

**DISEÑO Y CALIFICACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PARA
EL PROCESO SMAW DE ACUERDO AL CODIGO ASME SECCION IX EN LA
EMPRESA ESTACO S.A**

YORLEY ESEQUIEL GARCÍA URREA

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERIA MECÁNICA
MEDELLÍN
2015**

**DISEÑO Y CALIFICACION DE UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PARA
EL PROCESO SMAW DE ACUERDO AL CODIGO ASME SECCION IX EN LA
EMPRESA ESTACO S.A**

YORLEY ESEQUIEL GARCÍA URREA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

**ASESORA
KAREN CACUA MADERO
MAGÍSTER EN INGENIERÍA**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERIA MECÁNICA
MEDELLÍN
2015**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Medellín, 22 de Noviembre de 2015

DEDICATORIA

“Cuando Dios quiere iluminar tu vida, él pone estrellas a tu alrededor en forma de personas y depende únicamente de ti si las dejas apagar o que brillen para siempre”.

El presente proyecto va dedicado en primera instancia a mis padres que DIOS los tiene en su gloria, a mis hermanos que con su lucha inagotable han hecho posible que mi vida sea exitosa, a Miguel Ángel (mi hijo) el cual ha sido un motivo para dar grandes pasos y a mis amigos que han estado presente con un apoyo incondicional durante todo el proceso.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme la existencia en este mundo, por haberme brindado la oportunidad de estudiar en esta institución, de igual forma, mis más sinceros agradecimientos a todos los profesores que compartieron sus conocimientos sin ningún tipo de egoísmo en el transcurso de toda la carrera con la firme convicción de que el amor al estudio y al trabajo, es la única pasión eterna.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	15
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
3. JUSTIFICACIÓN.....	17
4. OBJETIVOS.....	19
4.1 GENERAL.....	19
4.2 ESPECÍFICOS	19
5. MARCO TEÓRICO.....	20
5.1 PRESENTACION DE LA EMPRESA ESTACO S.A.....	20
5.2 PROCESO DE SOLDADURA	21
5.3 SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO (SMAW)	21
5.4 PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.....	36
5.4.1 Componentes de un procedimiento de soldadura	37
5.4.2 Variables esenciales del WPS	37
5.4.3 Registro de la calificación del procedimiento (PQR)	38
6. METODOLOGÍA	39
6.1 ELABORACION DEL WPS.....	39
6.2 ELABORACION DEL CUPON DE PRUEBA	49
6.3 PRUEBAS MECÁNICAS.....	52
6.3.1 Prueba de tensión sección reducida	53
6.3.2 Pruebas de dobléz guiado	55
7. CONCLUSIONES	58
8. ANEXOS	59
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Elementos del proceso de soldadura SMAW	23
Figura 2. Sistema de clasificación del electrodo	24
Figura 3. Equipo de Soldadura por Arco con Electrodo Revestido	29
Figura 4. Curva de Voltaje – Amperaje para una Fuente de Corriente Constante	31
Figura 5. Campo Magnético Alrededor de un Conductor	34
Figura 6. Campos Magnéticos Distorsionados en los Extremos de la Soldadura	34
Figura 7. Diseño de junta para el cupón de prueba	50

LISTADO DE IMÁGENES

		Pág.
Imagen 1.	Formato QW-482 – datos generales del WPS	39
Imagen 2.	Variables del WPS para el proceso SMAW	40
Imagen 3.	Formato QW-482 – diseño de la junta	41
Imagen 4.	Asignación del número P	41
Imagen 5.	Límites de espesor calificado y cantidad de muestras para la calificación del procedimiento	43
Imagen 6.	Formato QW-482 – material base	43
Imagen 7.	Formato QW-482 – material de aporte	44
Imagen 8.	Clasificación y numero F para el electrodo E7018	45
Imagen 9.	Numero A para acero de bajo contenido de carbono	45
Imagen 10.	Formato QW-482 – posición, precalentamiento, tratamiento térmico después de la soldadura y gases de protección	46
Imagen 11.	Formato QW-482 – características eléctricas	47
Imagen 12.	Posiciones de prueba para calificación del WPS	48
Imagen 13.	Formato QW-482 – datos de la técnica a utilizar en el proceso	49
Imagen 14 y 15.	Preparación del cupón de prueba	50
Imagen 16 a 19.	Control de variables eléctricas	51
Imagen 20.	Localización de muestras	53
Imagen 21.	Dimensiones de especímenes prueba de tensión sección reducida	54
Imagen 22.	Dimensiones de la prueba de dobles guiado	56
Imagen 23.	Dimensiones de especímenes para doblez de cara y de raíz	57

