

Calificación de Procedimientos de Soldadura, Operadores y Soldadores en procesos SMAW y GMAW, de acuerdo al Código AWS D1.1 para Aceros Estructurales

Ma. Angélica Chan Pozo¹, Ing. Omar Serrano Valarezo²

¹ Ingeniera Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2005

² Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1973, Máster en Ingeniería Metalúrgica EEUU, Colorado School of Mines, 1980, Máster en Ingeniería de Soldadura EEUU, Ohio State University, 1990, Profesor de ESPOL desde 1973.

RESUMEN

Inicialmente, se explicará el procedimiento de calificación de soldaduras de ranura y se expondrán los tipos de ensayos de calificación establecidos por el código citado y sus respectivos criterios de aceptación.

A continuación, se calificará una soldadura de ranura en V realizada mediante el proceso de Soldadura de Arco con Electrodo Revestido, SMAW. Si dicha soldadura fuera aprobada se elaborará el respectivo Certificado de Calificación del Procedimiento y el Registro de Calificación de Soldadores y Operadores.

ABSTRACT

Initially, the procedure of qualification of groove welds will be explained and the types of qualification tests established by the mentioned code and its acceptance criteria.

Next, a groove weld made by means of the process Shielded Metal Arc Welding, SMAW, will be qualified. If this weld is approved will be elaborate the respective Procedure Qualification Record and the Welder or Welding Operator Qualification Test.

INTRODUCCIÓN

La Calificación de Soldaduras es un proceso que va tomando mayor importancia y demanda en nuestro medio, pues se requiere que las soldaduras ejecutadas –en una amplia variedad de aplicaciones de Ingeniería Mecánica- cumplan con los requisitos del Código de Calificación aplicado; para de esta forma, alcanzar en cada caso los estándares de calidad convenientes; debiéndose tener en cuenta que, dicho código debe elegirse de acuerdo al tipo de servicio que prestará la soldadura y a las características del material a soldar.

En nuestro entorno, esta es una materia de limitada propagación informativa; por ello, el objetivo de este documento es apoyar la difusión del Sistema de Calificación de soldaduras basado en los principios del Código AWS D1.1 para Aceros Estructurales, aplicado a dos procesos de amplia utilización.

CONTENIDO

1. PROCEDIMIENTO DE CALIFICACIÓN

El objetivo de la calificación de una soldadura es determinar si reúne todos los requisitos visuales, radiográficos o de ultrasonido, y mecánicos para asegurar su calidad.

1.1 Plantear el WPS

Primeramente, se construyen las Especificaciones del Procedimiento de Soldadura, WPS; tomando en consideración el tipo de proceso de soldadura, el diseño de la unión, el metal base, el metal de aporte, la protección contra la acción atmosférica, la posición de la soldadura, las características eléctricas con las cuales se suelde y la técnica para realizar el cordón; además, de

WPS

ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Nombre de la Empresa: TESIS
 Proceso(s) de soldadura: SMAW
 TIPO: MANUAL SEMIAUTOMÁTICO AUTOMÁTICO
 Soldador: **Marcos Acosta (M A)**

Identificación No.: 1
 Soporte del PQR No.: 1
 Revisión: Fecha: Por:
 Autorizado por:

DISEÑO DE UNIÓN

Tipo de Unión: a Tope
 Tipo de soldadura: Ranura en V SIMPLE DOBLE
 Abertura de Raíz: 3.2 mm Longitud de cara de Raíz: 3.2 mm
 Ángulo de ranura: 60° Radio (J/U): -
 Soporte: SI NO Material del soporte: -
 Limpieza de raíz: SI NO Método: esmeril

POSICIÓN

RANURA 3G FILETE -
 PLANCHA TUBERÍA

METALES BASE

	MB 1	MB 2
Grupo:	<u> I </u>	<u> I </u>
Especificación del Acero:	<u> ASTM A-131 </u>	<u> ASTM A-131 </u>
Grado:	<u> - </u>	<u> - </u>
Espesor de plancha:	<u> 9.5mm (3/8") </u>	<u> 9.5mm (3/8") </u>
Diámetro (tubería):	<u> - </u>	<u> - </u>

