

Los diferentes diseños de unión que se pueden utilizar en producción se indican en las figuras 2.4 y 2.5 del código, de acuerdo al tipo de penetración.

### **3.2.4 Posición de soldadura**

Se tiene que establecer la posición de soldadura (plana, horizontal, vertical o sobrecabeza) que se va a utilizar en producción, la cual debe figurar en el procedimiento impreso.

### **3.2.5 Material base/Material de aporte**

Las combinaciones de los materiales base y materiales de aporte para el proceso SMAW se indican en la tabla 4.1 del código.

### **3.2.6 Temperaturas**

El código nos indica en la subcláusula “4.2 Preheat and Interpass Temperature Requirements” y en la tabla 4.4 los requerimientos de temperatura que hay que tener en consideración para seleccionar la temperatura mínima para calentar el material antes de soldarlo (temperatura de precalentamiento) y cuanto debe ser la temperatura entre los pases (temperatura de interpase) para que no ocurra ningún defecto de soldadura.

### **3.2.7 Variables**

La selección de las variables tales como: la intensidad de corriente (Amperaje), tensión (Voltaje), velocidad de avance y polaridad deben ser revisados para no crear procedimientos precalificados con variables irreales.

### **3.2.8 Tratamiento térmico postsoldadura**

En el procedimiento precalificado debe especificarse si es que es requerido algún tratamiento térmico postsoldadura.

### **3.2.9 Procedimiento precalificado impreso**

Al terminar de seleccionar todas variables del procedimiento precalificado estas deben ser registradas con el fin de mantenerlo a disposición de todo el personal

involucrado en la obra. En el “ANNEX L” del código se puede encontrar un formato de procedimiento de soldadura que podemos coger como guía.

### 3.3 Método del Máximo Calor Aportado

Este método es aplicable cuando se cumplen con los requisitos que se observan en el cuadro N° 3.3.

ítem	Requisito
Proceso de Soldadura	SAW FCAW-G GMAW (Sólo metal cored)
Tipo de Soldadura	Chaflán (Groove)
Combinación Materiales Base/ Materiales de Aporte	Ver Tabla 4.1 del Código
Diseño de unión	Ver Figuras 2.4 y 2.5 del Código

Cuadro N° 3.3 Requisitos para aplicar el método del Máximo Calor Aportado

Con este método el constructor tiene dos opciones para la calificación de un procedimiento de soldadura: a) Calificar el procedimiento desde “cero” y b) Verificar un procedimiento elaborado por otro constructor o fabricante si es que este procedimiento no tiene una antigüedad mayor a cinco años.

Las diferencias entre uno y otro son las dimensiones de la probeta de prueba y el número de ensayos mecánicos a realizar, por ende los costos disminuyen con la opción de la verificación.

La metodología propuesta para realizar la calificación o verificación de un procedimiento de soldadura se va a indicar con un diagrama de flujo y seguidamente se dará los alcances de cada uno de los pasos.

### 3.3.1 Calificación de procedimiento de soldadura

#### 3.3.1.1 Diagrama de flujo

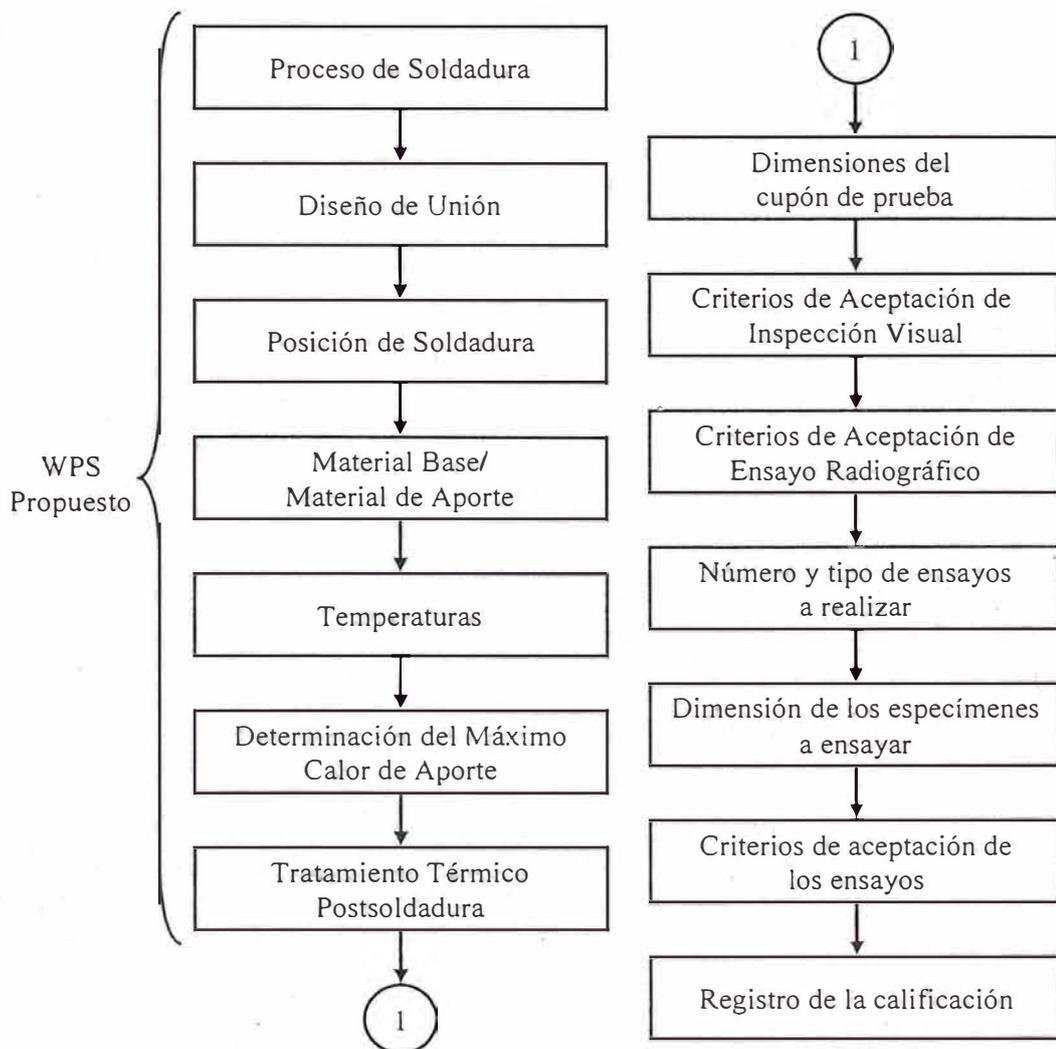


Figura N° 3.2 Diagrama de flujo para la calificación de procedimiento con el método del Máximo Calor Aportado

### **3.3.1.2 Proceso de soldadura**

Se debe seleccionar el proceso de soldadura a utilizar entre: SAW, FCAW-G o GMAW (sólo cuando se usan como aporte los alambres metal cored).

### **3.3.1.3 Diseño de la unión**

Los diferentes diseños de unión que se pueden utilizar en producción una vez que se complete la calificación se indican en las figuras 2.4 y 2.5 del código, de acuerdo al tipo de penetración. Cabe resaltar que este diseño de unión sólo sirve en producción (para el WPS), ya que para la calificación hay un solo diseño de unión que se debe utilizar, el cual se indica en las dimensiones del cupón de prueba.

### **3.3.1.4 Posición de soldadura**

Para cada posición a soldar en producción se debe realizar una calificación, con la salvedad de que la posición plana también califica la posición horizontal, tal y como consta en la subcláusula “5.8 Position of Test Welds” del código.

### **3.3.1.5 Material base/Material de aporte**

Las combinaciones de los materiales base y materiales de aporte según los procesos de soldadura se indican en la tabla 4.1 del código.

### 3.3.1.6 Temperaturas

El código nos indica que para este método la temperatura de precalentamiento y la temperatura interpase deben ser mínimo 100°C y las máximas temperaturas de precalentamiento e interpase deben estar especificadas en el procedimiento de soldadura.

### 3.3.1.7 Determinación del máximo calor de aporte

Para realizar la prueba de soldadura se debe determinar el máximo calor de aporte, para ello utilizaremos la fórmula N° 2.1 dada en el capítulo 2 del presente informe. Los parámetros de soldadura deben ser como se figuran en el cuadro N° 3.4, tal como lo indica la subcláusula “5.12.1 Maximum Heat Input” del código.

Parámetro	Requisito
Número de Electrodo	El número de electrodos debe ser como se indica en el Procedimientos de soldadura (WPS).
Parámetros Eléctricos	El tipo de corriente, la polaridad y el stick out deben ser como indica el procedimiento de soldadura (WPS). Un cambio en el Stickout de 20mm o más en SAW o 6mm en FCAW-G o GMAW (metal cored) implican una recalificación.
Máxima Corriente	Debe ser la máxima especificada en el procedimiento de soldadura (WPS).
Máximo Voltaje	Debe ser el máximo especificado en el procedimiento de soldadura (WPS).
Mínimo Flujo de Gas	Debe ser el mínimo especificado en el procedimiento de soldadura (WPS).
Mínima Temperatura de Precalentamiento e Interpase	La temperatura mínima debe ser de 100°C.
Máxima Temperatura de Interpase	Debe ser la máxima especificada en el procedimiento de soldadura (WPS).

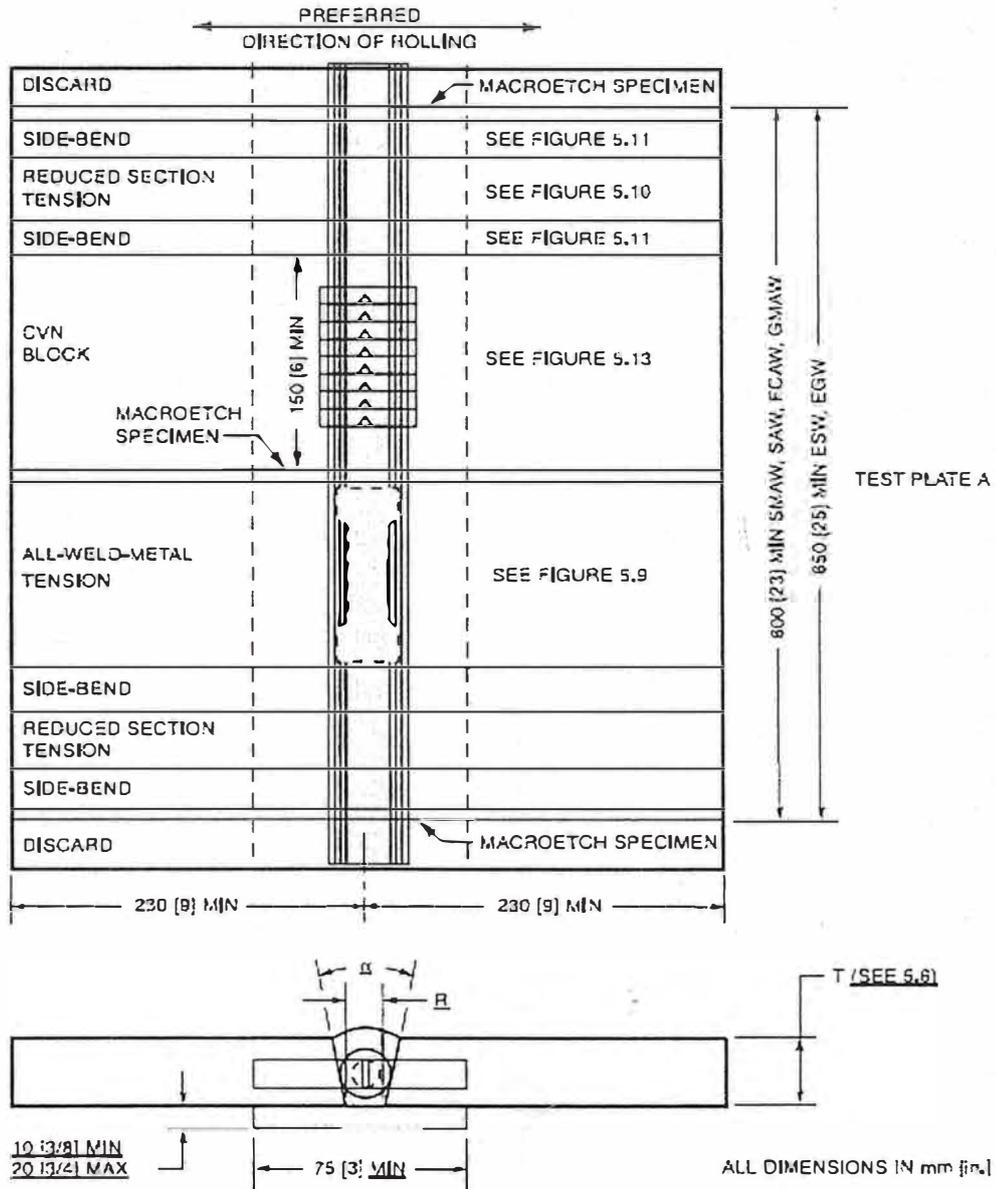
Cuadro N° 3.4 Parámetros de soldadura para la calificación de procedimiento con el método del Máximo Calor Aportado

### **3.3.1.8 Tratamiento térmico postsoldadura**

En el procedimiento debe especificarse si es que es requerido algún tratamiento térmico postsoldadura.

### **3.3.1.9 Dimensiones del cupón de prueba**

Las dimensiones del cupón de prueba pueden observarse en la figura N° 3.3 o la figura 5.1 del código.



General Notes:

- Welding and machining shall be witnessed by a state representative or an independent third party acceptable to the state.
- Test specimens and the PQR showing all welding parameters used for the test shall be available to the Engineer. Test specimens need only be retained for examination by the original approving authority.
- The joint detail to be used shall be either a B-U2a, B-U2-S, B-U2a-GF, B-U4a, or B-U4a-GF detail, depending on the welding process used and the position of the welding, except that the B-U2a-GF and B-U4a-GF with the 5 mm (3/16 in.) root opening and 30° included angle shall not be used.
- [Double astenak note from D1.5-96 is deleted.]

Figure 5.1—WPS Qualification or Pretest—Test Plate A (see 5.7.1)

Figura N° 3.3 Dimensiones del cupón de prueba para la calificación de procedimiento de soldadura

El espesor del cupón de prueba, tal y como consta en la subcláusula “5.6 Test Plate Thickness” del código, será mayor o igual a 25mm.

El diseño de la unión del cupón de prueba será según el proceso de soldadura y la posición de soldadura. En las notas de la figura 5.1 del código se hace referencia al diseño de la unión y a una limitante. Podemos observar el diseño en las figuras N° 3.4 y N° 3.5.

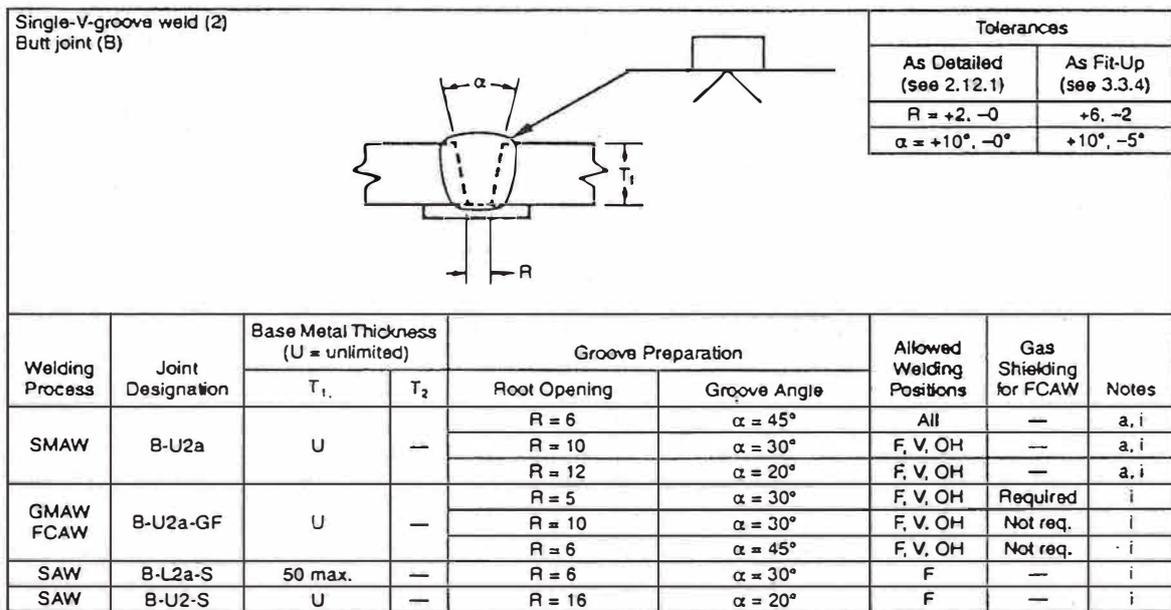


Figure 2.4 (Continued)—Details of Welded Joints for CJP Groove Welds (see 2.12.1) (Dimensions in Millimeters)

Figura N° 3.4 Diseño de unión del cupón de prueba para la calificación y verificación de un procedimiento de soldadura

Welding Process		Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited)		Groove Preparation		Allowed Welding Positions	Gas Shielding for FCAW	Notes
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	Root Opening	Groove Angle			
SMAW	B-U4a	U	—	R = 6	$\alpha = 45^\circ$	F, H	—	1, 9, 13	
				R = 10	$\alpha = 30^\circ$	F, H	—	1, 9, 13	
GMAW FCAW	B-U4a-GF	U	—	R = 5	$\alpha = 30^\circ$	H	Required	9	
				R = 6	$\alpha = 45^\circ$	H	Not req.	9	
				R = 10	$\alpha = 30^\circ$	H	Not req.	9	

Figura N° 3.5 Diseño de unión del cupón de prueba para la calificación y verificación de un procedimiento de soldadura – posición horizontal

**3.3.1.10 Criterios de aceptación de inspección visual**

Una vez soldado el cupón se debe realizar una inspección visual mediante la cual se compararán las medidas del cupón soldado con lo permitido en el código. Si la comparación está dentro de lo permitido se procederá a seguir con el siguiente paso. Los criterios de aceptación para la inspección visual se indican en la subcláusula “6.26.1 Visual Inspection” del código, a excepción de la socavación la cual no debe exceder 1 mm. Se muestran los criterios de aceptación en el cuadro N° 3.5.

Criterios de Aceptación Visual
No deben existir fisuras.
Debe existir fusión completa entre capa y capa de soldadura y entre el metal soldado y el metal base
Todos los cráteres deben ser llenados.
Sobremonta máxima 3mm
Los perfiles de la soldadura deben ser como indica la subcláusula 3.6 del código
Socavación máxima 1mm
La frecuencia de la porosidad Vermicular no debe exceder a 1 en 100mm ó 6 en 1200mm de soldadura y el diámetro máximo de ésta no debe exceder 2.40mm
La inspección visual debe realizarse inmediatamente después de soldar los cupones. A excepción del grado 690 en la cual se inspeccionará visualmente 48 horas después de terminada la soldadura.