LISTADO DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Significado del ultimo digito de la identificación de SMAW	27
Tabla 2.	Sufijos de Aceros Aleados para Electrodo SMAW	28
Tabla 3.	Amperaje y voltaje según el diámetro del electrodo y la posición	47

LISTADO DE ANEXOS

		Pág.
Anexo 1.	Especificación del procedimiento de soldadura (WPS)	59
Anexo 2.	Informe de ensayos mecánicos realizados al WPS	62
Anexo 3.	Registro calificación del procedimiento (PQR)	71
Anexo 4.	Certificado de material base y material de aporte	72

GLOSARIO

ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS): Es un documento que proporciona las variables de soldadura para una aplicación específica para asegurar la repetitividad por soldadores debidamente capacitados y por operadores de soldadura.

REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR): Es un registro de calificación que respalda al WPS, en él se prescriben si las técnicas utilizadas en el proceso dieron cumplimiento con las propiedades mecánicas requeridas para el material base y de aporte especificados.¹

SOLDADURA: El término “soldadura”, de acuerdo con AWS, es “una coalescencia localizada de metales o no metales producida tanto por calentamiento de los metales a la temperatura de soldadura, con o sin la aplicación de presión, o por la aplicación de presión solamente y con o sin el uso de material de aporte.” Coalescencia significa “unidos uno a otro entre sí”. Por esa razón la soldadura se refiere a las operaciones usadas para llevar a cabo esta operación de unión. Esta sección presentará importantes características de algunos de los procesos de soldadura más comunes, todos los cuales emplean el uso del calor sin presión.²

¹ Referencia tomada de: Soldaduras West Arco. Procedimientos de soldadura para estructuras metálicas de acero. Recuperado el (01 de octubre de 2015) disponible en: <http://www.andi.com.co/cf/Documents/Procedimientos%20de%20Soldadura%20para%20Estructuras%20Met%C3%A1licas%20de%20Acero.pdf>

² Referencia tomada de: AWS QC1, Norma para la certificación de inspectores de soldaduras AWS, modulo procesos de unión y corte. Edición 2007.

SOLDADOR: Persona que realiza la soldadura.

SOLDADOR CALIFICADO: Es un soldador que ha demostrado su habilidad para producir soldaduras que cumplan con los requisitos de alguna norma específica mediante ensayos no destructivos y destructivos.

CUPÓN DE PRUEBA: Platina o tubo en el cual se realiza la calificación del procedimiento de soldadura-

ESPECÍMENES DE PRUEBA: Muestras extraídas del cupón de prueba para realizar el ensayo de tensión y el de dobléz guiado.

RESUMEN

Este trabajo está basado en el diseño de un procedimiento de soldadura (WPS) en el cual se establecieron todas las variables esenciales necesarias para garantizar soldaduras de calidad y conformes al código ASME SECCION IX, entre estas variables se encuentra el proceso de soldadura, el diseño de la junta a soldar, material base, material de aporte, amperaje, voltaje, limpieza, entre otros.

Posterior al diseño del wps, se realizó la probeta de soldadura y se calificó por medio de ensayos destructivos y no destructivos como inspección visual, pruebas de tracción y pruebas de doblado guiado. Finalmente se verificó el procedimiento para definir su uso en soldaduras de producción.

El trabajo se realizó en la empresa ESTACO S.A: empresa metalmeccánica dedicada al diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas, silos, tanques, entre otros.

Palabras Claves:

Diseño, calificación, WPS, SMAW, ensayo destructivo, soldadura, probeta.

ABSTRACT

This work is based on the design of a welding procedure (WPS) in which it will lay down all the essential variables necessary to ensure quality welds and in accordance with the ASME Code, section IX, between these variables is the welding process, the design of the joint to be welded, base material, filler material, amperage, voltage, cleaning, among others.

Back to the design of the WPS, performs the test piece of welding and is qualified by means of destructive and nondestructive testing as visual inspection, traction tests and evidence of duplicity guidance, in order to conclude whether the procedure is suitable for use in production welding.

The work is done in the company ESTACO S.A: Metalworking Company dedicated to the design, manufacture and assembly of metal structures, silos, tanks, among others.

Key Words:

Design, qualification, WPS, SMAW, destructive test, welding, measuring cylinder.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente se vive en un mundo en el cual se hace necesario garantizar el control y aseguramiento de los productos terminados por medio de códigos y normas nacionales e internacionales.