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

MODO DE TRANSFERENCIA (GMAW):

CORTO CIRCUITO
 GLOBULAR
 SPRAY
 CORRIENTE: AC DCEP
 PULSO DCEN

METAL DE APORTE

Especificación AWS: A 5.1
 Clasificación AWS: E 6011 y E7018
 Marca: INDURA
 Tamaño del electrodo: 3.2 mm

TÉCNICA

APORTACIÓN: RECTA OSCILANTE
 PASE: SIMPLE MÚLTIPLE
 Limpieza entre pases: SI NO Método: esmeril

PROTECCIÓN

Fundente: Revestimiento Gas: -
 Composición:
 Velocidad de flujo:
 Tamaño de la boquilla:

PRECALENTAMIENTO

Temperatura de precalentamiento: -
 Temperatura de interpase: -

POSTCALENTAMIENTO

Temperatura: -
 Tiempo: -

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Pase	Proceso	Progresión	Metales de Aporte		Corriente			Velocidad de alimentación del alambre (mm/min)	Velocidad de avance (mm/min)	Detalles de la Unión y Secuencia de soldadura
			Clase	Diám. (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (Amp)	Voltaje (Volt)			
1	SMAW	ASCEND.	E 6011	3.2	DCEP	105	17-19		84	
2	SMAW	DESCEN.	E 7018	3.2	DCEP	140	19-21		127	
3	SMAW	ASCEND.	E 7018	3.2	DCEP	140	19-21		64	

ELABORADO POR:

FECHA:

APROBADO POR:

COMPAÑÍA:

acuerdo al espesor del metal base se determinará si es necesario precalentamiento; para ello se han de consultar las Tablas 3.1, 3.2 y 4.1 del código y los manuales técnicos correspondientes. El postcalentamiento no se aplica en calificación de soldaduras pero sí en la producción con el fin de realizar un relevado de esfuerzos. El Formato 1 presenta el WPS de una soldadura de ranura en plancha aplicada en la construcción de cascos de embarcaciones marinas.

1.2 Ensayos de Calificación

1.2.1 Inspección Visual

Este deberá ser el primer ensayo aplicado luego de ejecutar la soldadura. Las soldaduras deberán reunir los siguientes requisitos visuales:

- 1) La soldadura deberá estar libre de grietas.
- 2) Todas las grietas deben rellenarse a través de toda la sección de la soldadura.
- 3) La cara de la soldadura deberá estar al ras con la superficie del metal base, y el cordón deberá fusionarse suavemente con el metal base. El socavamiento no deberá exceder 1mm (1/32"). El reforzamiento de la soldadura no deberá exceder de 3mm (1/8").
- 4) La raíz de la soldadura será inspeccionada y no deberá haber evidencia de grietas, fusión incompleta, o penetración inadecuada en la unión. Una raíz de superficie cóncava es permitida dentro de los límites presentados en la Tabla 6.1 del código, de manera que el espesor total de la soldadura sea igual o mayor al del metal base.

1.2.2 Ensayo No Destructivo

Será aplicado a la soldadura si ésta aprueba la Inspección Visual, el cual puede ser de Radiografía o de Ultrasonido. En este trabajo se ha utilizado el primero.

En el ensayo de Radiografía las discontinuidades redondeadas o alargadas que pudieran encontrarse se someterán a uno de los siguientes tipos de Criterios de Aceptación, los cuales podrán ser consultados en el código :

1. Criterios de Aceptación para Conexiones No Tubulares Cargadas Estáticamente
2. Criterios de Aceptación para Conexiones No Tubulares con Carga Cíclica de Tensión o Compresión, o con discontinuidades cuya dimensión mayor sea menor a 1.6 mm (1/16").
3. Criterios de Aceptación para Conexiones Tubulares

1.2.3 Ensayos Mecánicos

El tipo de ensayo destructivo por aplicarse, así como el número de probetas requeridas, se determinarán de acuerdo al espesor del metal base consultando la Tabla 4.2 del código. Estos ensayos se clasifican en:

1. Ensayo de Tensión con Sección Reducida.
2. Ensayo de Doblado: de Cara, Raíz y Lado

El Criterio de Aceptación para el ensayo de Tensión con Sección Reducida es que el esfuerzo de fluencia de las probetas ensayadas sea mayor o igual al del metal base.