Cuadro N° 3.5 Criterios de aceptación de inspección visual para la calificación de procedimiento de soldadura

### **3.3.1.11 Criterios de aceptación de ensayo radiográfico**

Seguida a la inspección visual y antes de preparar los especímenes para los ensayos mecánicos se debe realizar un ensayo de radiografía al cupón soldado, tal y como consta en la subcláusula “5.17 Nondestructive Testing (NDT)” del código. Este ensayo debe realizarse conforme a la Clausula “6. Inspection” del código. Los criterios de aceptación del ensayo se indican en las subcláusulas “6.26.1 Visual Inspection” y “6.26.2 RT and MT Inspection” del código.

### 3.3.1.12 Número y tipo de ensayos a realizar

Una vez que el resultado del ensayo radiográfico es conforme se procede a preparar los especímenes para los ensayos. El número y tipos de ensayos que se requieren para la calificación del procedimiento se pueden observar en la figura N° 3.6 o en la tabla 5.5 del código, siendo para nuestro caso los ensayos que corresponden a la Test Plate Figure 5.1 de la figura.

Test Plate Figure	All Weld Metal Tension Test	Reduced Section Tension Test	Side Bend Test	CVN Test	Groove Weld Macroetch Test	Fillet Weld Macroetch Test
5.1	1	2	4	5 <sup>1</sup>	(Note 2)	—
5.2	1	—	2	5	—	—
5.3	—	2	4	—	2	—
5.8	—	—	—	—	—	3

Notes:

1. Eight CVN tests shall be required for ESW and EGW.
2. When required by the Engineer.

Figura N° 3.6 Número de especímenes a ensayar para la calificación de procedimiento de soldadura según el tipo de ensayo

### **3.3.1.13 Dimensión de los especímenes a ensayar**

Conociendo los tipos de ensayos que se debe realizar al cupón de prueba, se debe obtener los especímenes a ensayar de acuerdo a los requerimientos del código. Estas se pueden observar en las figuras 5.9, 5.10, 5.11 y 5.13 del código o en el anexo 4 del presente informe.

### **3.3.1.14 Criterios de aceptación de los ensayos**

Una vez realizados los ensayos, los resultados deben compararse con los criterios de aceptación del código para cada uno de los ensayos. Estos criterios de aceptación se indican en la subcláusula “5.19 Test Results Required” del código.

### **3.3.1.15 Registro de la calificación**

Finalmente los resultados de los ensayos y las variables utilizadas en la calificación del procedimiento de soldadura se registran en un documento llamado “registro de calificación de la especificación del procedimiento de soldadura (PQR)”. Con este PQR se puede generar las especificaciones de procedimientos de soldadura (WPS) que se requieran en el trabajo a realizar, teniendo en cuenta las limitaciones que nos indica el código en las subcláusulas “5.12.3.1 Maximum Heat Input Envelope” y “5.12.3.2 Maximum Heat Input PQR Current, Voltage, and Travel Speed”. Como guía puede ver el “ANNEX L” en el código.

### 3.3.2 Verificación de un procedimiento de soldadura

#### 3.3.2.1 Diagrama de flujo

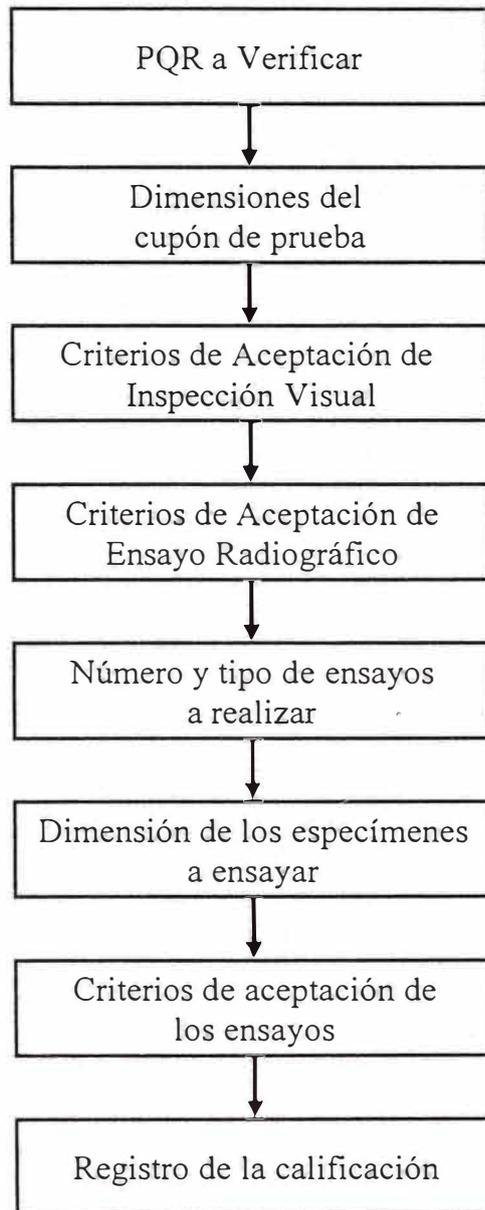


Figura N° 3.7 Diagrama de flujo para la verificación de procedimiento de soldadura

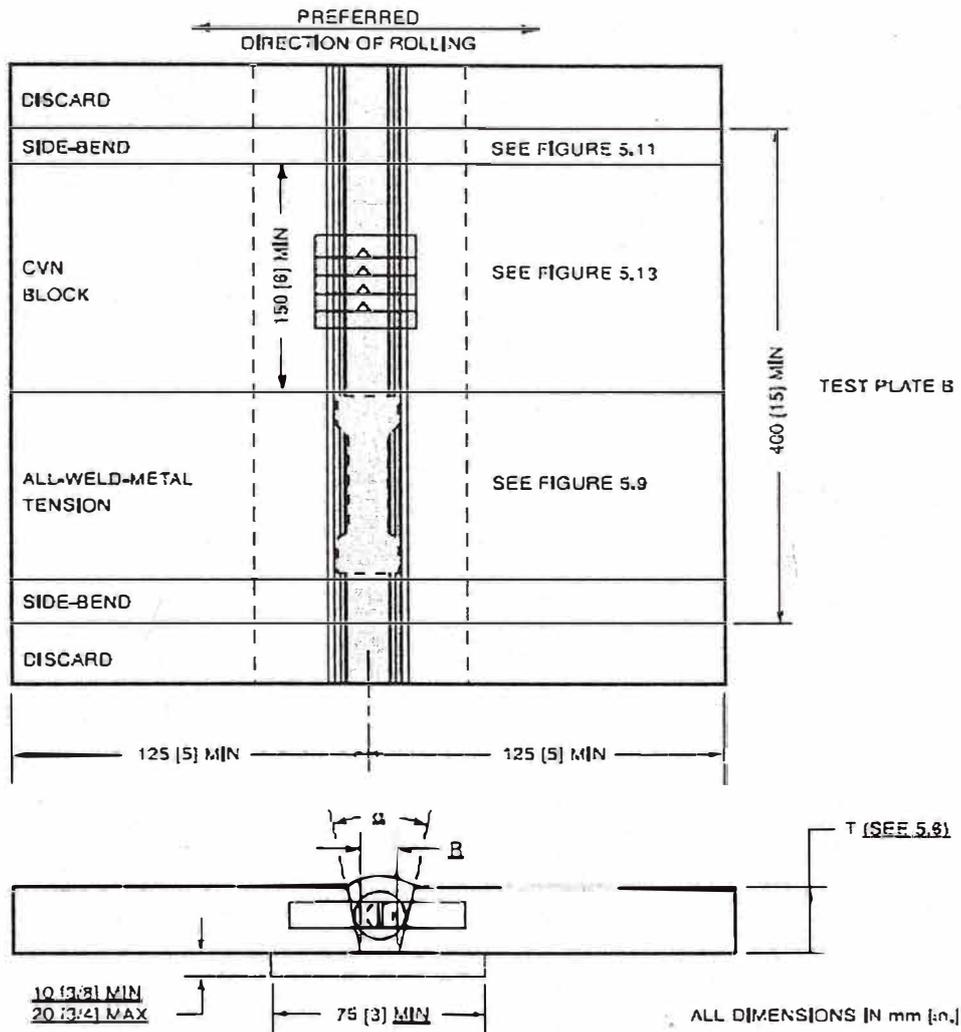
### **3.3.2.2 PQR a verificar**

Como se mencionó anteriormente en esta opción de debe verificar los resultados obtenidos mediante la calificación de un procedimiento por otro constructor o fabricante. Por lo tanto, se debe tener el PQR de esta calificación previa.

El proceso de soldadura, la posición, el material base, el material de aporte y todos los parámetros de soldadura deben ser los mismos que los que figuran en ese PQR.

### **3.3.2.3 Dimensiones del cupón de prueba**

Las dimensiones del cupón de prueba pueden observarse en la figura N° 3.8 o la figura 5.2 del código.



General Notes:

- Test specimens need only be retained for examination by the original approving authority. Welding and machining shall be witnessed by a state representative or an independent third party acceptable to the state.
- Test specimens and the PQR showing all welding parameters used for the test shall be available to the Engineer. Test specimens need only be retained for examination by the original approving authority.
- Testing shall be done on by approved testing laboratory. Such testing need not be witnessed by another agency.
- The joint detail to be used shall be either a B-U2a, B-U2-S, B-U2a-GF, B-U4a, or B-U4a-GF detail, depending on the welding process used and the position of the welding, except that the B-U2a-GF and B-U4a-GF with the 5 mm [3/16 in.] root opening and 30° included angle shall not be used.
- [Double asterisk note from D1.5-96 is deleted.]

Figure 5.2—WPS Verification—Test Plate B (see 5.7.3)

Figura N° 3.8 Dimensiones del cupón de prueba para la verificación de procedimiento de soldadura

El espesor del cupón de prueba, tal y como consta en la subcláusula “5.6 Test Plate Thickness” del código, será mayor o igual a 25mm.

El diseño de la unión será según el proceso de soldadura y la posición de soldadura. En las notas de la figura 5.2 del código se hace referencia al diseño de la unión y a una limitante. Podemos observar el diseño en las figuras N° 3.4 y N° 3.5.

#### **3.3.2.4 Criterios de aceptación de inspección visual**

Una vez soldado el cupón se debe realizar una inspección visual mediante la cual se compararán las medidas del cupón soldado con lo permitido en el código. Si la comparación está dentro de lo permitido se procederá a seguir con el siguiente paso. Los criterios de aceptación para la inspección visual se indican en la subcláusula “6.26.1 Visual Inspection” del código, a excepción de la socavación la cual no debe exceder 1 mm. Se muestran los criterios de aceptación en el cuadro N° 3.5.

#### **3.3.2.5 Criterios de aceptación de ensayo radiográfico**

Seguida a la inspección visual y antes de preparar los especímenes para los ensayos mecánicos se debe realizar un ensayo de radiografía al cupón soldado, tal y como consta en la subcláusula “5.17 Nondestructive Testing (NDT)” del código. Este ensayo debe realizarse conforme a la Clausula “6. Inspection” del código. Los criterios de aceptación del ensayo se indican en las subcláusulas “6.26.1 Visual Inspection” y “6.26.2 RT and MT Inspection” del código.

### **3.3.2.6 Número y tipo de ensayos a realizar**

Una vez que el resultado del ensayo radiográfico es conforme se procede a preparar los especímenes para los ensayos. El número y tipos de ensayos que se requieren para la calificación del procedimiento se pueden observar en la figura N° 3.6 o en la tabla 5.5 del código, siendo para nuestro caso los ensayos que corresponden a la Test Plate Figure 5.2 de la figura N° 3.6.

### **3.3.2.7 Dimensión de los especímenes a ensayar**

Conociendo los tipos de ensayos que se debe realizar al cupón de prueba, se debe obtener los especímenes a ensayar de acuerdo a los requerimientos del código. Estas se pueden observar en las figuras 5.9, 5.11 y 5.13 del código o en el anexo 4 del presente informe.

### **3.3.2.8 Criterios de aceptación de los ensayos**

Una vez realizados los ensayos, los resultados deben compararse con los criterios de aceptación del código para cada uno de los ensayos. Estos criterios de aceptación se indican en la subcláusula “5.19 Test Results Required” del código.

### **3.3.2.9 Registro de la calificación**

Finalmente los resultados de los ensayos y las variables utilizadas en la verificación junto al PQR verificado se registran para elaborar un nuevo PQR. Con este PQR se puede generar las especificaciones de procedimientos de soldadura (WPS) que se requieran en el trabajo a realizar, teniendo en cuenta las limitaciones que nos indica el código en las subcláusulas 5.12.3.1 Maximum Heat Input Envelope y “5.12.3.2 Maximum Heat Input PQR Current, Voltage, and Travel Speed”. Como guía puede ver el “ANNEX L” en el código.

### **3.4 Método de Calificación General**

Este método de calificación es aplicable a todos los procesos de soldadura descritos en el código y a diseños de junta descritos o no descritos en el código.

Este método es el más general y sólo existe la opción de calificar desde “ceró” el procedimiento de soldadura, sin lugar a verificar un PQR elaborado por otro constructor o fabricante.

La metodología propuesta para realizar la calificación de un procedimiento de soldadura se va a indicar con un diagrama de flujo y seguidamente se dará los alcances de cada uno de los pasos.

### 3.4.1 Diagrama de flujo

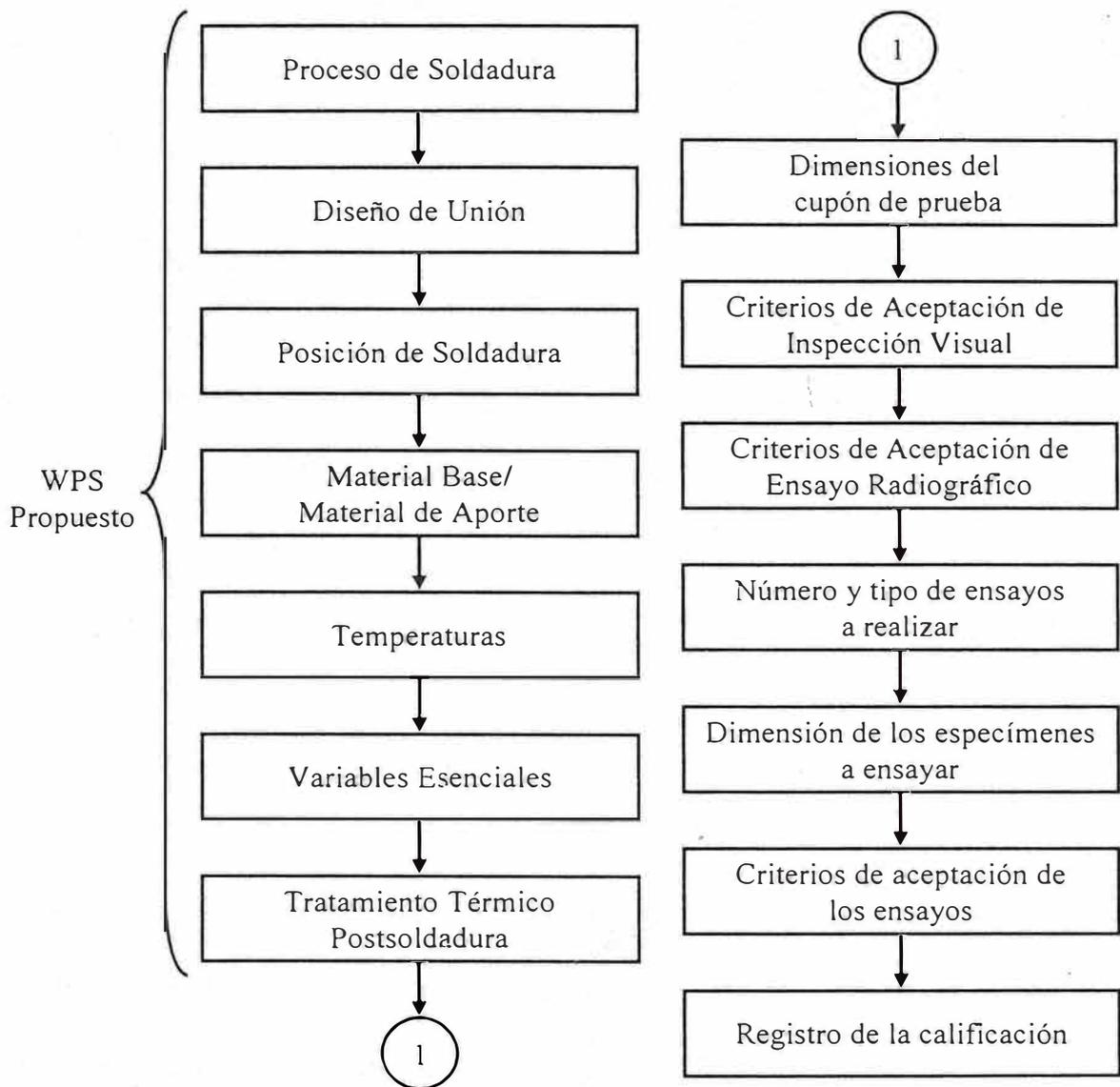


Figura N° 3.9 Diagrama de flujo para la calificación de procedimiento con el Método

General

### **3.4.2 Proceso de soldadura**

Se debe seleccionar el proceso de soldadura a utilizar entre: SMAW, SAW, FCAW o GMAW.

### **3.4.3 Diseño de unión**

En este método se pueden utilizar en producción los diseños de unión que indican las figuras 2.4 y 2.5 del código, así como otros diseños de unión. En el caso que se utilicen en producción un diseño de unión que no figura en el código se debe realizar un cupón adicional para verificar la sanidad de ese diseño de unión.

### **3.4.4 Posición de soldadura**

Para cada posición a soldar en el trabajo se debe realizar una calificación, con la salvedad de que la posición plana también puede calificar la posición horizontal, tal y como consta en la subcláusula “5.8 Position of Test Welds” del código.

### **3.4.5 Material base/Material de aporte**

Las combinaciones de los materiales base y materiales de aporte según los procesos de soldadura se indican en las tabla 4.1 y 4.2 del código.

### **3.4.6 Temperaturas**

El código nos indica en la subcláusula “4.2 Preheat and Interpass Temperature Requirements” y en la tabla 4.4 los requerimientos de temperatura que hay que tener en consideración para seleccionar la temperatura mínima para calentar el material antes de soldarlo (temperatura de precalentamiento) y cuanto debe ser la temperatura entre los pases (temperatura de interpase) para que no ocurra ningún defecto de soldadura.

### **3.4.7 Variables esenciales**

Las variables esenciales para la calificación se seleccionarán utilizando los subtítulos generales indicados en el código (ver tabla 5.3 del código):

#### **3.4.7.1 Material de aporte**

En este ítem está referido específicamente al proceso Sumerged Arc Welding (SAW) y se encuentra variables como: Adición de material de aporte suplementario, cantidad de material de aporte suplementario, aleación del material de aporte suplementario y ratio del material de aporte.

#### **3.4.7.2 Electrodos**

En este ítem se encuentra variables como: diámetro del electrodo, número de electrodos, amperaje, tipo de corriente, modo de transferencia, voltaje, velocidad de avance y calor de aporte.