Los códigos, especificaciones y procedimientos de soldadura son recomendados para su aplicación en las industrias metalmecánicas afines con la tecnología de soldadura, dado que garantizan confiabilidad y aseguramiento en un producto terminado, con óptima calidad debido a sus exigencias tecnológicas y son la documentación básica que rige y guía la práctica de soldadura aplicable para:

- Fabricar productos soldados que cumplan con la calidad y seguridad del trabajador requerida.
- Suministrar una real y razonable protección a la vida, la propiedad y el medio ambiente.³

³ Referencia tomada de: Enrique E. Niebles y William G. Arnedo. Procedimientos de Soldadura y Calificación de Soldadores: una Propuesta de Enseñanza y Guía de Aplicación para la Industria. Universidad Autónoma del Caribe, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Mecánica. Barranquilla-Colombia. 2009. Recuperado el (15 de Septiembre de 2015) disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v20n3/art04.pdf>.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El diseño de un procedimiento de soldadura radica en que el inspector tiene conocimiento de la norma con la cual se va a realizar ciertos proyectos de fabricación y montaje de estructuras metálicas como cubiertas, antenas, tanques, silos, entre otras. Basado en esto, se plantea el procedimiento en base a la norma y recomendaciones del fabricante de los metales de aporte para los diferentes materiales base y procesos.

AWS D1.1 2010 “Structural Welding Code Steel” es un código de referencia para este tipo de estructuras que dentro de su marco estructural contiene WPS precalificados, es decir que no se requiere calificarlos para su utilización en la producción de soldaduras de fabricación de estructuras, solo se hace necesario calificarlos cuando se sale de los rangos establecidos en ellos.

Cuando se requiere fabricar tanques inclusive a presiones atmosféricas el código API 650 2013 “Welded Tanks For Oil Storage” exige que todos sus procedimientos sean calificados para comprobar que cumpla con los requerimientos de diseño de las uniones soldadas, para esto el código remite a ASME SECCION IX “Welding, Brazing, and Fusing Qualifications” (norma de calificación de procedimientos de soldadura y uniones fuertes, soldadores, brazer y operadores de soldaduras y uniones fuertes).

3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, uno de los métodos más importantes para la unión de piezas y conjuntos metálicos en las industrias que aportan al producto interno bruto y adelanto en infraestructura de países desarrollados y en vías de desarrollo es la soldadura y sus tecnologías. Es responsabilidad de las empresas fabricantes de productos soldados comprobar que la calidad de sus productos esté acorde con los requerimientos del cliente y lo establecido en códigos y especificaciones de soldadura.

Elaborar procedimientos de soldadura calificados es necesario para garantizar la calidad de los productos obtenidos mediante este método. Un primer paso es la elaboración procedimientos de soldadura que permitan garantizar la compatibilidad del metal de soldadura depositado con el metal base utilizado y calificando a sus soldadores y apuntaladores acorde con el procedimiento de soldadura calificado. La evaluación de los soldadores es muy importante para la empresa, dado que permite garantizar el desarrollo de uniones soldadas de alta calidad y además da garantía, buen nombre y confiabilidad a la empresa como al soldador, responsables de la aplicación de soldadura.⁴

⁴ Referencia tomada de: Enrique E. Niebles y William G. Arnedo. Procedimientos de Soldadura y Calificación de Soldadores: una Propuesta de Enseñanza y Guía de Aplicación para la Industria. Universidad Autónoma del Caribe, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Mecánica. Barranquilla-Colombia. 2009. Recuperado el (15 de Septiembre de 2015) disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v20n3/art04.pdf>

La empresa ESTACO S.A está comprometida en la fabricación de tanques y recipientes a presión y para garantizar la calidad de sus procesos y productos, los cuales involucran procesos de soldadura, se hace necesario la elaboración de un WPS que permitan lograr este objetivo.

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Diseñar y cualificar por medio de ensayos destructivos un procedimiento de soldadura SMAW para el material ASTM A 572 Gr 50 de acuerdo al código ASME SECCION IX 2013.

4.2 ESPECÍFICOS

- Diseñar el WPS con sus variables esenciales.
- Preparar la probeta de soldadura aplicando el procedimiento diseñado.
- Verificar por medio de ensayos no destructivos la calidad de la soldadura.
- Realizar pruebas de doblez guiado y tracción para verificar si el procedimiento es adecuado para utilizarlo en soldaduras de producción.
- Elaborar el PQR (registro de calificación de procedimiento) que sustente la validez del procedimiento.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 PRESENTACION DE LA EMPRESA ESTACO S.A

Estaco S.A. es una empresa metalmecánica fundada en Medellín Colombia, el 7 de mayo de 1975, dedicada al diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas.