El Criterio de Aceptación del Ensayo de Doblado es que la superficie convexa de los especímenes doblados deberá analizarse buscando discontinuidades que no podrán exceder las siguientes dimensiones:

- Ninguna discontinuidad deberá exceder de 3mm (1/8") medidos en cualquier dirección de la superficie.
- La suma de las dimensiones más grandes de todas las discontinuidades que excedan de 1mm (1/32") y sean menores a 3mm (1/8"), no deberá ser mayor a 10mm (3/8").
- La longitud máxima de una grieta de borde debe ser de 6mm (1/4"); excepto cuando es una grieta de borde debida a una inclusión de escoria visible u otro tipo de discontinuidad de fusión, en cuyo caso debe considerarse un tamaño máximo de 3mm (1/8").
- Los especímenes que contengan grietas de borde que excedan los 6mm (1/4") de largo y no tengan evidencia de inclusiones de escoria o cualquier otro tipo de discontinuidad de fusión deberán ser ignoradas, y tendrán que reemplazarse por probetas del mismo tipo, obtenidas de la soldadura original.

La extracción de los especímenes de prueba de una plancha o tubo soldado se realizará de acuerdo a las Figuras 4.7, 4.10 o 4.11 del código. Esta operación podrá efectuarse por corte térmico o en el caso de las planchas por medio de Cizalla. Los bordes de las probetas cortadas podrán ajustarse mediante maquinado, hasta obtener las dimensiones requeridas en las probetas para cada tipo de ensayo.

Las dimensiones de las probetas para el ensayo de Doblado y para el de Tensión con Sección Reducida se encuentran respectivamente en las Figuras 4.12 y 4.14 del código. Los especímenes deberán ser maquinados a ambos lados hasta obtener caras paralelas. En las probetas de tubos se debe reducir la mínima cantidad de material para tal efecto.

2. PROTOTIPO DE CALIFICACIÓN DE SOLDADURAS

2.1 Especificaciones del Procedimiento de Soldadura a Calificar

WPS 1: Soldadura de ranura en plancha de acero realizada mediante el proceso SMAW

Se elige este WPS para demostrar el procedimiento de calificación. El acero empleado en el WPS 1 es un ASTM A131, aplicado en la fabricación de cascos de embarcaciones. La combinación de electrodos E6011 y E7018 le dará a la soldadura buena penetración y gran resistencia respectivamente; además el electrodo E6011 tiene más resistencia a la corrosión que un E6010.

Se elige la posición de calificación 3G, ya que su aprobación sirve para aprobar también las posiciones 1G y 2G. Se consulta la Tabla 3.2 del código para definir si se necesitará precalentamiento. El WPS 1 se encuentra detallado previamente.

Análisis de los resultados obtenidos en los ensayos

En el caso de las planchas de acero ASTM A131 soldadas con SMAW (WPS 1), la Inspección Visual fue aprobada, pues el cordón de soldadura tenía buenas características. El ensayo de radiografía demostró cero defectos o inclusiones; el mismo que fue realizado en el Laboratorio de Rayos X de la FIMCP, con los siguientes parámetros:

- Distancia fuente-placa: 36 pulg.
- 160 Kvolts
- 3 mAmp x 5 min
- Tramos AB y BC

En el Ensayo de Tensión con Sección Reducida la ruptura de las probetas se realizó fuera del cordón de soldadura (Fig.1) y el esfuerzo de fluencia alcanzado en cada probeta (44.1 y 38.1 ksi respectivamente) fue mayor al del metal base ASTM A131 ($E_y = 34$ ksi).