#### **3.4.7.3 Gas de protección**

En este ítem se encuentra el flujo de gas.

#### **3.4.7.4 Múltiples electrodos usando SAW**

En este ítem se encuentra variables como: separación longitudinal y lateral entre arcos, orientación angular para electrodos paralelos, inclinación del electrodo y inclinación normal del electrodo a la dirección de avance.

#### **3.4.7.5 Generales**

En este ítem se encuentra variables como: número de pases, tipo de chaflán de la unión, dimensiones de la unión, material de respaldo, tratamiento térmico postsoldadura y espesor del material para el material ASTM A709 Gr 100.

### **3.4.8 Tratamiento térmico postsoldadura**

En el procedimiento debe especificarse si es que es requerido algún tratamiento térmico postsoldadura.

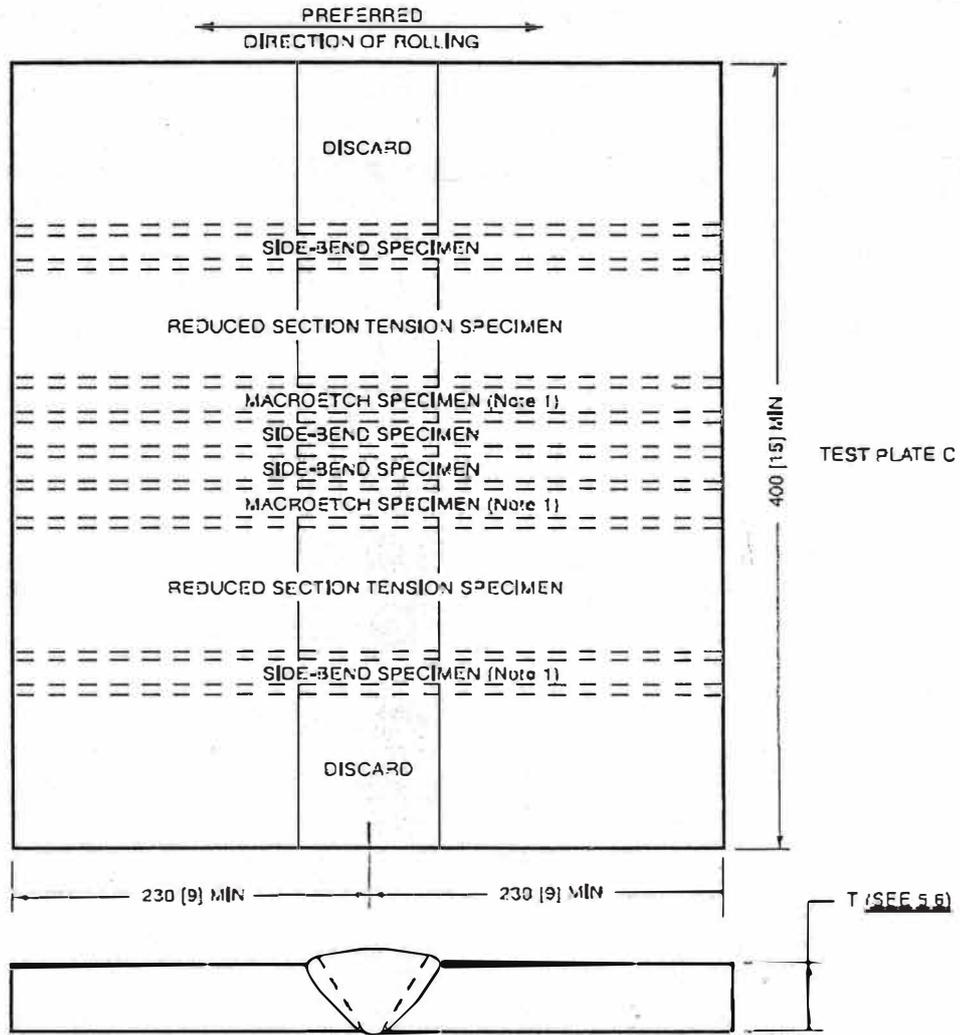
### **3.4.9 Dimensiones del cupón de prueba**

Las dimensiones del cupón de prueba pueden observarse en la figura N° 3.3 o la figura 5.1 del código.

El espesor del cupón de prueba, tal y como consta en la subcláusula “5.6 Test Plate Thickness”, será mayor o igual a 25mm.

El diseño de la unión será según el proceso de soldadura y la posición de soldadura. En las notas de la figura 5.1 del código se hace referencia al diseño de la unión y a una limitante. Podemos observar el diseño en las figuras N° 3.4 y N° 3.5.

En caso que en el trabajo de producción se utilicen diseños de juntas diferentes a los indicados en las figuras 2.4 y 2.5 del código se deberá realizar un cupón adicional al ya mencionado, con la finalidad de evaluar la sanidad de la unión, tal y como lo indica la subcláusula “5.7.7 Joints Not Conforming to Figures 2.4 or 2.5” del código. Las dimensiones del cupón de prueba adicional pueden observarse en la figura N° 3.10 o la figura 5.3 del código, el espesor será de 25mm o más y el diseño de la unión deberá ser la misma que la que será usada en el trabajo de producción.



THE GROOVE CONFIGURATION SHOWN IS FOR ILLUSTRATION ONLY.  
THE GROOVE SHAPE USED SHALL CONFORM TO THAT BEING QUALIFIED.

ALL DIMENSIONS  
IN mm [in.]

**General Notes:**

- Welding and machining shall be witnessed by a state representative or an independent third party acceptable to the state.
- Test specimens and the PQR showing all welding parameters used for the test shall be available to the Engineer. Test specimens need only be retained for examination by the original approving authority.
- Testing shall be done by an approved testing laboratory. Such testing need not be witnessed by another agency.

**Note:**

1. Macroetch specimens 10 mm [3/8 in.] thick and "T" wide shall be polished and etched for macroscopic examination by the Engineer.

**Figure 5.3—Weld Soundness Test Plate for Details Not Conforming to  
Figure 2.4 or Figure 2.5—Test Plate C (see 5.7.7)**

Figura N° 3.10 Dimensiones del cupón de prueba adicional para diseños de unión  
diferentes a las figuras 2.4 y 2.5 del código

#### **3.4.10 Criterios de aceptación de inspección visual**

Una vez soldado el cupón se debe realizar una inspección visual mediante la cual se compararán las medidas del cupón soldado con lo permitido en el código. Si la comparación está dentro de lo permitido se procederá a seguir con el siguiente paso. Los criterios de aceptación para la inspección visual se indican en la subcláusula “6.26.1 Visual Inspection” del código, a excepción de la socavación la cual no debe exceder 1 mm. Se muestran los criterios de aceptación en el cuadro N° 3.5.

#### **3.4.11 Criterios de aceptación de ensayo radiográfico**

Seguida a la inspección visual y antes de preparar los especímenes para los ensayos mecánicos se debe realizar un ensayo de radiografía al cupón soldado, tal y como consta en la subcláusula “5.17 Nondestructive Testing (NDT)” del código. Este ensayo debe realizarse conforme a la Clausula “6. Inspection” del código. Los criterios de aceptación del ensayo se indican en las subcláusulas “6.26.1 Visual Inspection” y “6.26.2 RT and MT Inspection” del código.

#### **3.4.12 Número y tipo de ensayos a realizar**

Una vez que el resultado del ensayo radiográfico es conforme se procede a preparar los especímenes para los ensayos. El número y tipos de ensayos que se requieren para la calificación del procedimiento se pueden observar en la figura N° 3.6 o en la tabla 5.5 del código, siendo para nuestro caso los ensayos que corresponden a la Test

Plate Figure 5.1 de la figura N° 3.6 y 5.3 para los ensayos adicionales en el caso que no se utilicen los diseños de junta que se muestran en las figuras 2.4 y 2.5 del código.

#### **3.4.13 Dimensión de los especímenes a ensayar**

Conociendo los tipos de ensayos que se debe realizar al cupón de prueba, se debe obtener los especímenes a ensayar de acuerdo a los requerimientos del código. Estas se pueden observar en las figuras 5.9, 5.10, 5.11 y 5.13 del código o en el anexo 4 del presente informe.

#### **3.4.14 Criterios de aceptación de los ensayos**

Una vez realizadas los ensayos, los resultados deben compararse con los criterios de aceptación del código para cada uno de los ensayos. Estos criterios de aceptación se indican en la subcláusula “5.19 Test Results Required” del código.

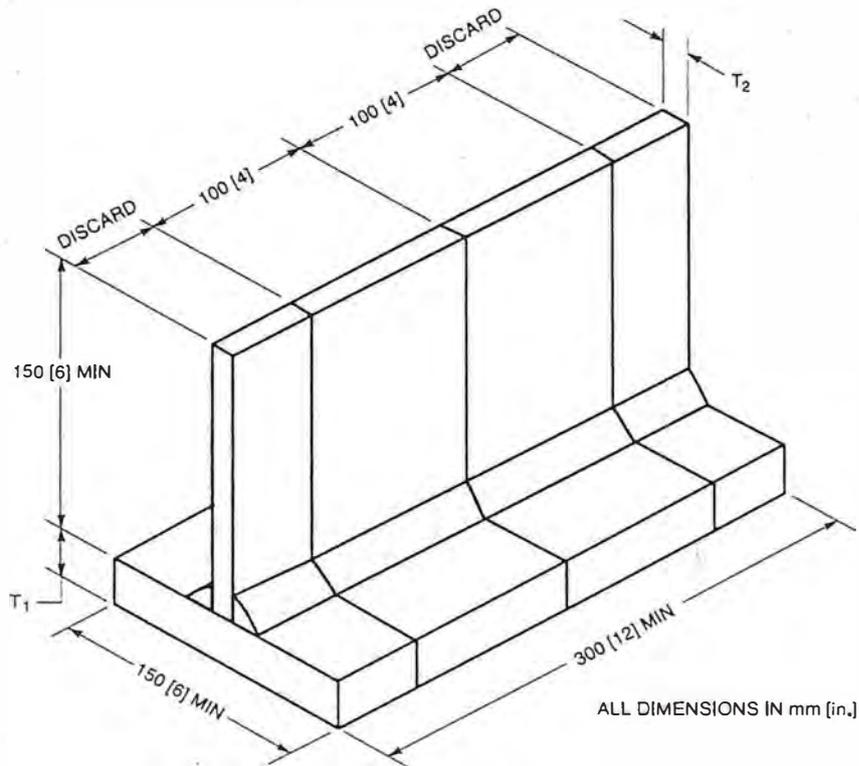
#### **3.4.15 Registro de la calificación**

Finalmente los resultados de los ensayos y las variables utilizadas en la calificación del procedimiento de soldadura se registran en el PQR. Con este PQR se puede generar las especificaciones de procedimientos de soldadura (WPS) que se requieran en el trabajo a realizar, siempre y cuando que sus variables esenciales no se encuentren fuera del rango calificado. Como guía puede ver el “ANNEX L” en el código.

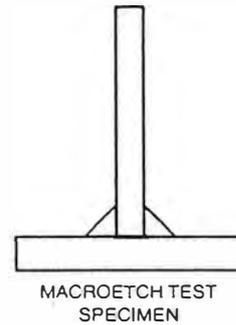
### **3.5 Ensayos adicionales para la calificación de procedimientos de uniones a filete**

Para calificar uniones a filete se toma como base la calificación realizada para uniones a chaflán con la finalidad de determinar las propiedades mecánicas de la unión y adicionalmente se realizan pruebas para verificar la sanidad de la unión conforme lo que indica la subcláusula 5.10 del código. Las dimensiones de cupón de prueba se muestran en la figura N° 3.11 o la figura 5.8 del código.

El criterio de aceptación para el ensayo de macrografía que se realiza también se encuentran indicados en la subcláusula “5.19 Test Results Required” del código.



WELD SIZE	T <sub>1</sub> MIN	T <sub>2</sub> MIN
5 [3/16]	12 [1/2]	5 [3/16]
6 [1/4]	20 [3/4]	6 [1/4]
8 [5/16]	25 [1]	8 [5/16]
10 [3/8]	25 [1]	10 [3/8]
12 [1/2]	25 [1]	12 [1/2]
16 [5/8]	25 [1]	16 [5/8]
20 [3/4]	25 [1]	20 [3/4]
>20 [>3/4]	25 [1]	25 [1]



General Notes:

- Where the maximum plate thickness used in production is less than the value shown in the table, the maximum thickness of the production pieces may be substituted for T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub>.
- At the contractor's option, the maximum single pass fillet welds may be welded on one side of the joint, and the minimum multiple pass fillet weld may be welded on the other side.

Figure 5.8—Fillet Weld Soundness Test (Macroetch) for WPS Qualification—  
Test Plate D (see 5.10.3)

Figura N° 3.11 Dimensiones del cupón de prueba adicional para uniones a filete

## CAPITULO 4

### **METODOLOGIA PARA CALIFICAR OPERARIOS DE SOLDADURA**

En este capítulo se establece la metodología para calificar a los operarios de soldadura (soldadores, operadores y apuntaladores). Tal y como se desarrolló el capítulo anterior se establecen diagramas de flujo de la metodología y seguidamente se detalla cada uno de los pasos.

#### 4.1 Metodología para la calificación de soldadores

##### 4.1.1 Diagrama de flujo

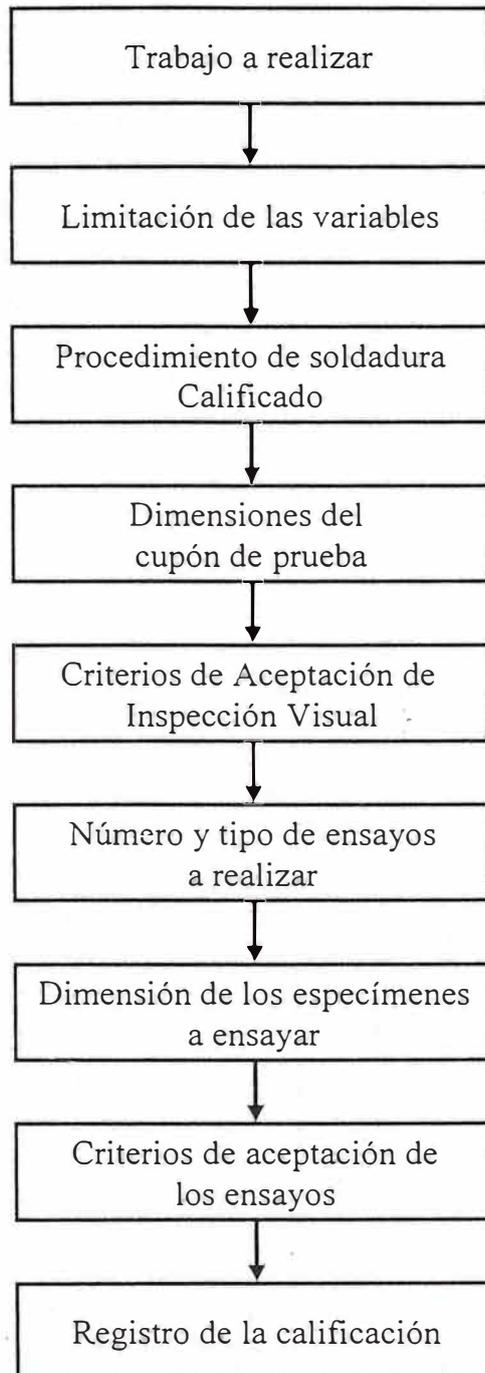


Figura N° 4.1 Diagrama de flujo para la calificación de soldadores

#### **4.1.2 Trabajo a realizar**

Un soldador puede realizar una variedad de trabajos dentro de una misma obra o producción, es por ello que es muy importante reunir la mayor cantidad de información sobre la producción (espesores a soldar, posiciones de soldadura, proceso de soldadura a utilizar, etc), para obtener una calificación rápida y que se ajuste adecuadamente al trabajo a realizar.

#### **4.1.3 Limitación de las variables**

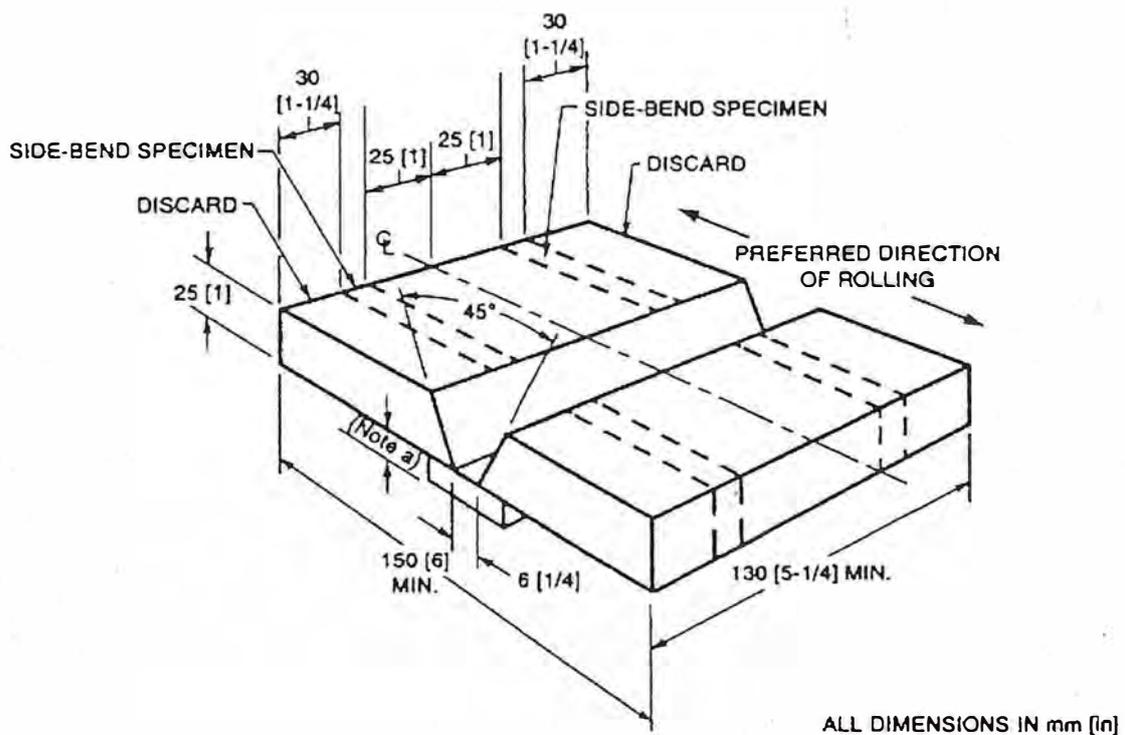
Las limitaciones de las variables para la calificación de soldadores podemos encontrarlas en las subcláusulas “5.24.1 Common Requirements for Welders, Welding Operators, and Tack Welders” y “5.24.2 Welder Qualificación Variables Only” del código.

#### **4.1.4 Procedimiento de soldadura calificado**

Una vez contempladas las limitaciones de las diferentes variables, se debe tener un procedimiento de soldadura calificado (WPS) o precalificado (preWPS) con el cual se llevará a cabo la calificación del soldador.