Durante sus años de trayectoria, Estaco S.A. ha tenido participación en importantes proyectos de infraestructura, instalando más de 100.000 toneladas de acero desde su fundación. Entre sus principales obras se encuentra: puentes edificio Bancolombia, coliseos plaza mayor, techo de la plaza de toros la macarena y muchas obras más importantes para la ciudad y el país.

Es una empresa que diseña, fabrica y distribuye productos metalmecánicos acordes con los códigos y reglamentaciones, garantizando a sus clientes una máxima satisfacción, todo mediante la asignación y manejo eficiente de los recursos, el cumplimiento de los requisitos legales y de otra índole, el cumplimiento de los tiempos de entrega; apoyados en la experiencia y la selección del talento humano.

5.2 PROCESO DE SOLDADURA

El término “soldadura”, de acuerdo con AWS, es “una coalescencia localizada de metales o no metales producida tanto por calentamiento de los metales a la temperatura de soldadura, con o sin la aplicación de presión, o por la aplicación de presión solamente y con o sin el uso de material de aporte.” Coalescencia significa “unidos uno a otro entre sí”. Por esa razón la soldadura se refiere a las operaciones usadas para llevar a cabo esta operación de unión. Esta sección presentará importantes características de algunos de los procesos de soldadura más comunes, todos los cuales emplean el uso del calor sin presión.

5.3 SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO (SMAW)

A continuación relaciono información extraída de AWS QC1, Norma para la certificación de inspectores de soldaduras AWS, modulo procesos de unión y corte. Edición 2007:

El proceso de soldadura SMAW opera mediante el calentamiento del metal con un arco eléctrico entre un electrodo de metal recubierto y los metales a ser unidos. La Figura 1 muestra los distintos elementos del proceso de soldadura por arco con electrodo revestido.

En la Figura 1 se muestra que el arco es creado entre el electrodo y la pieza de trabajo debido al flujo de electricidad. Este arco provee calor, o energía, para fundir el metal base, metal de aporte y recubrimiento del electrodo. A medida que el arco de soldadura avanza hacia la derecha, deja detrás metal de soldadura solidificado cubierto por una capa de fundente convertido, conocido como escoria. Esta escoria tiende a flotar fuera del metal debido a que solidifica después que el metal fundido haya solidificado, entonces hay menos posibilidad que sea atrapada dentro de la zona de soldadura resultando una inclusión de escoria.

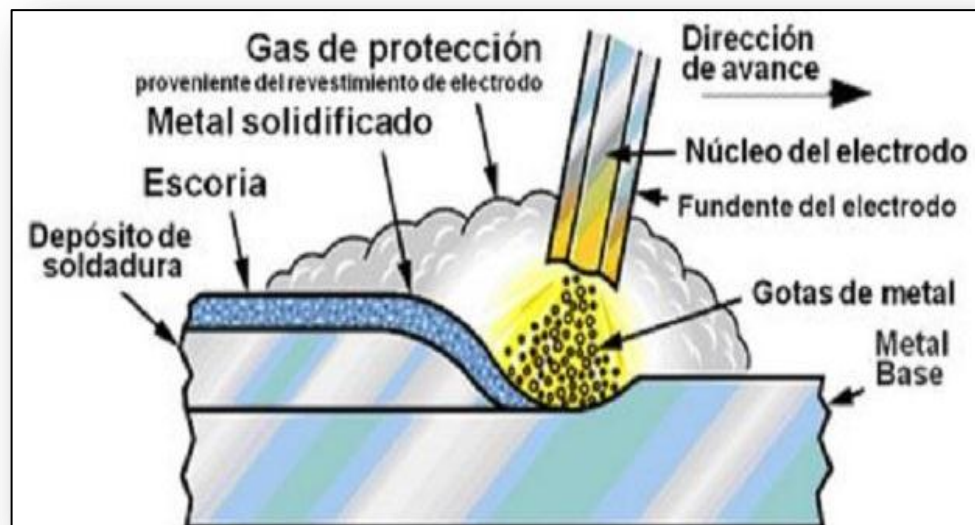
Otra característica que es de notar en la Figura 1 es la presencia de gas de protección, el cual es producido cuando el recubrimiento del electrodo es calentado y se descompone. Estos gases ayudan al fundente en la protección del metal fundido en la región del arco.