El Ensayo de Doblado Guiado fue aprobado, ya que no hubieron grietas en las probetas de Doblado de Cara (Fig.2); y en las de doblado de raíz solo hubieron dos, una de 3mm y otra de 2mm, únicamente en una de ellas. Por consiguiente, no exceden el máximo tamaño permitido individual de 3mm, ni la suma de ellas es mayor a 10 mm. Los ensayos mecánicos fueron realizados en el Laboratorio de Sólidos de la FIMCP.

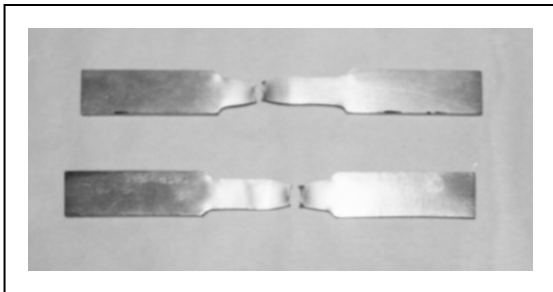


FIG.1 PROBETAS DE TENSIÓN CON SECCIÓN REDUCIDA

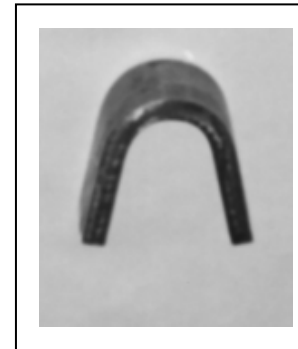


FIG.2 PROBETA DE DOBLADO GUIADO DEL WPS 1

Debido a que este WPS aprobó todos los ensayos de calificación se expidió su respectivo Certificado de Calificación del Procedimiento (PQR) y el Registro de Calificación de Soldadores y Operadores (WPQ) para el soldador que efectuó dicho procedimiento; los cuales se adjuntan a continuación.

PQR**CERTIFICADO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO**

Nombre de la Empresa: TESIS
 Proceso(s) de soldadura: SMAW
 TIPO: MANUAL SEMIAUTOMÁTICO AUTOMÁTICO
 Soldador: **Marcos Acosta (M A)**

Identificación No.: 1
 Basado en el WPS No.: 1
 Revisión: _____ Fecha: _____ Por: _____
 Autorizado por: _____

DISEÑO DE UNIÓN

Tipo de Unión: a Tope
 Tipo de soldadura: Ranura en V SIMPLE DOBLE
 Abertura de Raíz: 3.2 mm Longitud de cara de Raíz: 3.2 mm
 Ángulo de ranura: 60° Radio (J/U): -
 Soporte: SI NO Material del soporte: -
 Limpieza de raíz: SI NO Método: esmeril

METALES BASE

	MB 1	MB 2
Grupo:	<u>I</u>	<u>I</u>
Especificación del Acero:	<u>ASTM A-131</u>	<u>ASTM A-131</u>
Grado:	<u>-</u>	<u>-</u>
Espesor de plancha:	<u>9.5mm (3/8")</u>	<u>9.5mm (3/8")</u>
Diámetro (tubería):	<u>-</u>	<u>-</u>

METAL DE APORTE

Especificación AWS: A 5.1
 Clasificación AWS: E 6011 y E7018
 Marca: INDURA
 Tamaño del electrodo: 3.2 mm

PROTECCIÓN

Fundente: Revestimiento Gas: -
 Composición: _____
 Velocidad de flujo: _____
 Tamaño de la boquilla: _____

POSICIÓN

RANURA 3G FILETE -
 PLANCHA TUBERÍA

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS**MODO DE TRANSFERENCIA (GMAW):**

CORTO CIRCUITO
 GLOBULAR
 SPRAY
 CORRIENTE: AC DCEP
 PULSO DCEN

TÉCNICA

APORTACIÓN: RECTA OSCILANTE
 PASE: SIMPLE MÚLTIPLE
 Limpieza entre pases: SI NO Método: esmeril