#### 4.1.5 Dimensiones del cupón de prueba

Las dimensiones del cupón de prueba dependerán del tipo de soldadura (chaflán o filete) y el espesor (limitado o ilimitado) tal y como indica la subcláusula “5.23.1 Welder Qualification” del código. Por ejemplo en la figura 4.2 se muestran las dimensiones del cupón de prueba para calificar hasta espesores ilimitados.



<sup>4</sup> The backing thickness shall be 6 mm [1/4 in] min. to 10 mm [3/8 in] max.; backing width shall be 75 mm [3 in] min. when not removed for RT, otherwise 25 mm [1 in] min.

Note: When RT is used for testing, no tack welds shall be in test area.

**Figure 5.17—Test Plate for Unlimited Thickness—  
Welder Qualification (see 5.23.1.2)**

Figura N° 4.2 Dimensiones del cupón de prueba para la calificación de soldador -  
espesor ilimitado

#### **4.1.6 Criterios de aceptación de inspección visual**

Una vez soldado el cupón se debe realizar una inspección visual para comparar las medidas del cupón soldado con lo permitido en el código. Los criterios de aceptación para la inspección visual se indican en la subcláusula “6.26.1 Visual Inspection” del código, a excepción de la socavación la cual no debe exceder 1 mm y la sobremonta no debe exceder los 5 mm. Se muestran los criterios de aceptación en el cuadro N° 4.1.

Criterios de Aceptación Visual
No deben existir fisuras.
Debe existir fusión completa entre capa y capa de soldadura y entre el metal soldado y el metal base
Todos los cráteres deben ser llenados.
Sobremonta máxima 5mm
Los perfiles de la soldadura deben ser como indica la subcláusula 3.6 del código
Socavación máxima 1mm
La frecuencia de la porosidad Vermicular no debe exceder a 1 en 100mm ó 6 en 1200mm de soldadura y el diámetro máximo de ésta no debe exceder 2.40mm

Cuadro N° 4.1 Criterios de aceptación de inspección visual para la calificación de soldador y operador de soldadura

#### **4.1.7 Número y tipo de ensayos a realizar**

Una vez que la probeta ha sido inspeccionada visualmente y es conforme con el código se procede a realizar los ensayos destructivos de acuerdo a las indicaciones del código. El número y tipos de ensayos que se requieren para la calificación del

soldador dependiendo del tipo de soldadura se pueden observar en la figura N° 4.3 o en la tabla 5.7 del código.

Los ensayos destructivos pueden ser reemplazados por ensayos no destructivos (RT), excepto para el proceso GMAW-S (corto Circuito).

**Table 5.7**  
**Number and Type of Specimens and Range of Thickness Qualified—**  
**Welder and Welding Operator Qualification (see 5.25.1)**

1. Test on Plate									
Type of Weld	Thickness of Test Plate (T) as Welded, mm [in]	Visual Inspection	Number of Specimens				T-Joint Break	Macro-Etch Test	Plate Thickness Qualified, mm [in.]
			Bend Tests <sup>d</sup>						
			Face	Root	Side				
Groove <sup>f</sup>	10 [3/8]	Yes	1	1	—	—	—	20 [3/4] max. <sup>e, g</sup>	
Groove	10 < T < 25 [3/8 < T < 1]	Yes	—	—	2	—	—	2T <sup>c, d</sup> max.	
Groove	25 [1] or over	Yes	—	—	2	—	—	Unlimited <sup>e</sup>	
Fillet Option No. 1 <sup>a</sup>	12 [1/2]	Yes	—	—	—	1	1	Unlimited	
Fillet Option No. 2 <sup>b</sup>	10 [3/8]	Yes	—	2	—	—	—	Unlimited	
Plug	10 [3/8]	Yes	—	—	—	—	2	Unlimited	

2. Tests on Electroslag and Electrogas Welding				
Plate Thickness Tested, mm [in]	Test Specimens Required			Plate Thickness Qualified, mm [in]
	Number of Sample Welds	Visual Inspection	Side Bend <sup>a</sup> (see Figure 5.23)	
38 [1-1/2] max.	1	Yes	2	Unlimited for 38 [1-1/2] Max. tested for <38 [1-1/2]

<sup>a</sup> See Figure 5.21.

<sup>b</sup> See Figure 5.22.

<sup>c</sup> Also qualifies for fillet welding on material of unlimited thickness.

<sup>d</sup> T max. for welding operator qualification.

<sup>e</sup> RT of test plate may be made in lieu of the bend test. This shall not be allowed for GMAW-S.

<sup>f</sup> Not applicable for welding operator qualification.

<sup>g</sup> See Figures 5.19 and 5.20.

Figura N° 4.3 Número de especímenes a ensayar para la calificación de soldador y operador de soldadura

#### **4.1.8 Dimensiones de los especímenes a ensayar**

Las dimensiones del espécimen a ensayar se encuentran en las figuras 5.11 y 5.12 del código o en el anexo 4 de presente informe.

#### **4.1.9 Criterios de aceptación de los ensayos**

Una vez realizados los ensayos, los resultados deben compararse con los criterios de aceptación del código para cada uno de los ensayos. Estos criterios de aceptación se indican en la subcláusula “5.27 Test Results Required”.

#### **4.1.10 Registro de la calificación**

Una vez que los resultados de los ensayos de la calificación del soldador cumplen con los requerimientos del código se le entrega un registro de su calificación, en el cual se menciona las características de trabajo que puede realizar. Como guía puede ver el “ANNEX L” en el código.

## 4.2 Metodología para la calificación de operadores de soldadura

### 4.2.1 Diagrama de flujo

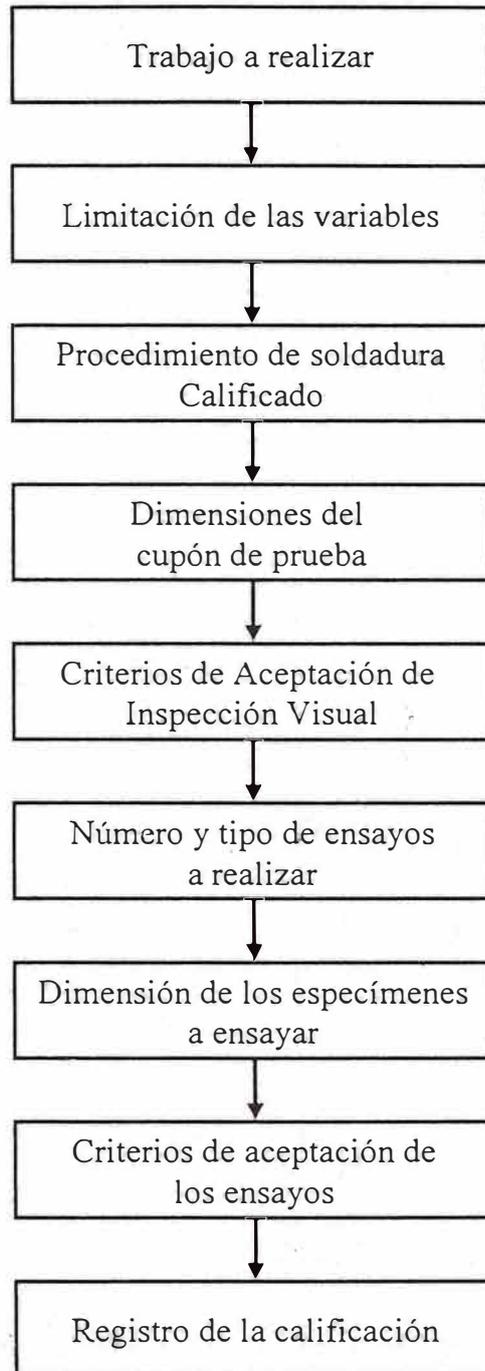


Figura N° 4.4 Diagrama de Flujo para la Calificación de Operadores de Soldadura

#### **4.2.2 Trabajo a realizar**

Es importante que se tenga la mayor información posible del trabajo que se va a realizar.

#### **4.2.3 Limitación de las variables**

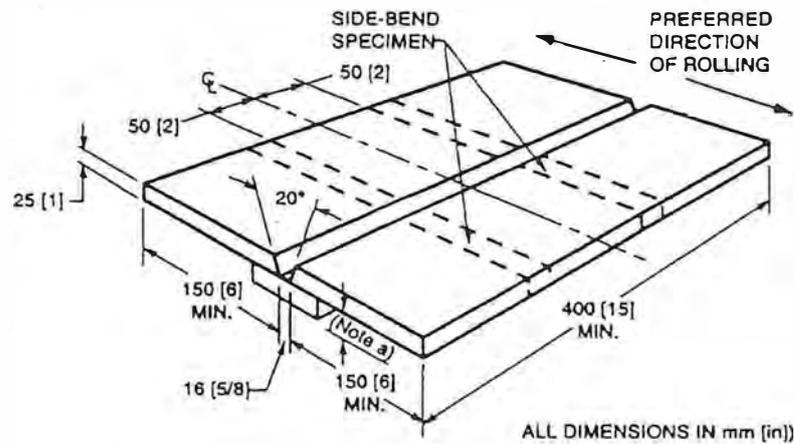
Las limitaciones de las variables para la calificación de operadores de soldadura podemos encontrarlas en las subcláusulas “5.24.1 Common Requirements for Welders, Welding Operators, and Tack Welders” y “5.24.3 Welding Operator Qualification Variables Only” del código.

#### **4.2.4 Procedimiento de soldadura calificado**

Una vez contempladas las limitaciones de las diferentes variables, se debe tener un procedimiento de soldadura calificado (WPS) con el cual se llevará a cabo la calificación del operador de soldadura.

#### **4.2.5 Dimensiones del cupón de prueba**

Las dimensiones del cupón de prueba dependerán del tipo de soldadura (chaflán o filete) tal y como indica la subcláusula “5.23.2 Welding Operator Qualification” del código. Por ejemplo en la figura 4.5 se muestran las dimensiones del cupón de prueba para calificar espesores ilimitados.



\* The backing thickness shall be 10 mm (3/8 in) min. to 12 mm (1/2 in) max.; backing width shall be 75 mm (3 in) min. when not removed for RT, otherwise 40 mm (1-1/2 in).

Notes:

1. When RT is used for testing, no tack welds shall be in test area.
2. The joint configuration of a qualified groove WPS may be used in lieu of the groove configuration shown here.

**Figure 5.24—Test Plate for Unlimited Thickness—  
Welding Operator Qualification (see 5.23.2.1)**

Figura N° 4.5 Dimensiones del cupón de prueba para la calificación del operador de soldadura - espesor ilimitado

#### **4.2.6 Criterios de aceptación de inspección visual**

Una vez soldado el cupón se debe realizar una inspección visual para comparar las medidas del cupón soldado con lo permitido en el código. Los criterios de aceptación para la inspección visual se indican en la subcláusula “6.26.1 Visual Inspection” del código, a excepción de la socavación la cual no debe exceder 1 mm y la sobremonta no debe exceder los 5 mm. Se muestran los criterios de aceptación en el cuadro N° 4.1.

#### **4.2.7 Número y tipo de ensayos a realizar**

Una vez que la probeta ha sido inspeccionada visualmente y es conforme con el código se procede a realizar los ensayos destructivos de acuerdo a las indicaciones del código. El número y tipos de ensayos que se requieren para la calificación del soldador dependiendo del tipo de soldadura se pueden observar en la figura N° 4.3 o en la tabla 5.7 del código.

Los ensayos destructivos pueden ser reemplazados por ensayos no destructivos (RT).

#### **4.2.8 Dimensiones de los especímenes a ensayar**

Las dimensiones del espécimen a ensayar se encuentran en la figura 5.11 del código o en el anexo 4 de presente informe.

#### **4.2.9 Criterios de aceptación de los ensayos**

Una vez realizados los ensayos, los resultados deben compararse con los criterios de aceptación del código para cada uno de los ensayos. Estos criterios de aceptación se indican en la subcláusula “5.27 Test Results Required” del código.

#### **4.2.10 Registro de la calificación**

Una vez que los resultados de los ensayos de la calificación del operador de soldadura cumplen con los requerimientos del código se le entrega un registro de su calificación, en el cual se menciona las características de trabajo que puede realizar.

Como guía puede ver el “ANNEX L” en el código.

### 4.3 Metodología para la calificación de apuntaladores de soldadura

#### 4.3.1 Diagrama de flujo

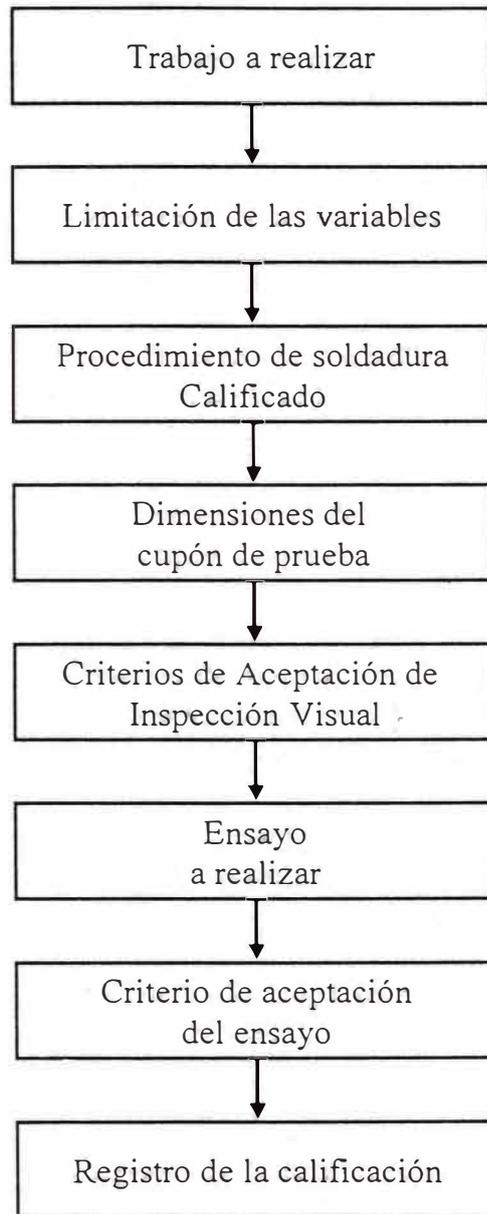


Figura N° 4.6 Diagrama de flujo para la calificación de apuntaladores de soldadura

#### **4.3.2 Trabajo a realizar**

Es importante que se tenga la mayor información posible del trabajo que se va a realizar.

#### **4.3.3 Limitación de las variables**

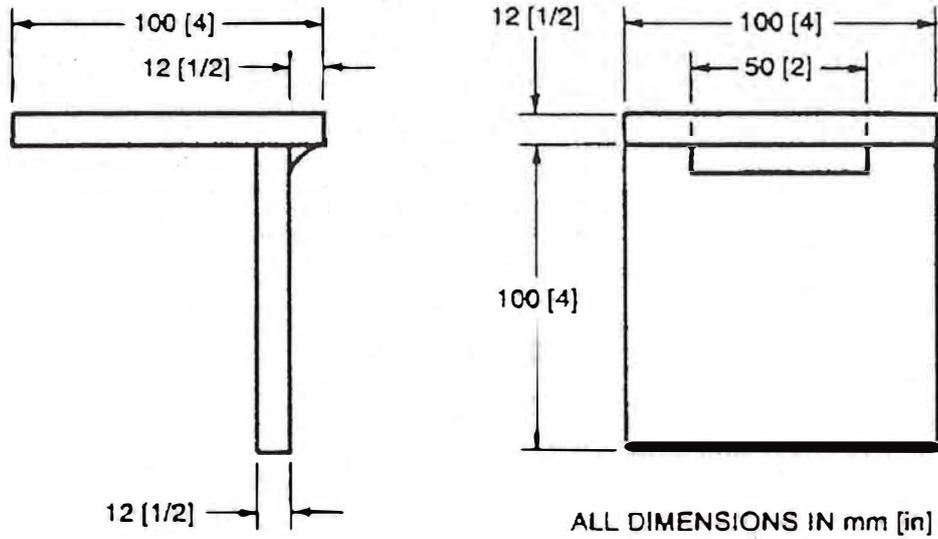
Las limitaciones de las variables para la calificación de apuntaladores de soldadura podemos encontrarlas en las subcláusulas “5.24.1 Common Requirements for Welders, Welding Operators, and Tack Welders” y “5.24.4 Tack Welder Qualification Variables Only” del código.

#### **4.3.4 Procedimiento de soldadura calificado**

Una vez contempladas las limitaciones de las diferentes variables, se debe tener un procedimiento de soldadura calificado (WPS) o precalificado (preWPS) con el cual se llevará a cabo la calificación del apuntalador de soldadura.

#### **4.3.5 Dimensiones del cupón de prueba**

Las dimensiones del cupón de prueba se muestran en la figura 4.7.



**Figure 5.28—Fillet-Weld-Break Specimen—  
Tack Welder Qualification (see 5.25.3)**

Figura N° 4.7 Dimensiones del cupón de prueba para la calificación de apuntalador de soldadura

#### **4.3.6 Criterios de aceptación de inspección visual**

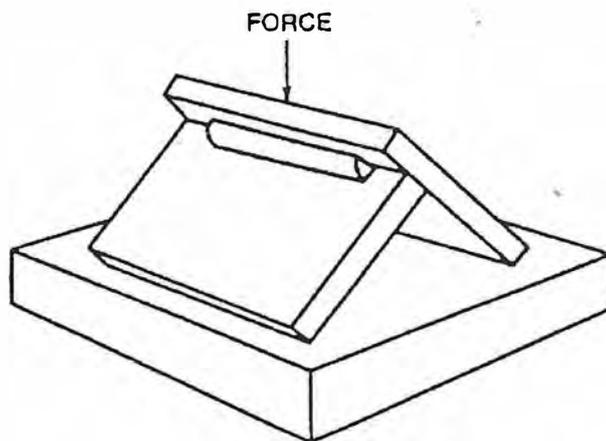
Una vez soldado el cupón se debe realizar una inspección visual para comparar las medidas del cupón soldado con lo permitido en el código. Los criterios de aceptación para la inspección visual se indican en la subcláusula “5.27.5 Fillet Weld Break Test (Tack Welder)” del código. Se muestran los criterios de aceptación en el cuadro N° 4.2.

Criterios de Aceptación Visual
El apuntalado debe presentar apariencia uniforme
Debe estar libre de overlap, fisuras y porosidades
Socavación máxima 1mm

Cuadro N° 4.2 Criterios de aceptación de inspección visual para la calificación de apuntalador de soldadura

#### 4.3.7 Ensayo a realizar

Una vez que la probeta ha sido inspeccionada visualmente y es conforme con el código se procede a realizar el ensayo destructivo de acuerdo a las indicaciones del código. El ensayo se muestra en la figura N° 4.8.



**Figure 5.29—Method of Rupturing Specimen—Tack Welder Qualification (see 5.26.3.3)**

Figura N° 4.8 Ensayo para la calificación de apuntalador de soldadura

#### **4.3.8 Criterios de aceptación del ensayo**

Una vez realizado el ensayo, los resultados deben compararse con los criterios de aceptación del código para el ensayo. Estos criterios de aceptación se indican en la subcláusula “5.27 Test Results Required” del código.

#### **4.3.9 Registro de la calificación**

Una vez que el resultado del ensayo de la calificación del apuntador de soldadura cumple con los requerimientos del código se le entrega un registro de su calificación, en el cual se menciona las características de trabajo que puede realizar. Como guía puede ver el “ANNEX L” en el código.

## CAPITULO 5

### APLICACION: CALIFICACION DE UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

#### 5.1 Calificación de procedimiento de soldadura para proceso SAW

Se desea calificar un procedimiento de soldadura que cumplan con las siguientes características:

<b>Variables</b>	<b>Rangos requeridos</b>
Proceso de soldadura	SAW
Material Base	ASTM A572 Gr 50 (equivalente al ASTM A709 Gr 50)
Tipo de uniones	a Tope
Tipo de soldadura	con chaflan
Penetración	completa
Material de respaldo	ASTM A572 Gr 50 (equivalente al ASTM A709 Gr 50)
Espesor de material(mm)	25 – 38
Posición	plana

Cuadro N° 5.1 Variables de obra - WPS

Usaremos el método de Máximo Całor Aportado descrito en el capítulo 3:

### **5.1.1 Proceso de Soldadura**

El proceso de soldadura es Sumerged Arc Welding (SAW).

### **5.1.2 Diseño de la unión**

Con este método de calificación debemos utilizar el diseño de unión B-U2-S de la figura 2.4 (para penetración completa). Cabe resaltar que para producción podemos utilizar los diferentes diseños de unión listados en las figuras 2.4 (para CJP) y 2.5 (para PJP) del código. Ver figura 3.4.

### **5.1.3 Posición de soldadura**

La posición de soldadura a utilizar en producción es la posición plana. Cabe resaltar que la calificación de la posición plana califica también la posición horizontal.

### **5.1.4 Material base/Material de aporte**

Nos remitimos a la tabla 4.1 del código para encontrar la correspondencia entre en material base a utilizar ASTM A572 Gr 50 (ASTM A709 Gr 50) y el material de aporte. Encontramos que el material de aporte que debemos utilizar es la combinación alambre-fundente con la clasificación AWS A5.17 F7A0-EXXX que para nuestro caso será la combinación F7A0-EL12.

### 5.1.5 Temperaturas

Como se mencionó en el subcapítulo 3.3.1.6 para este método la temperatura de precalentamiento y la temperatura de interpase deben ser de 100°C mientras que la máxima temperatura interpase la seleccionaremos en 150°C. Cabe resaltar que en producción se podrán utilizar las temperaturas de precalentamiento e interpase como se indican en la tabla 4.4 del código.

### 5.1.6 Determinación del máximo calor de aporte

En el cuadro N° 5.3 podemos ver los parámetros seleccionados conforme los requisitos que indica el cuadro N° 3.4 de la metodología.

Parámetro	Selección
Número de Electrodo	1 electrodo
Parámetros Eléctricos	Corriente y Polaridad: DCEP Stick Out = 25-30mm
Máxima Corriente	460 A
Máximo Voltaje	33 V
Mínimo Flujo de Gas	No aplica
Mínima Temperatura de Precalentamiento e Interpase	100°C
Máxima Temperatura de Interpase	150°C

Cuadro N° 5.3 Parámetros seleccionados

La velocidad de avance con la que se soldará la probeta será de 330 mm/min. Recordemos que para cambios permitidos en los parámetros de amperaje y voltaje la velocidad de avance se ajustará para mantener el calor de aporte dentro del rango permitido por el código para calificaciones con este método. El cálculo del calor aportado se realiza utilizando la fórmula N° 2.1 dada en el capítulo 2. En el cuadro N° 5.4 podemos ver los parámetros y el cálculo de calor aportado.

	Unidad	Valor
Corriente	[A]	460
Voltaje	[V]	33
Velocidad de avance	[mm/min]	330
<b>Calor Aportado</b>	<b>[kJ/mm]</b>	<b>2.76</b>

Cuadro N° 5.4 Cálculo del calor aportado

Con este valor de calor aportado podremos elaborar procedimientos de soldadura dentro de los rangos permitidos por el código. Estos rangos los encontramos en las subcláusulas “5.12.3.1 Maximum Heat Input Envelope” y “5.12.3.2 Maximum Heat Input PQR Current, Voltage, and Travel Speed” del código. Ver cuadro N° 5.5.

	Unidad	Rango permitido	Para el ejemplo
Calor aportado	[kJ/mm]	60% - 100% del calor aportado máximo (PQR)	1.66 - 2.76
Amperaje	[A]	80% - 100% de la corriente máxima (PQR)	368 - 460
Voltaje	[V]	86% - 100% del voltaje máximo (PQR)	28.4 - 33
Velocidad de avance	[mm/min]	Se ajusta para mantener el calor de aporte	Se ajusta para un calor de aporte entre 1.66 y 2.76

Cuadro N° 5.5 Limitaciones para el uso del método de Máximo Calor de Aporte

### **5.1.7 Tratamiento Térmico postsoldadura**

Para este trabajo no se requiere un tratamiento térmico postsoldadura.

### **5.1.8 Dimensiones del cupón de prueba**

Ver figura N° 3.3 del presente informe o la figura 5.1 del código

### **5.1.9 Criterios de aceptación de inspección visual**

Ver el cuadro N° 3.5 del presente informe o revisar la subcláusula “6.26.1 Visual Inspection” del código (con la excepción de la socavación la cual no debe exceder 1 mm).

### **5.1.10 Criterios de aceptación de ensayo radiográfico**

Los criterios de aceptación del ensayo radiográfico se encuentran en la subcláusula “6.26.2 RT and MT Inspection” del código.

### **5.1.11 Número y tipo de ensayos a realizar**

En la figura 3.6 del presente informe o en la tabla 5.5 del código podemos encontrar el número de especímenes y los tipos de ensayos a realizar, los cuales son: 1 ensayo

de tracción al metal de soldadura, 2 ensayos de tracción de sección reducida, 4 ensayos de dobléz de lado y 5 ensayos de impacto.

#### **5.1.12 Dimensiones de los especímenes a ensayar**

El espécimen para el ensayo de tracción al metal de soldadura debe cumplir con la figura 5.9 del código, los especímenes para el ensayo de tracción de sección reducida deben cumplir con la figura 5.10 del código, los especímenes para el ensayo de dobléz de lado deben cumplir con la figura 5.11 del código y los especímenes para el ensayo de impacto deben cumplir con la figura 5.13 del código.

#### **5.1.13 Criterios de aceptación de los ensayos**

Los criterios de aceptación de los ensayos se encuentran en la subcláusula “5.19 Test Results Required”. Ver cuadro N° 5.2.

Subcláusula del Código	Criterio de Aceptación
5.19.1 Reduced-Section Tension Tests (Ensayo de Tracción de Sección reducida)	La resistencia a la tracción no debe ser inferior a la mínima especificada para el metal base (aquella que queda registrada en el PQR)
5.19.2 Root, Face, and Side Bend Tests (Ensayo de Doblez de lado)	No deben existir discontinuidades que excedan:
	3mm medida en cualquier dirección
	10mm para la suma de aquellas discontinuidades que sean mayores a 1 mm y menores a 3mm
5.19.4 All-Weld-Metal Tension Tests (Ensayo de tracción al metal de soldadura)	6mm para fisuras de esquina a menos que en esta sea evidente alguna discontinuidad de tipo inclusión de escoria o de fusión, para lo cual el límite será 3mm.
5.19.4 All-Weld-Metal Tension Tests (Ensayo de tracción al metal de soldadura)	Deben ser conformes con los valores especificados en la tabla 4.1 del código.
5.19.5 CVN Tests (Ensayo de Impacto)	De los 5 especímenes se descartan los de mayor y menor valor, de los restantes se toma el promedio y éste deben ser conforme con el valor especificado en la tabla 4.1 del código. Sólo uno de los especímenes restantes puede ser inferior al especificado en la tabla 4.1 pero no menor a los 2/3 de ese valor.

Cuadro N° 5.2 Criterios de aceptación para los ensayos

#### 5.1.14 Registro de la calificación

Finalmente los resultados de los ensayos y las variables utilizadas en la calificación del procedimiento de soldadura se registran en el “registro de la calificación del procedimiento de soldadura (PQR)”, con este documento ya se puede generar especificaciones de procedimientos de soldadura (WPS) que se requieran en el trabajo a realizar, en la figura N° 5.1 se presenta el PQR, en la figura N° 5.2 se presenta el WPS del ejemplo.

<b>WeldPro</b>	REGISTRO DE LA CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)				DT-F-02			
	AASHTO/AWS D1.5 tipo de calificación 5.12.1 <input checked="" type="checkbox"/> 5.12.2 <input type="checkbox"/> 5.13 <input type="checkbox"/>				Hoja <u>1</u> de <u>2</u>	Emisión <u>26/06/2009</u>		
Empresa: <u>WELDPRO</u> Proceso de soldadura: <u>SAW</u> Tipo: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Mecanizada <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Tandem <input type="checkbox"/> Paralela <input type="checkbox"/>		Identificación: <u>PQR-001</u> Elaborado por: <u>David Yi</u> Autorizado por: <u>David Yi</u>		Revisión: <u>0</u> Fecha: <u>12/09/2009</u> Fecha: <u>12/09/2009</u>				
<b>DISEÑO DE JUNTA</b> Simple <input checked="" type="checkbox"/> Ambos lados <input type="checkbox"/> Respaldo: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Material: <u>ASTM A572 Gr 50</u> Abertura de raíz: <u>16mm</u> Dim. Cara de raíz: <u>0mm</u> Angulo de bisel: <u>20°</u> Radio (J-U): <u>---</u> Backgouging Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Metodo: <u>---</u> Tratamiento de raíz: <u>---</u>				<b>POSICIÓN</b> Posición de chaflan: <u>Plana</u> Filete: <u>---</u> Progresión vertical: <u>ascendente</u> <input type="checkbox"/> descendente <input type="checkbox"/>				
<b>METAL BASE</b> Especificación del material: <u>ASTM 572</u> Tipo o grado: <u>Grado 50</u> Espesor: <u>25mm</u>				<b>CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS</b> Transferencia (GMAW): <u>Globular</u> <input type="checkbox"/> Spray <input type="checkbox"/> Corriente: <u>AC</u> <input type="checkbox"/> DCEP <input checked="" type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/> Pulsada <input type="checkbox"/> Stick out: <u>30mm</u> Otros: <u>---</u>				
<b>MATERIAL DE APORTE</b> Especificación AWS: <u>A5.17</u> Clasificación AWS: <u>F7A0-EL12</u> Nombre Comercial: <u>FLUJO POP 175 - PS1</u>				<b>TÉCNICA</b> Arrastre u Oscilación: <u>Arrastre</u> Pase simple o multiple (por lado): <u>multiple</u> Número de electrodos: <u>1</u> Espaciado de electrodos: <u>---</u> Longitudinal: <u>---</u> Lateral: <u>---</u> Angulo: <u>---</u> Limpieza entre pases: <u>1 pase Esmerilado resto escobillado</u>				
<b>PROTECCIÓN</b> Fundente: <u>FLUJO POP 175</u> Fundente-electrodo (clase): <u>F7A0-EL12</u> Composición de gas: <u>---</u> Flujo: <u>---</u> Tamaño de tobera: <u>---</u>				<b>TRATAMIENTO TÉRMICO POSTSOLDADURA</b> Temperatura: <u>---</u> T. de mantención: <u>---</u> Ratio de calentamiento/Enfriamiento: <u>---</u>				
<b>PRECALENTAMIENTO</b> Temperatura de precalentamiento (mín): <u>100°C</u> Temperatura de Interpase (mín): <u>100°C</u> Temperatura de Interpase (máx): <u>350°C</u>				<b>CALOR DE APORTE</b> Valor del Calor de aporte calculado: <u>---</u> kJ/in <input type="checkbox"/> kJ/mm <input checked="" type="checkbox"/> Calor de aporte máximo: <u>2.76</u> Calor de aporte mínimo: <u>---</u>				
<b>PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>								
N° pase	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje [V]	Velocidad de avance [cm/min]	Diseño de junta
		Clase	Diam [mm]	Polaridad	Amperaje [A]			
1	SAW	F7A0-EL12	3.25	DCEP	430	31	35	
2	SAW	F7A0-EL12	3.25	DCEP	460	33	33	
3-25	SAW	F7A0-EL12	3.25	DCEP	460	33	33	
V°B° Supervisión Constructor		V°B° Control de Calidad Constructor			V°B° Supervisión Dueño			

Figura N° 5.1 Formato de un PQR

<b>WeldPro</b>	REGISTRO DE LA CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)	DT-F-02
	AASHTO/AWS D1.5 tipo de calificación	Hoja <u>2 de 2</u>
	5.12.1 <input checked="" type="checkbox"/> 5.12.2 <input type="checkbox"/> 5.13 <input type="checkbox"/>	Emisión <u>26/06/2009</u>
		Revisión <u>0</u>

<p><b>INSPECCIÓN VISUAL</b></p> <p>Apariencia: <u>Acceptable</u></p> <p>Sacavado: <u>No presenta</u></p> <p>Porosidad: <u>No presenta</u></p> <p>Convexidad: <u>Acceptable</u></p> <p>Fecha de prueba: <u>09/09/2009</u></p> <p>Inspeccionado por: <u>Ing. Juan Quispe</u></p>	<p><b>ENSAYO RADIOGRÁFICO</b></p> <p>Nº de Informe RT: <u>RT-2009-0329</u></p> <p>Empresa: <u>X-Ray</u></p> <p>Resultado: <u>Conforme</u></p> <p>Realizado por: <u>Ing. Omar Rodriguez</u></p> <p>Fecha: <u>10/09/2009</u></p>
--	--

**ENSAYO DE TRACCIÓN DE SECCIÓN REDUCIDA**

Especimen Nº	Ancho (mm) [mm]	Espesor [mm]	area [mm]	Carga de rotura total [kN]	Resistencia Máxima [MPa]	Ubicación de la falla
T1	25.44	19.57	497.86	281.26	564.87	Material Base
T2	25.10	19.30	484.43	287.14	592.70	Material Base

Realizado por: Ing. Pedro Bravo Lugar del ensayo: Laboratorios Garcia  
 Identificación del ensayo: TR-2009-0210

**ENSAYO DE TRACCIÓN AL METAL DE SOLDADURA**

Especimen Nº	Resistencia Máxima [MPa]	Esfuerzo de Fluencia [MPa]	Elongación en 50mm [%]
W1	608.19	608.19	25.98

Realizado por: Ing. Pedro Bravo Lugar del ensayo: Laboratorios Garcia  
 Identificación del ensayo: TM-2009-0057

**ENSAYO DE DOBLEZ**

Especimen Nº	Tipo de Doblez	Resultado	Observación
DL-1	Doblez de lado	Acceptable	---
DL-2	Doblez de lado	Acceptable	---
DL-3	Doblez de lado	Acceptable	---
DL-4	Doblez de lado	Acceptable	---

Realizado por: Ing. Pedro Bravo Lugar del ensayo: Laboratorios Garcia  
 Identificación del ensayo: BS-2009-0552

**ENSAYO DE IMPACTO**

Temperatura [°C]	Valores individuales [J]					Valor Promedio [J]
-20	25.50	27.46	27.46	28.44	30.40	27.79

Realizado por: Ing. Pedro Bravo Lugar del ensayo: Laboratorios Garcia  
 Identificación del ensayo: CV-2009-0123

**PRUEBA DE SOLDEO REALIZADA POR**

Nombre y Apellido: Alejandro Montoya

Nº Identificación: 40616283

Nº Registro: WPO-01

Identificación de la prueba: PQR-001

V°B° Supervisión Constructor	V°B° Control de Calidad Constructor	V°B° Supervisión Dueño

Figura Nº 5.1 Formato de un PQR (continuación)

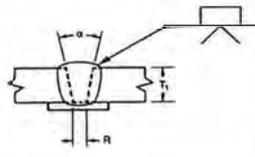
<h1 style="margin:0;">WeldPro</h1>	<b>ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b>					DT-F-01		
	PRECALIFICADO <input type="checkbox"/> CALIFICADO <input checked="" type="checkbox"/> AASHTO/AWS D1.5 tipo de calificación 5.12.1 <input checked="" type="checkbox"/> 5.12.2 <input type="checkbox"/> 5.13 <input type="checkbox"/>					Hoja 1 de 1 Emisión 26/06/2009 Revisión 0		
	Empresa: <u>WELDPRO</u>					Revisión: 0 Fecha: 12/09/2009 Fecha: 12/09/2009		
Proceso de soldadura: <u>SAW</u> Tipo: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomática <input type="checkbox"/> Mecanizada <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Tandem <input type="checkbox"/> Paralela <input type="checkbox"/>					Identificación: <u>WPS-001</u> Elaborado por: <u>David Yi</u> Autorizado por: <u>David Yi</u> PQR soporte: <u>PQR-001</u>			
<b>DISEÑO DE JUNTA</b>					<b>POSICIÓN</b>			
Simple <input checked="" type="checkbox"/> Ambos lados <input type="checkbox"/> Respaldo: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Material: <u>ASTM A572 Gr 50</u> Abertura de raíz: <u>16mm</u> Dim. Cara de raíz: <u>0mm</u> Angulo de bisel: <u>20°</u> Radio (J-U): <u>---</u> Backgouging Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Metodo: <u>---</u> Tratamiento de raíz: <u>---</u>					Posición de chaflán: <u>Plana</u> Filete: <u>---</u> Progresión vertical: <u>ascendente</u> <input type="checkbox"/> <u>descendente</u> <input type="checkbox"/>			
<b>METAL BASE</b>					<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b>			
Especificación del material: <u>ASTM 572</u> Tipo o grado: <u>Grado 50</u> Espesor: <u>25 - 38mm</u>					Transferencia (GMAW): <u>Globular</u> <input type="checkbox"/> <u>Spray</u> <input type="checkbox"/> Corriente: AC <input type="checkbox"/> DCEP <input checked="" type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/> Pulsada <input type="checkbox"/> Stick out: <u>25-30mm</u> Otros: <u>---</u>			
<b>MATERIAL DE APORTE</b>					<b>TÉCNICA</b>			
Especificación AWS: <u>A5.17</u> Clasificación AWS: <u>F7A0-EL12</u> Nombre Comercial: <u>FLUJO POP 175 - PS1</u>					Arrastre u Oscilación: <u>Arrastre</u> Pase simple o multiple (por lado): <u>multiple</u> Número de electrodos: <u>1</u> Espaciado de electrodos: <u>---</u> Longitudinal: <u>---</u> Lateral: <u>---</u> Ángulo: <u>---</u> Limpieza entre pases: <u>1 pase Esmerilado resto escobillado</u>			
<b>PROTECCIÓN</b>					<b>TRATAMIENTO TÉRMICO POSTSOLDADURA</b>			
Fundente: <u>FLUJO POP 175</u> Fundente-electrodo (clase): <u>F7A0-EL12</u> Composición de gas: <u>---</u> Flujo: <u>---</u> Tamaño de tobera: <u>---</u>					Temperatura: <u>---</u> T. de mantención: <u>---</u> Ratio de calentamiento/Enfriamiento: <u>---</u>			
<b>PRECALENTAMIENTO</b>					<b>CALOR DE APORTE</b>			
Temperatura de precalentamiento (mín): <u>65°C</u> Temperatura de Interpase (mín): <u>65°C</u> Temperatura de Interpase (máx): <u>350°C</u>					Valor del Calor de aporte calculado: <u>kJ/in</u> <input type="checkbox"/> <u>kJ/mm</u> <input checked="" type="checkbox"/> Calor de aporte máximo: <u>2.76</u> Calor de aporte mínimo: <u>1.66</u>			
<b>PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>								
N° pase	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje [V]	Velocidad de avance [cm/min]	Diseño de junta
		Clase	Diam [mm]	Polaridad	Amperaje [A]			
1	SAW	F7A0-EL12	3.25	DCEP	410-430	30-31	35-36	
2	SAW	F7A0-EL12	3.25	DCEP	440-460	32-33	33-34	
3-n	SAW	F7A0-EL12	3.25	DCEP	440-460	32-33	33-34	
V°B° Supervisión Constructor		V°B° Control de Calidad Constructor			V°B° Supervisión Dueño			

Figura N° 5.2 Formato de un WPS

## **5.2 Duración de una calificación**

Un PQR esta calificado por tiempo de 60 meses. Además se debe recalificar si es que se incumple con las limitaciones citadas en las subcláusulas “5.12.3.1 Maximum Heay Input Envelope” y “5.12.3.2 Maximum Heat Input PQR Current, Voltage, and Travel Speed”. Si es que se calificara con el método general se debe recalificar si es que se necesita trabajar con las variables esenciales fuera de los rangos permitidos en la tabla 5.3 del código (ver anexo 3).