PRECALENTAMIENTO

Temperatura de precalentamiento: -
 Temperatura de interpase: -

POSTCALENTAMIENTO

Temperatura: -
 Tiempo: -

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Pase	Proceso	Progresión	Metales de Aporte		Corriente			Velocidad de alimentación del alambre (mm/min)	Velocidad de avance (mm/min)	Detalles de la Unión y Secuencia de soldadura
			Clase	Diám. (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (Amp)	Voltaje (Volt)			
1	SMAW	ASCEND.	E 6011	3.2	DCEP	105	17-19		84	
2	SMAW	DESCEN.	E 7018	3.2	DCEP	140	19-21		127	
3	SMAW	ASCEND.	E 7018	3.2	DCEP	140	19-21		64	

ELABORADO POR: _____

FECHA: _____

APROBADO POR: _____

COMPAÑÍA: _____

ENSAYO DE TENSIÓN

PROBETA No.	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	ÁREA SECCIÓN (mm ²)	CARGA DE FLUENCIA (Kg)	ESFUERZO DE FLUENCIA ESPECIMEN (ksi)	ESFUERZO DE FLUENCIA DEL METAL BASE (ksi)	LOCALIZACIÓN DE LA ROTURA
1	20.8	8.3	172.2	4620	38.1	34	FUERA DE LA SOLDADURA
2	20.2	7.7	155.5	4820	44.1	34	FUERA DE LA SOLDADURA

ENSAYO DE DOBLADO GUIADO

TIPO	RESULTADO	TIPO	RESULTADO
Transversal de Cara	APROBADO	Transversal de Raíz	APROBADO
Transversal de Cara	APROBADO	Transversal de Raíz	APROBADO

ENSAYO DE TENACIDAD

PROBETA No.	UBICACIÓN ENTALLA	TIPO DE ENTALLA	TEMPERATURA DE ENSAYO	VALOR DE IMPACTO	EXPANSIÓN LATERAL % CORTE/ MILS	ENSAYO DE CAÍDA DE PESO	
						ROTA	NO ROTA
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—

INSPECCIÓN VISUAL

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

APARIENCIA	ACEPTABLE	ENSAYO DE RADIOGRAFÍA	
SOCAVAMIENTO	NINGUNO	RESULTADO: APROBADO	Fecha de ensayo: Mayo/02
POROSIDAD GRANDE	NINGUNA	INSPECCIONADO POR:	M.A.C.
CONVEXIDAD	NINGUNA	ENSAYO DE ULTRASONIDO	
FECHA DE ENSAYO:	Abril 2002	RESULTADO: —	Fecha de ensayo:
INSPECCIONADO POR:	M.A.C.	INSPECCIONADO POR:	

NOMBRE DEL SOLDADOR: Marcos Acosta (M.A) Identidad No.: _____

ENSAYOS CONDUCIDOS POR: _____ Ensayo de Laboratorio No.: _____

Certificamos que el contenido de este informe es correcto y que las pruebas de soldadura han sido preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos del Código AWS D1.1 para Aceros Estructurales, Sección 4.

ELABORADO POR: _____ APROBADO POR: _____ FECHA: _____

W PQ

REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE SOLDADORES Y OPERADORES

Nombre de la Empresa: TESIS
 Nombre del soldador: MARCOS ACOSTA Ident. # _____
 Proceso de soldadura usado: SMAW Tipo: -
 WPS No.: 1 PQR No.: 1
 Material Base soldado: ASTM A-131 ESPESOR: 9.5 mm (3/8")

VARIABLES DE CADA PROCESO

VALORES ACTUALES RANGO CALIFICADO

RESPALDO SI NO
 AWS Grupo # 1 a AWS Grupo # 1
 Especif. Acero: ASTM A-131 Especif. Acero: ASTM A-131
 PLANCHA TUBO (Diámetro) _____
 Especificación AWS metal de Aporte: A 5.1 Clasif: E 6011 - E7018
 Espesor del Depósito en cada Pase: _____
 Posición de Soldadura: _____
 Progresión (Ascendente/Descendente): _____
 Gas de Protección para GMAW: _____
 Modo de Transferencia para GMAW: _____
 Tipo de Corriente y Polaridad: _____

VARIABLES DE MÁQUINA DE SOLDAR PARA EL PROCESO UTILIZADO

Control Visual Directo o Remoto: _____
 Avance Automático: _____
 Posición de Soldadura: _____
 RESPALDO SI NO