## CONCLUSIONES

1. Dentro del código “AASHTO/AWS D1.5M/D1.5 Bridge Welding Code” existen varias alternativas para calificar un procedimiento de soldadura y para cada una de ellas se ha establecido una metodología de aplicación.
2. El uso de estas metodologías nos ayuda a comprender de una manera más fácil y rápida el código “AASHTO/AWS D1.5M/D1.5 Bridge Welding Code”, y en general nos familiariza con el uso de normas.
3. Existe la posibilidad que un constructor pueda proporcionar los parámetros de soldadura y los resultados de los ensayos de su calificación de procedimiento a otro constructor o interesado, el cual sólo deberá verificar estos resultados con menos pruebas y ensayos que los que se necesitan para una calificación completa consiguiendo, de esta manera, reducir costos y tiempo.
4. El ingeniero como representante oficial del dueño de la obra es quien aprueba en última instancia todos los documentos correspondientes a la fabricación del puente, entre estas las calificaciones del procedimiento. También es quien aprueba el uso de materiales u procesos de soldadura no considerados dentro del código.

5. Se comprueba que la calidad es medible y comparable con los criterios de aceptación contenidos en las normas.
  
6. Mientras más se conozca sobre el trabajo que van a realizar los soldadores se puede optimizar la calificación de los mismos: calificándolos en posiciones con rangos más amplios de aplicación (por ejemplo el soldador 3G está capacitado para soldar en posición plana, horizontal y vertical) en vez de calificarlos primero en una posición (por ejemplo 1G que sólo puede soldar en posición plana), luego en otra (por ejemplo 2G que puede soldar en posición plana y horizontal) y otra (3G); calificándolos en rangos de espesores que cubran todo el trabajo que van a realizar (por ejemplo calificarlos en espesores de 25mm para que puedan soldar espesores ilimitados en obra).
  
7. Los procedimientos de soldadura deben mantenerse impresos y al alcance y al alcance de todo el personal involucrado en la obra, con el fin de generar uniones de calidad.

## BIBLIOGRAFIA

1. A709/A709M – 01a STANDARD SPECIFICATION FOR CARBON AND HIGH-STRENGTH LOW-ALLOY STRUCTURAL STEEL SHAPES, PLATES, AND BARS AND QUENCHED-AND-TEMPERED ALLOY STRUCTURAL STEEL PLATES FOR BRIDGES, American Society for Testing Materials, 2001.
2. AASHTO/AWS D1.5M/ D1.5:2008 BRIDGE WELDING CODE, American Welding Society, Quinta edición, 2008.
3. AWS A3.0:2001 STANDARD WELDING TERMS AND DEFINITIONS, American Welding Society, 2001.
4. AWS VIW-M:2006 VISUAL INSPECTION WORKSHOP REFERENCE MANUAL, American Welding Society, Tercera edición, 2006.
5. MANUAL DEL SOLDADOR, Germán Hernández Riesco, Decimosexta edición, 2006.
6. METODOLOGIA PARA LA CALIFICACION DE OPERARIOS Y PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA, Leonardo Rodriguez, 2006.
7. QUALIFICATION STANDARD FOR WELDING AND BRAZING PROCEDURES, WELDERS, BRAZERS, AND WELDING AND BRAZING OPERATORS - SECTION IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Edición 2007.
8. TRADUCCIÓN DE UNA NORMA NACIONAL AMERICANA – ANSI/AWS A2.4-93 – SIMBOLOS NORMALIZADOS PARA SOLDEO, SOLDEO FUERTE Y EXAMEN NO DESTRUCTIVO, American Welding Society, 1993.
9. WELDING ENCYCLOPEDIA, American Welding Society, Décimoctava Edición, 1997.
10. Páginas de Internet:
  - a. [www.aws.org](http://www.aws.org)
  - b. [www.astm.org](http://www.astm.org)

ANEXO 1

Tablas 4.1 y 4.2 del código con las combinaciones material base y material de aporte.

Base Metal  AASHTO (ASTM) Designation	AWS Electrode Specification	Qualification, Pretest, and Verification Test Requirement				
		Minimum Yield Strength, MPa [ksi]	Minimum Tensile Strength, MPa [ksi]	Minimum Elongation in 50 mm [2 in], %	CVN, J [(ft-lb) AASHTO Temperature Zones	
					I and II	III
M270M [M270] (A 709M [A 709]) Gr. 250 [36]	SMAW AWS A5.1/A5.1M E6018, E7015, E7016, E7018, E7018-1, E7018M, E7028 A5.5/A5.5M E7015-X, E7016-X, E7018-X E7015-.16, -18-C1L, -C2L, E7018-C3L E8016, -18-C1, -C2 E8016, -18-C3, -C4	Prequalified—Exempt from Test (see 5.11)				
	SAW AWS A5.17/A5.17M F6A0-EXXX F6A0-ECX F7A0-EXXX F7A0-ECX AWS A5.23/A5.23M F7A0-EXXX-XX F7A0-ECXXX-XX F8A0-EXXX-XX F8A0-ECXXX-XX	300 [45]	400 [60]	22	27 @ -20°C [20 @ 0°F]	27 @ -30°C [20 @ -20°F]
	FCAW-G AWS A5.20/A5.20M E7XT-1C, -1N E7XT-5C, -5M E7XT-9C, -9M E7XT-12C, -12M AWS A5.29/A5.29M E6XT1-NiC, -NiM E7XT1-XC, -XM E7XT5-XC, -XM E8XT1-NiXC, -NiXM E8XT5-NiXC, -NiXM E8XT1-W2C, -W2M	300 [45]	400 [60]	22	27 @ -20°C [20 @ 0°F]	27 @ -30°C [20 @ -20°F]
	GMAW AWS A5.18/A5.18M E70C-3C, E70C-3M, E70C-6C, E70C-6M AWS A5.28/A5.28M E70C-XXX E80C-NiX E80C-W2	300 [45]	400 [60]	22	27 @ -20°C [20 @ 0°F]	27 @ -30°C [20 @ -20°F]

ANEXO 1

Tablas 4.1 y 4.2 del código con las combinaciones material base y material de aporte (continuación).

Table 4.1 (Continued)						
Matching Filler Metal Requirements for WPSs Qualified in Conformance with 5.12						
Base Metal	AWS Electrode Specification	Qualification, Pretest, and Verification Test Requirement				
AASHTO (ASTM) Designation		Minimum Yield Strength, MPa [ksi]	Minimum Tensile Strength, MPa [ksi]	Minimum Elongation in 50 mm [2 in], %	CVN, J [ft-lb] AASHTO Temperature Zones	
					I and II	III
M270M [M270] (A 709M [A 709]) Gr. 345 [50] Type 1, 2, or 3, Gr. 345W [50W] Gr. HPS 345W [HPS 50W] 100 mm [4 in] and under	SMAW AWS A5.1/A5.1M E7015, E7016, E7018, E7018-1, E7018M, E7028 A5.5/A5.5M E7015-X, E7016-X, E7018-X E7015, -16-C1L, -C2L E7018-C1L, -C2L, -C3L E8016, -18-C1, -C2 E8016, -18-C3, -C4 E7018-W1, E8018-W2	Prequalified—Exempt from Test (see 5.11)				
	SAW AWS A5.17/A5.17M F7A0-EXXX F7A0-ECX AWS A5.23/A5.23M F7A0-EXXX-XX F7A0-ECXXX-XX F8A0-EXXX-XX F8A0-ECXXX-XX	345 [50]	450 [65]	22	27 @ -20°C [20 @ 0°F]	27 @ -30°C [20 @ -20°F]
	FCAW-G AWS A5.20/A5.20M E7XT-1C, -1M E7XT-5C, -5M E7XT-9C, -9M E7XT-12C, -12M AWS A5.29/A5.29M E6XT1-NiC, -NiM E7XT1-XC, -XM E7XT5-XC, -XM E8XT1-NiXC, -NiXM E8XT5-NiXC, -NiXM E6XT1-W2C, -W2M	345 [50]	450 [65]	22	27 @ -20°C [20 @ 0°F]	27 @ -30°C [20 @ -20°F]
	GMAW AWS A5.18/A5.18M E70C-3C, E70C-3M, E70C-6C, E70C-6M AWS A5.28/A5.28M E70C-XXX E80C-NiX E80C-W2	345 [50]	450 [65]	22	27 @ -20°C [20 @ 0°F]	27 @ -30°C [20 @ -20°F]

ANEXO 1

Tablas 4.1 y 4.2 del código con las combinaciones material base y material de aporte (continuación).

**Table 4.1 (Continued)**  
**Matching Filler Metal Requirements for WPSs Qualified in Conformance with 5.12**

Notes:

1. When welds are to be stress-relieved, the weld metal shall not exceed 0.05% vanadium. The stress-relieved weld shall meet the minimum mechanical properties and impact properties specified in the contract.
2. Special welding materials and procedures may be required to match atmospheric, corrosion, and weathering characteristics (see Table 4.3 for M270M [M270] (A 709M [A 709]) Gr. 345W [50W] and Gr. HPS 345W [HPS 50W] steels). Filler metal with suitable weathering characteristics for bare unpainted applications of M270M [M270] (A 709M [A 709]) Gr. 690, 690W [100, 100W] and M270M [M270] (A 709M [A 709]) Gr. HPS 485W [HPS 70W] steels shall be approved by the Engineer.
3. When joining HPS 485W [HPS 70W], the weld deposit shall have a minimum content of 0.8% nickel as determined by A5.XX filler metal tests.
4. Electrode specifications with the same yield and tensile properties, but with lower impact test temperature, may be substituted. (e.g., F7A2-EXXX may be substituted for F7A0-EXXX).
5. For base metal thickness or electrode specification not included in this table, see Table 4.2.
6. The Engineer may accept the results of test that vary from the limits established by this table based upon the following rules:
  - (a) The yield strength of the weld metal may be up to 70 MPa [10 ksi] less than the minimum specified yield strength of the matching weld metal when stress in the weld is compression normal to the effective area of the weld.
  - (b) Ductility and toughness shall be as specified except when otherwise approved for specific projects or applications.
  - (c) Acceptance of modified mechanical properties by one State does not obligate other States to accept the same modifications.
7. All listed values are minimums unless a range is shown.
8. The 550 MPa [80 ksi] filler metals are intended for exposed applications of weathering steels. They need not be used on applications of M270M [M270] (A 709M [A 709]) Gr. 345W [50W] or Gr. HPS 345W [HPS 50W] that will be painted.
9. The provisions of 5.13 may be used as an option to 5.12.
10. See 5.5.1 for filler metal qualification requirements.
11. Filler metals for alloy groups B3, B3L, B4, B4L, B5, B5L, B6, B6L, B7, B7L, B8, B8L, or B9 in AWS A5.5/A5.5M, A5.23/A5.23M, A5.29/A5.29M, and A5.29/A5.29M shall be prohibited in the as-welded condition.
12. In joints involving base metals of two different yield strengths, filler metal applicable to the lower strength base metal may be used.
13. AWS A5M (SI units) electrodes of the same classification may be used in lieu of the AWS A5 (U.S. Customary Units) electrode classification.

**Table 4.2**  
**Matching Filler Metal Requirements for WPSs Qualified in Conformance with 5.13**

Base Metal	AWS Electrode Specification	Qualification Test Requirement				
		Minimum Yield Strength, MPa [ksi]	Minimum Tensile Strength, MPa [ksi]	Elongation in 50 mm [2 in], %	CVN, J [(ft-lb) AASHTO Temperature Zones]	
					I and II	III
M270M [M270] (A 709M [A 709]) Gr. 250 [36]	FCAW-S AWS A5.20/A5.20M E6XT-6, 8 E7XT-6, 8 AWS A5.29/A5.29M E6XT8-X E7XT4-X E7XT6-X E7XT7-X E7XT8-X E8XT8-X	300 [45]	400 [65]	22	27 @ -20° C [20 @ 0° F]	27 @ -30° C [20 @ -20° F]
	GMAW AWS A5.18/A5.18M ER70S-2, 3, 6, 7 AWS A5.28/A5.28M ER80S-NiX	300 [45]	400 [65]	22	27 @ -20° C [20 @ 0° F]	27 @ -30° C [20 @ -20° F]

ANEXO 1

Tablas 4.1 y 4.2 del código con las combinaciones material base y material de aporte (continuación).

Table 4.2 (Continued)						
Matching Filler Metal Requirements for WPSs Qualified in Conformance with 5.13						
Base Metal	AWS Electrode Specification	Qualification Test Requirement				
		Minimum Yield Strength, MPa (ksi)	Minimum Tensile Strength, MPa (ksi)	Elongation in 50 mm [2 in], %	CVN, J [(ft-lb) AASHTO Temperature Zones]	
AASHTO (ASTM) Designation					I and II	III
M270M [M270] (A 709M [A 709]) Gr. 250 [36] (Cont'd)	ELECTROSLAG—Not Authorized for Tension and Reversal Members					
	AWS A5.25/A5.25M FES60-XXX FES62-XXX FES70-XXX FES72-XXX	300 (45)	400 [65]	24 22 22	20 @ -20° C [15 @ 0° F]	As Approved by Engineer
	ELECTROGAS—Not Authorized for Tension and Reversal Members					
	AWS A5.26/A5.26M EG60X-X EG62X-X EG70X-X EG72X-X	345 [50]	400 [65]	24 24 22 22	20 @ -20° C [15 @ 0° F]	As Approved by Engineer
M270M [M270] (A 709M [A 709]) Gr. 345 [50] Type 1, 2, or 3, Gr. 345W [50W] Gr. HPS 345W [HPS 50W] [10 mm [3/8 in] and under	GMAW AWS A5.18/A5.18M ER70S-2, 3, 6, 7 AWS A5.28/A5.28M ER80S-NiX	345 [50]	450 [65]	22	27 @ -20° C [20 @ 0° F]	27 @ -30° C [20 @ -20° F]
	FCAW-S AWS A5.20/A5.20M E7XT-6, 8 AWS A5.29/A5.29M E6XT3-X E7XT4-X E7XT6-X E7XT7-X E7XT8-X E8XT8-X	345 [50]	450 [65]	22	27 @ -20° C [20 @ 0° F]	27 @ -30° C [20 @ -20° F]
	ELECTROSLAG—Not Authorized for Tension and Reversal Members					
	AWS A5.25/A5.25M FES70-XXX FES72-XXX	345 [50]	450 [65]	22	27 @ -20° C [20 @ 0° F]	As Approved by Engineer
	ELECTROGAS—Not Authorized for Tension and Reversal Members					
	AWS A5.26/A5.26M EG70X-X EG72X-X	345 [50]	450 [65]	22	27 @ -20° C [20 @ 0° F]	As Approved by Engineer
M270M [M270] (A 709M [A 709]) Gr. HPS 485W [HPS 70W]	As Approved by Engineer (see Table 4.1)					

ANEXO 1

Tablas 4.1 y 4.2 del código con las combinaciones material base y material de aporte (continuación).

Table 4.2 (Continued)  
Matching Filler Metal Requirements for WPSs Qualified in Conformance with 5.13

Base Metal  AASHTO (ASTM) Designation	AWS Electrode Specification	Qualification Test Requirement				
		Minimum Yield Strength, MPa (ksi)	Minimum Tensile Strength, MPa (ksi)	Elongation in 50 mm [2 in], %	CVN, J [(ft-lb) AASHTO Temperature Zones	
					I and II	III
M270M [M270] (A 709M [A 709]) Gr. 690, 690W [100, 100W] Over 60 mm [2-1/2 in] thick	GMAW AWS A5.28/A5.28M ER 100S-1 ER 100S-2	600 [90]	675 [95]	16	27 @ -40° C [20 @ -40° F]	As Approved by Engineer
M270M [M270] (A 709M [A 709]) Gr. 690, 690W [100, 100W] 60 mm [2-1/2 in] thick or less	SMAW AWS A5.5/A5.5M E11018M	670 [95]	745 [110]	20	27 @ -40° C [20 @ -40° F]	As Approved by Engineer
	SAW AWS A5.23/A5.23M F11A4-EXXX-XX F11A4-ECXXX-XX	670 [95]	745 [110]	—	27 @ -40° C [20 @ -40° F]	As Approved by Engineer
	FCAW-G AWS A5.29/A5.29M E11XT1-XC, -XM E11XT5-XC, -XM	670 [95]	745 [110]	20	27 @ -40° C [20 @ -40° F]	As Approved by Engineer
	GMAW AWS A5.28/A5.28M ER110S-1 E110C-K3, -K4	670 [95]	745 [110]	20	27 @ -40° C [20 @ -40° F]	As Approved by Engineer

- Notes:
- When welds are to be stress-relieved, the weld metal shall not exceed 0.05% vanadium. The stress-relieved weld shall meet the minimum mechanical properties and impact properties specified in the contract.
  - Special welding materials and procedures may be required to match atmospheric, corrosion, and weathering characteristics (see Table 4.3 for M270M [M270] (A 709M [A 709]) Gr. 345W [50W] and Gr. HPS 345W [HPS 50W] steels). Filler metal with suitable weathering characteristics for bare unpainted applications of M270M [M270] (A 709M [A 709]) Gr. 690, 690W [100, 100W] and M270M [M270] (A 709M [A 709]) Gr. HPS 485W [HPS 70W] steels shall be approved by the Engineer.
  - When joining HPS 485W [HPS 70W], the weld deposit shall have a minimum content of 0.5% nickel as determined by A5.XX filler metal tests.
  - Electrode specifications with the same yield and tensile properties, but with lower impact test temperature, may be substituted. (e.g., F7A2-EXXX may be substituted for F7A0-EXXX).
  - The Engineer may accept the results of tests that vary from the limits established by this table based upon the following rules:
    - The yield strength of the weld metal may be up to 70 MPa [10 ksi] less than the minimum specified yield strength of the matching weld metal when stress in the weld is compression normal to the effective area of the weld.
    - Ductility and toughness shall be as specified except when otherwise approved for specific projects or applications.
    - Acceptance of modified mechanical properties by one State does not obligate other States to accept the same modifications.
  - All listed values are minimums unless a range is shown.
  - The 550 MPa [80 ksi] filler metals are intended for exposed applications of weathering steels. They need not be used on applications of M270M [M270] (A 709M [A 709]) Gr. 345W [50W] or Gr. HPS 345W [HPS 50W] that will be painted.
  - See 5.5.1 for filler metal qualification requirements.
  - Filler metals for alloy groups B3, B3L, B4, B4L, B5, B5L, B6, B6L, B7, B7L, B8, B8L, or B9 in AWS A5.5/A5.5M, A5.23/A5.23M, A5.28/A5.28M, and A5.29/A5.29M shall be prohibited in the as-welded condition.
  - In joints involving base metals of two different yield strengths, filler metal applicable to the lower strength base metal may be used.
  - AWS A5M (SI units) electrodes of the same classification may be used in lieu of the AWS A5 (U.S. Customary Units) electrode classification.

## ANEXO 2

Tabla 4.4 del código de las mínimas temperaturas de precalentamiento e interpase.

Table 4.4 Minimum Preheat and Interpass Temperature, °C [°F]				
Welding Process (Base Metal)	To 20 mm [3/4 in] Incl.	Thickness of Thickest Part at Point of Welding, mm [in]		
		Over 20 mm [3/4 in] to 40 mm [1-1/2 in] Incl.	Over 40 mm [1-1/2 in] to 65 mm [2-1/2 in] Incl.	Over 65 mm [2-1/2 in]
SAW; GMAW; FCAW; SMAW (M270M [M270] [A 709M (A 709)] Gr. 250 [36], 345 [50], 345W [50W], HPS 345W [HPS 50W])	10 [50]	20 [70]	65 [150]	110 [225]
SAW; GMAW; FCAW; SMAW (M270M [M270] [A 709M (A 709)] Gr. HPS 485W [HPS 70W], 690 [100], 690W [100W]) <sup>a</sup>	10 [50]	50 [125]	80 [175]	110 [225]

<sup>a</sup> See 4.2.2 for maximum preheat and interpass temperature limitations.

Note: See Annex Q and Tables 12.3, 12.4, and 12.5 for alternate preheat and interpass temperatures.

### ANEXO 3

Tabla 5.3 del código sobre las variables esenciales de un PQR para recalificar un WPS.

Table 5.3 PQR Essential Variable Changes for WPSs Qualified per 5.13.3						
Essential Variable Changes to PQR Requiring Requalification	Process					
	Shielded Metal Arc Welding (SMAW)	Submerged Arc Welding (SAW)	Gas Metal Arc Welding (GMAW)	Flux Cored Arc Welding (FCAW)	Electroslag Welding (ESW)	Electrode Gas Welding (EGW)
<b>Filler Metal</b>						
1) Addition or deletion of supplemental powdered or granular filler metal or cut wire		X				
2) Increase or decrease in the amount of supplemental powdered or granular filler metal or wire		X				
3) If the alloy content of the weld metal is largely dependent on supplemental powdered filler metal, any WPS change that results in a weld deposit with the important alloying elements not meeting the WPS chemical composition requirements		X				
4) <u>A change in the ratio of supplemental powdered, granular filler metal, or cut wire to electrode</u>		X				
<b>Electrode</b>						
5) Increase or decrease in electrode diameter by more than one standard size	X	X	X	X	X	X
6) Change in number of electrodes	X	X	X	X	X	X
7) A change in the amperage by:	To a value not recommended by the electrode manufacturer	>10% increase or decrease	>10% increase or decrease	>10% increase or decrease	>20% increase or decrease	>20% increase or decrease
8) A change in type of current (AC or DC) or polarity	X	X	X	X	X	X
9) A change in mode transfer (see 5.12 and Annex C)			X			
10) A change in the voltage by:		>7% increase or decrease	>7% increase or decrease	>7% increase or decrease		

### ANEXO 3

Tabla 5.3 del código sobre las variables esenciales de un PQR para recalificar un WPS (continuación).

Table 5.3 (Continued)						
PQR Essential Variable Changes for WPSs Qualified per 5.13.3						
Essential Variable Changes to PQR Requiring Requalification	Process					
	Shielded Metal Arc Welding (SMAW)	Submerged Arc Welding (SAW)	Gas Metal Arc Welding (GMAW)	Flux Cored Arc Welding (FCAW)	Electroslag Welding (ESW)	Electrode Gas Welding (EGW)
11) For WPSs using alloy or active fluxes, any increase in the maximum voltage		X				
12) A change in the travel speed by:		>15% increase or decrease	>10% increase or decrease	>10% increase or decrease	>20% increase or decrease <sup>b</sup>	>20% increase or decrease <sup>b</sup>
13) An increase in heat input by more than 10% or decrease of more than 30% <sup>a</sup>	X	X	X	X	X	X
<b>Gas Shielding</b>						
14) Any increase of 25% or more or decrease of 10% or more in total gas flow			X	X		X
<b>Multiple Electrode SAW</b>						
15) A change >10%, or 3 mm [1/8 in], whichever is greater, in the longitudinal spacing of the arcs		X				
16) A change of >10%, or 2 mm [1/16 in], whichever is greater, in the lateral spacing of the arcs		X				
17) An increase or decrease of more than 10° in the angular orientation of any parallel electrode		X				
18) For machine or automatic SAW, an increase or decrease of more than 3° in the direction of travel		X				
19) For machine or automatic SAW, an increase or decrease of more than 5° normal to the direction of travel		X				
<b>General</b>						
20) For the PQR groove area, an increase or decrease >25% in the number of passes <sup>a,c</sup>	X	X	X	X	X	X

### ANEXO 3

Tabla 5.3 del código sobre las variables esenciales de un PQR para recalificar un WPS (continuación).

Essential Variable Changes to PQR Requiring Requalification	Process					
	Shielded Metal Arc Welding (SMAW)	Submerged Arc Welding (SAW)	Gas Metal Arc Welding (GMAW)	Flux Cored Arc Welding (FCAW)	Electroslag Welding (ESW)	Electrogas Welding (EGW)
21) A change from a U-groove to a V-groove (but not vice versa)	X	X	X	X		
22) A change in the type of groove to a square groove and vice versa	X	X	X	X		
23) A change exceeding the tolerances of 2.1.2, 2.1.3, or 3.3.4 in the shape of any type of groove involving: (a) A decrease in the groove angle (b) A decrease in the root opening (c) An increase in the root face which will not be subsequently removed by backgouging	X	X	X	X		
24) The omission, but not inclusion, of backing or backgouging	X	X	X	X		
25) Addition or deletion of PWHT	X	X	X	X	X	X
26) For M270M [M270] (A 709M [A 709]), Gr. 690 [100], 690W [100W], increase in plate thickness greater than 12 mm [1/2 in] or decrease of 25 mm [1 in] or more	X	X	X	X		

<sup>a</sup> If the production weld groove area differs from that of the PQR groove area, the number of passes may be changed in proportion to the area without requiring WPS requalification.

<sup>b</sup> For M270M [M270] (A 709M [A 709]) Gr. 690 [100], 690W [100W], allowable heat input increase or decrease shall be limited to 10%.

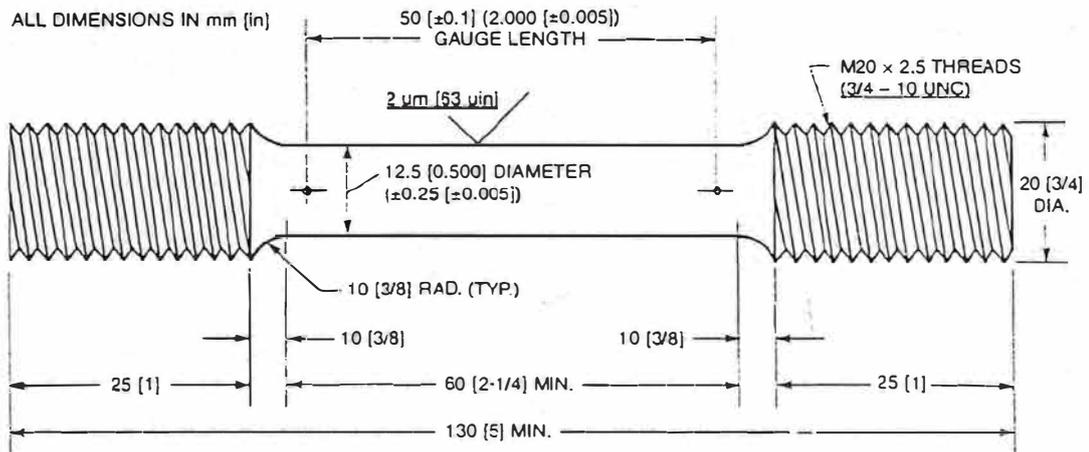
<sup>c</sup> For M270M [M270] (A 709M [A 709]) Gr. 690 [100], 690W [100W], passes any change in the number of groove weld passes requires requalification, except proportional changes to accommodate a change in weld cross-sectional area. For fillet welds in these steels, any change in the number of passes requires a fillet weld T-test per Figure 5.8 to be performed.

Notes:

1. An "X" indicates applicability for the process; a shaded block indicates nonapplicability.
2. The production welding preheat or interpass temperature may be less than the PQR preheat or interpass temperature provided that the provisions of Table 4.4 or Annex G are met.
3. Solid wire electrodes conforming to the same AWS filler metal classification may be interchanged without requalification (see Table 5.1).
4. These limitations apply for travel speed changes that are not an automatic function of arc length or deposition rate, and are not applicable when it is necessary to compensate for variation in joint opening as approved by the Engineer.
5. See 5.5.1 for additional WPS qualification requirements.

## ANEXO 4

Especímenes de los ensayos requeridos.

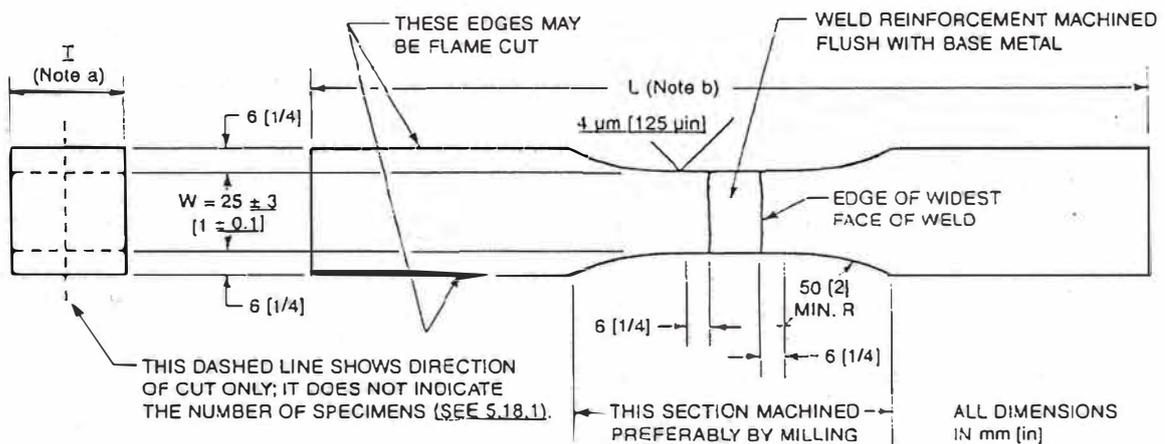


Notes:

1. The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center with the ends not more than 0.1 mm [0.005 in] larger in diameter than the center.
2. The all-weld metal tension specimen shall be taken from the center of the thickness of the weld, and from the center of the width of the weld at this location.

Figure 5.9—Standard Round All-Weld-Metal Tension Specimen (see 5.16.3)

Espécimen para el ensayo de Tracción al Metal Depositado



Notes:

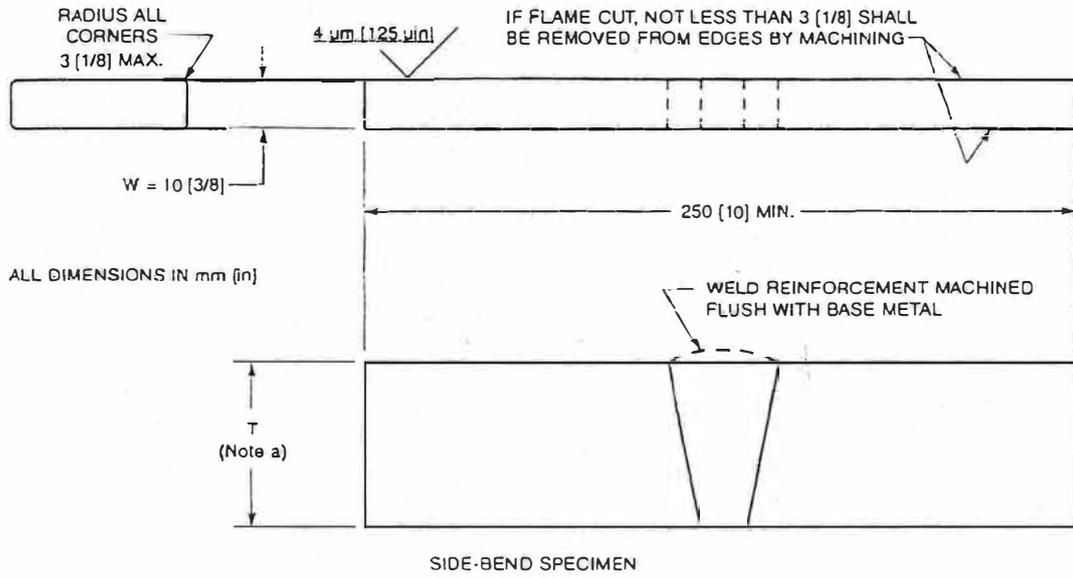
1. T depends on the thickness of test plate shown in Figure 5.1 or 5.3; see 5.6.
2. L shall be the overall length of the test specimen. The length shall be sufficient to facilitate gripping in the testing apparatus. When practicable, the specimen should extend into the grips a distance greater than or equal to 2/3 the length of the grip.
3. Weld reinforcement and steel backing, if any, shall be removed flush with the surface of the specimen.

Figure 5.10—Reduced Section Tension Specimen (see 5.16.3)

Espécimen para el ensayo de Tracción de Sección Reducida

### ANEXO 4

Especímenes de los ensayos requeridos (continuación).



<sup>a</sup> T depends on the thickness of test plate shown in Figures 5.1, 5.2, and 5.3; see 5.6. If  $T > 40$  mm [1-1/2 in], see AWS B4.0, Figure A5, Notes 1 and 2, for guidance on cutting the specimen into strips between 20 mm and 40 mm [3/4 in to 1-1/2 in] wide.

Figure 5.11—Side-Bend Specimen (see 5.16.3)

Especímen para el ensayo de Dobleza de Lado

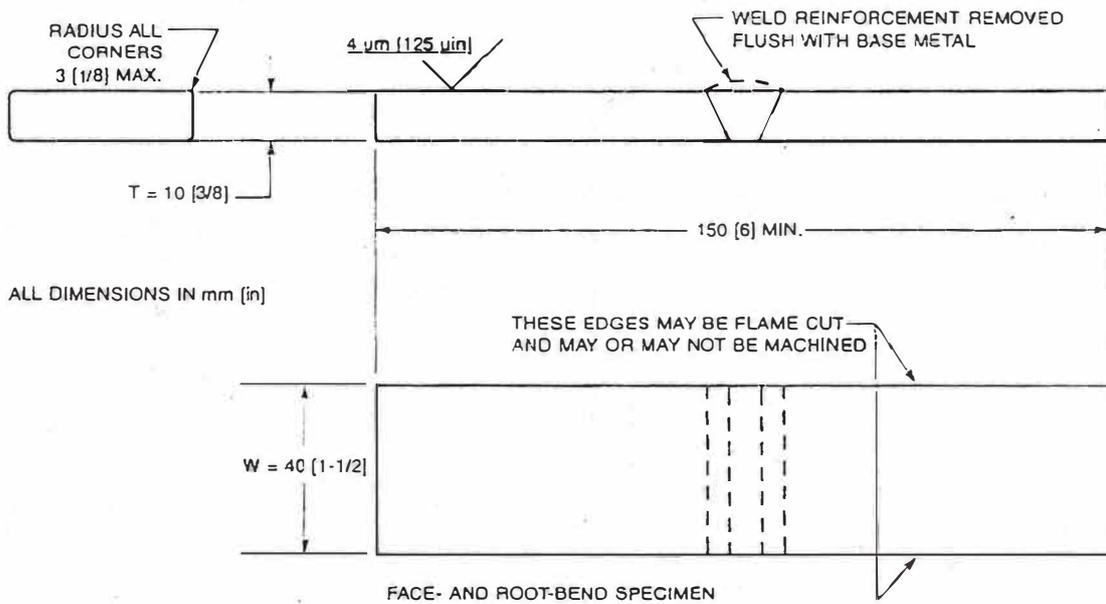
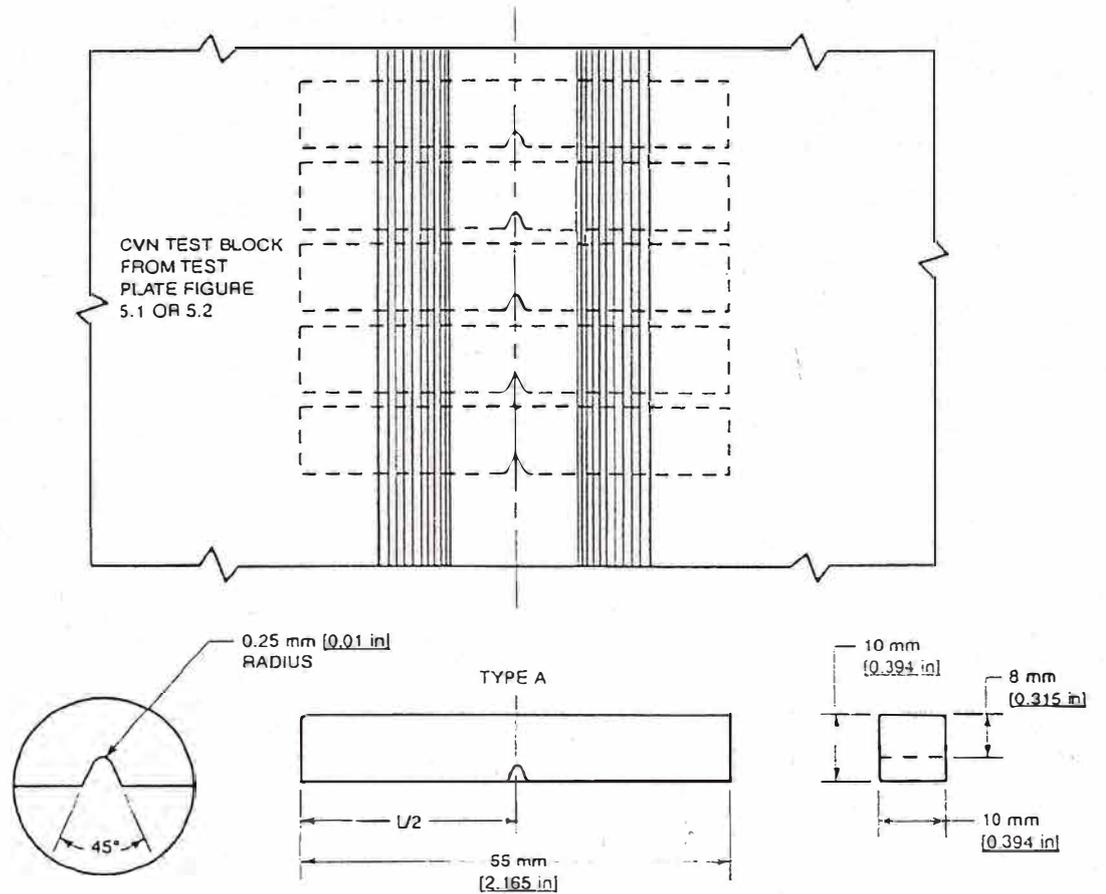


Figure 5.12—Face- and Root-Bend Specimen (see 5.16.3)

Especímen para el ensayo de Dobleza de Cara y Raíz

### ANEXO 4

Especímenes de los ensayos requeridos (continuación).