RESULTADOS DEL ENSAYO DE TENSIÓN

PROBETA No.	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	ÁREA SECCIÓN (mm ²)	CARGA DE FLUENCIA (Kg)	ESFUERZO DE FLUENCIA ESPECIMEN (ksi)	ESFUERZO DE FLUENCIA DEL METAL BASE (ksi)	LOCALIZACIÓN DE LA ROTURA
1	20.8	8.3	172.2	4620	38.1	34	FUERA DE LA SOLDADURA
2	20.2	7.7	155.5	4820	44.1	34	FUERA DE LA SOLDADURA

RESULTADOS DEL ENSAYO DE DOBLADO GUIADO

TIPO	RESULTADO	TIPO	RESULTADO
Transversal de Cara	APROBADO	Transversal de Raíz	APROBADO
Transversal de Cara	APROBADO	Transversal de Raíz	APROBADO

RESULTADO DE LA PRUEBA RADIOGRÁFICA: APROBADA E. DE RADIOGRAFÍA CONDUCTO POR: Sr. Marco Rojano

RESULTADO DEL ENSAYO DE ULTRASONIDO: _____

PRUEBA DE MACRO FUSIÓN: _____ LONGITUD DE CATETO: _____ CONCAVIDAD/CONVEXIDAD _____

PRUEBA DE SOLDADURA CONDUCTA POR: Ma. Angélica Chan ENSAYOS MECÁNICOS CONDUCTOS POR: Tecn. Víctor Guadalupe

Prueba de Laboratorio No.: _____

Certificamos que el contenido de este informe es correcto y que las pruebas de soldadura han sido preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos del Código AWS D1.1 para Aceros Estructurales, Sección 4.

ELABORADO POR: _____ APROBADO POR: _____ FECHA: _____

CONCLUSIONES

Los procedimientos de soldadura realizados con SMAW en la tesis, tanto en plancha como en tubería, aprobaron todos los ensayos de calificación. Este resultado determina que dichos procedimientos serán aptos para aplicarse en la producción. Además, el soldador correspondiente quedó calificado para ejecutarlos en la obra. Debe destacarse que una acertada y exhaustiva limpieza de raíz y entre pases eliminó la escoria provocada durante estos procesos, y ello fue la clave para el éxito de su calificación.

Los procedimientos realizados con GMAW en plancha y tubería tuvieron la falla más relevante en el ensayo de doblado de raíz; por consiguiente, fueron rechazados. Esta situación llevó a buscar el origen de dichas fallas. Analizando los WPS respectivos se halla una incongruencia entre el tamaño del electrodo y la abertura de raíz, lo cual originaría una difícil fusión entre los metales base y por ende porosidad y socavamiento.

Originalmente, en los procedimientos a realizar con GMAW se planteó una abertura de raíz de 1.6mm (1/16 pulg.) aplicable con el tamaño de electrodo disponible de 1.2 mm, pero al preparar la unión cada maestro aplicó su propio criterio, proveniente de experiencias anteriores. En consecuencia, se recomienda acogerse rigurosamente a los diseños de un procedimiento de soldadura, ya que un cambio en uno de los parámetros del WPS puede dar paso a una falla en la soldadura.

La importancia de esta investigación reside en dar a conocer, con ejemplos reales, los pasos básicos a seguir en la calificación de soldaduras; con el fin de difundir su aplicación y hacer más segura todo tipo de construcción soldada. Además, plantea ejemplos de WPS que han calificado y de otros que no han reunido los requerimientos necesarios para hacerlo, destacándose que la responsabilidad de efectuar una calificación de soldaduras debe llevarse a cabo con total responsabilidad e imparcialidad. Así mismo, este trabajo estimula al lector a investigar sobre la calificación de otros tipos de soldaduras y la aplicación de otros códigos de calificación.

REFERENCIAS

1. American Welding Society (AWS), Structural Welding Code – Steel ANSI/AWS D1.1, AWS, 16ta. ed., Miami, 1998

Ing. Omar Serrano V.
DIRECTOR DE TESIS