Note: Allowable variations shall be as follows:

Notch perpendicularity to edge	$90^\circ \pm 2^\circ$
Adjacent sides	$90^\circ \pm 10 \text{ min}$
Cross section dimensions	$\pm 0.075 \text{ mm}$ [ $\pm 0.003 \text{ in}$ ]
Length of specimen (L)	$\pm 0, -2.5 \text{ mm}$ [ $-0.100 \text{ in}$ ]
Centering of notch (L/2)	$\pm 1 \text{ mm}$ [0.04 in]; When an end-centering device is necessary to center the specimen in the anvil (see 8.3.2, ASTM E 23, <i>Standard Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials</i> ), it shall be necessary that the notch be accurately centered to ensure compliance with A1.10.2 (ASTM E 23)
Angle of notch	$\pm 1^\circ$
Radius of notch	$\pm 0.025 \text{ mm}$ [ $\pm 0.001 \text{ in}$ ]
Depth of notch	$\pm 0.025 \text{ mm}$ [ $\pm 0.001 \text{ in}$ ]
Finish requirements	2 $\mu\text{m}$ [53 $\mu\text{in}$ ] on notched surface and opposite face; 4 $\mu\text{m}$ [125 $\mu\text{in}$ ] on other two surfaces

Note: Five test specimens shown, eight required for ESW and EGW.

Figure 5.13—CVN Test Specimen—Type A (see 5.16.4)

Espécimen para el ensayo Charpy V-notch

## ANEXO 5

Tabla de las posiciones de prueba y rango de calificación para soldadores.

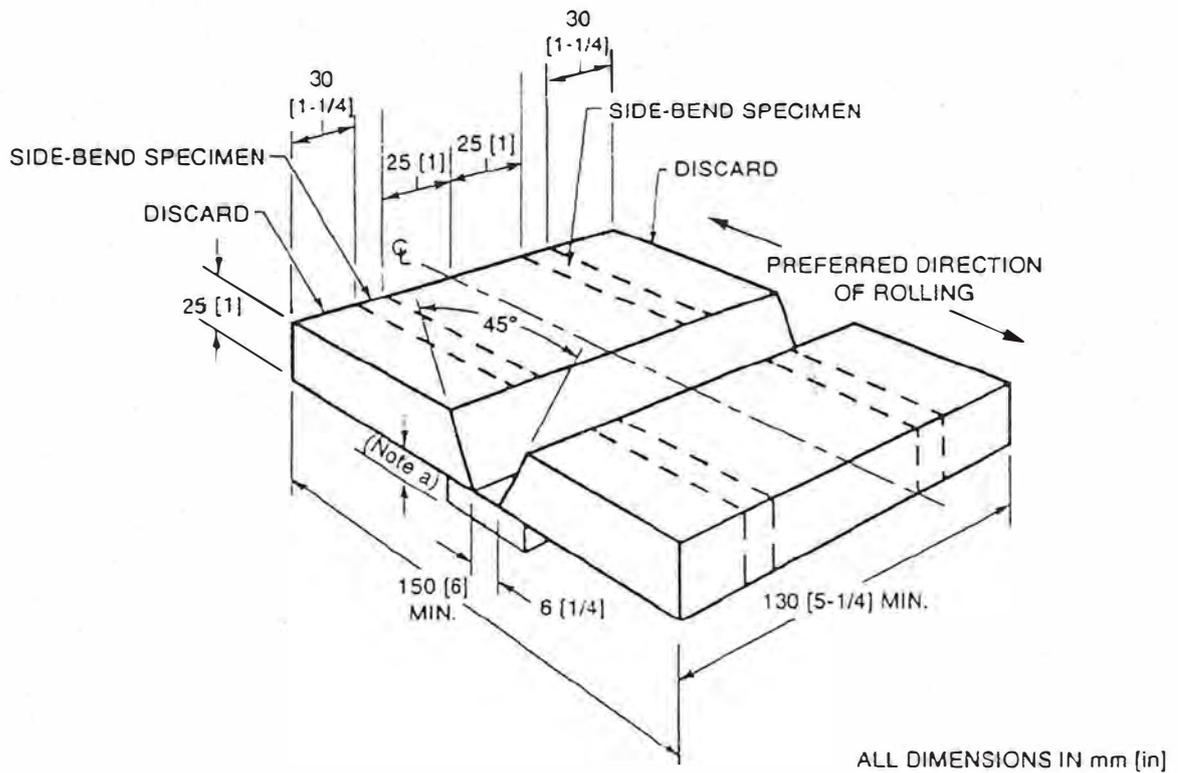
Table 5.6 Welder Qualification—Type and Position Limitations (see 5.22)			
Qualification Test		Type of Weld and Position of Welding Qualified	
		Plate	
Weird	Positions	Groove	Fillet
Plate-groove	1G	F	F, H
	2G	F, H	F, H
	3G	F, H, V	F, H, V
	4G	F, OH	F, H, OH
	3G and 4G	All	All
Plate-fillet <sup>a</sup>	1F		F
	2F		F, H
	3F		F, H, V
	4F		F, H, OH
	3F and 4F		All
Plate-Plug <sup>b</sup>	1F	F	
	3F	V	
	4F	OH	

<sup>a</sup> Not applicable for fillet welds between parts having a dihedral angle ( $\Psi$ ) of 60° or less (see 5.23.1.4).

<sup>b</sup> Applicable only to qualification of plug welds (see 5.23.1.5)

## ANEXO 6

Cupones de prueba para la calificación de soldadores.



<sup>a</sup> The backing thickness shall be 6 mm [1/4 in] min. to 10 mm [3/8 in] max.; backing width shall be 75 mm [3 in] min. when not removed for RT, otherwise 25 mm [1 in] min.

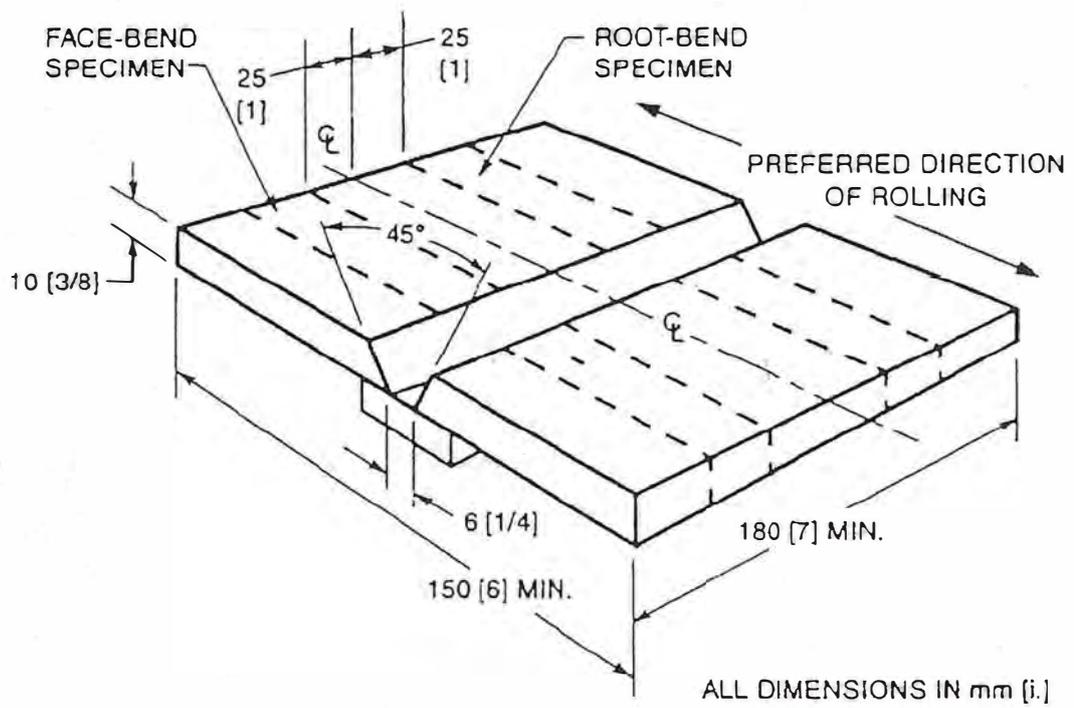
Note: When RT is used for testing, no tack welds shall be in test area.

Figure 5.17—Test Plate for Unlimited Thickness—  
Welder Qualification (see 5.23.1.2)

Cupón para calificar en espesor ilimitado

### ANEXO 6

Cupones de prueba para la calificación de soldadores (continuación).

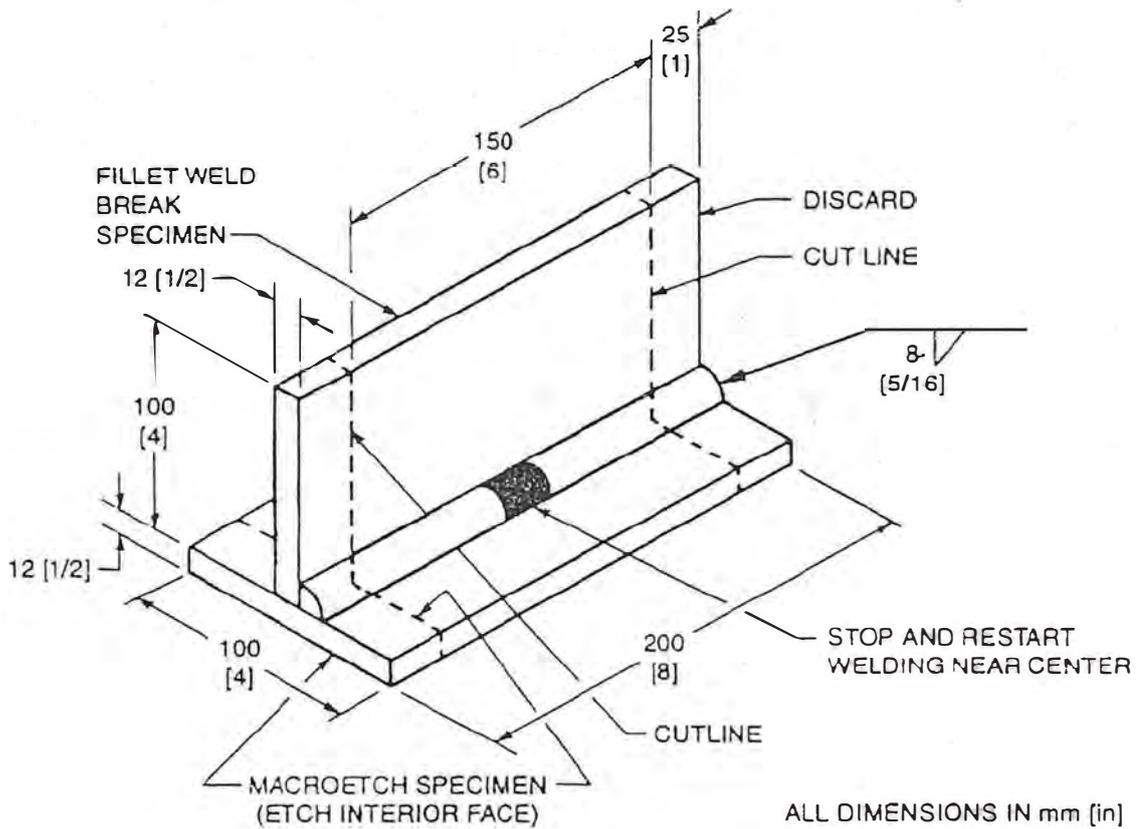


**Figure 5.19—Test Plate for Limited Thickness—All Positions—  
Welder Qualification (see 5.23.1.3)**

Cupón para calificar en espesor limitado

### ANEXO 6

Cupones de prueba para la calificación de soldadores (continuación).



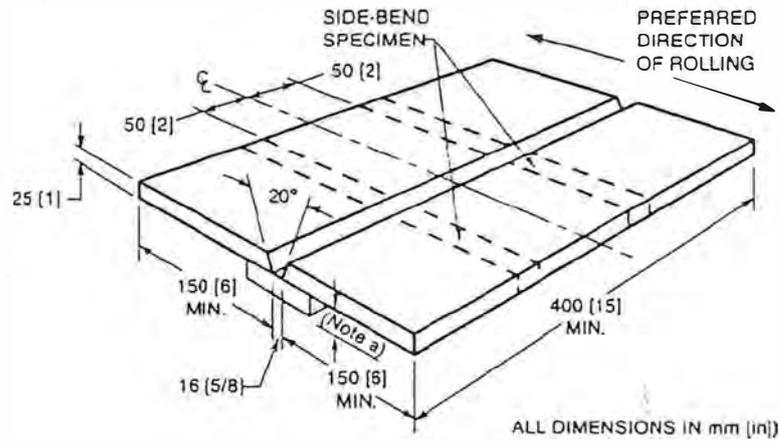
Note: Plate thickness and dimensions are minimum.

**Figure 5.21—Fillet-Weld-Break and Macroetch Test Plate—  
Welder Qualification—Option 1 (see 5.23.1.4)**

Cupón para calificar filete

## ANEXO 7

Cupones de prueba para la calificación de operadores.



<sup>a</sup> The backing thickness shall be 10 mm [3/8 in] min. to 12 mm [1/2 in] max.; backing width shall be 75 mm [3 in] min. when not removed for RT, otherwise 40 mm [1-1/2 in].

Notes:

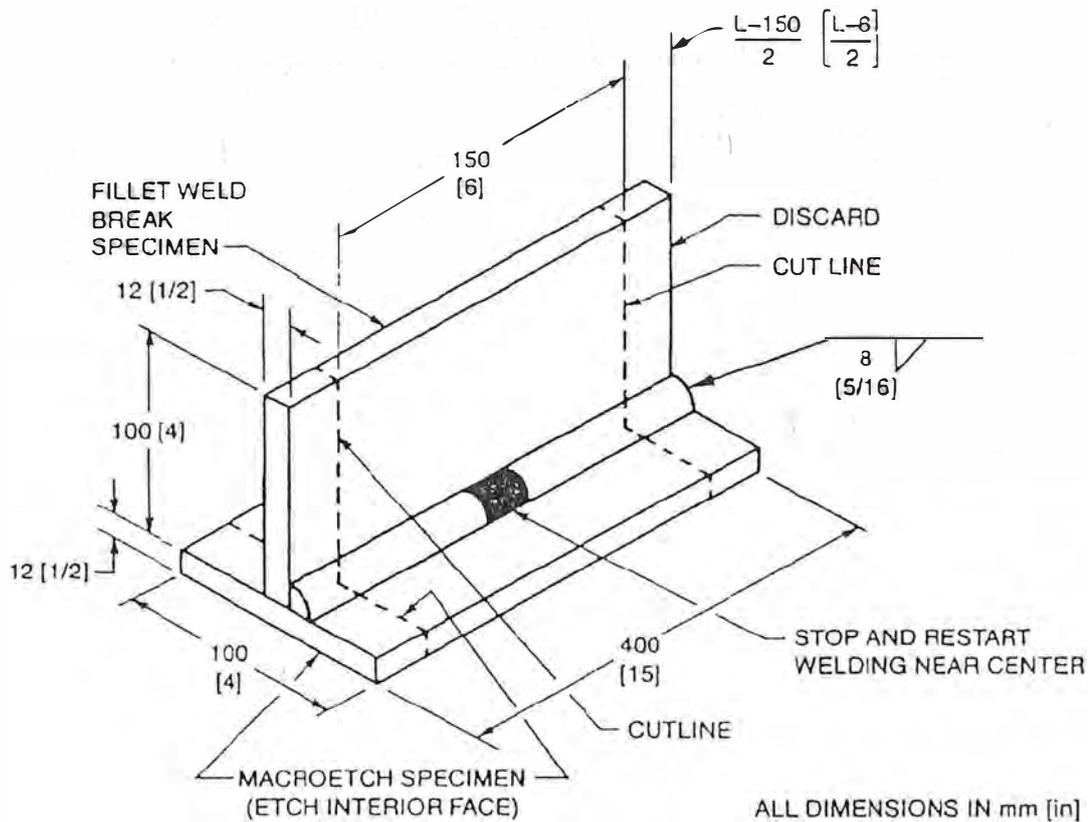
1. When RT is used for testing, no tack welds shall be in test area.
2. The joint configuration of a qualified groove WPS may be used in lieu of the groove configuration shown here.

Figure 5.24—Test Plate for Unlimited Thickness—  
Welding Operator Qualification (see 5.23.2.1)

Cupón para calificar en espesor ilimitado

### ANEXO 7

Cupones de prueba para la calificación de operadores (continuación).



Note: Plate thickness and dimensions are minimum.

**Figure 5.26—Fillet-Weld-Break and Macroetch Test Plate—  
Welding Operator Qualification—Option 1 (see 5.23.2.4)**

Cupón para calificar filete

## ANEXO 8

Tabla de requisitos para los materiales de aporte.

**Table 5.1**  
**WPS Qualification Requirements for Consumables (see 5.5.1)**

Consumables	Process					
	FCAW	SAW	GMAW	SMAW	ESW	EGW
Each AWS filler metal classification	X	X	X	X	X	X
Each manufacturer's brand and type of cored electrode	X	X	X		X	X
Each manufacturer's brand and type of flux		X			X	
Each shielding gas or combination of shielding gases*	X		X			X

\* Differences of 25% or less in the minor element of the mixture proportions shall not require separate tests.

Note: An "X" indicates applicability for the process; a shaded block indicates nonapplicability.