El elemento principal en el proceso de soldadura por arco con electrodo revestido es el electrodo en sí mismo. Está hecho de un núcleo de metal sólido, alambre, cubierto con una capa de fundente granular que se mantiene en el lugar por algún tipo de agente aglutinante. Todos los electrodos de acero al carbono y baja aleación usan esencialmente el mismo tipo de alambre de núcleo de acero, de bajo carbono, acero efervescente. Cualquier aleación es provista por el recubrimiento, debido a que es más económico agregar aleantes de esta manera.

El recubrimiento del electrodo es la característica que clasifica a los distintos tipos de electrodos. Realmente sirven para cinco funciones diversas.

- Protección: el recubrimiento se descompone para formar una protección gaseosa para el metal fundido.
- Desoxidación: el recubrimiento provee una acción de flujo para remover el oxígeno y otros gases atmosféricos.
- Aleante: el recubrimiento provee elementos aleantes adicionales para el depósito de soldadura.
- Ionización: el recubrimiento mejora las características eléctricas para incrementar la estabilidad del arco.
- Aislación: la escoria solidificada provee una cobertura de aislación para disminuir la velocidad de enfriamiento del metal (el efecto menos importante).

Figura 1. Elementos del proceso de soldadura SMAW⁵.



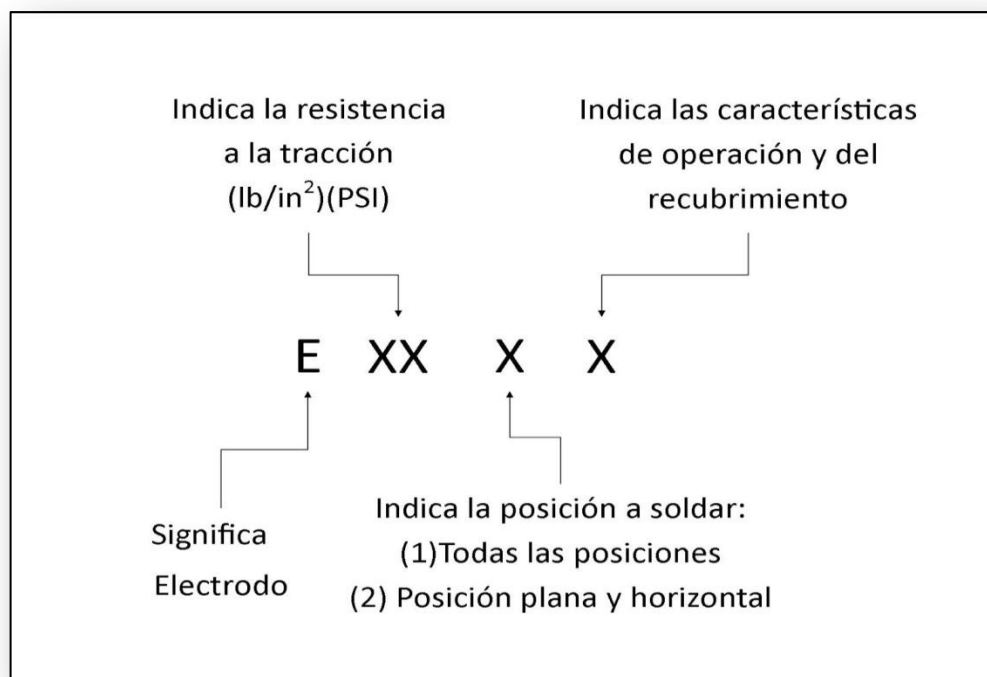
Debido a que el electrodo es una característica tan importante del proceso de soldadura por arco con electrodo revestido, es necesario entender cómo se clasifican e identifican los distintos tipos. La American Welding Society ha

⁵Fuente: <https://corralesespinoza.wordpress.com/2014/05/29/sistema-de-soldeo/>.

desarrollado un sistema para la identificación de los electrodos de soldadura por arco con electrodo revestido. La Figura 2 ilustra las distintas partes de este sistema.

Las Especificaciones de la American Welding Society A5.1 y A5.5 describen los requerimientos para los electrodos de acero al carbono y de baja aleación respectivamente. Describen las distintas clasificaciones y características de esos electrodos.

Figura 2. Sistema de clasificación del electrodo.⁶



6

Fuente:
https://www.google.com.co/search?q=sistema+de+clasificacion+de+los+electrodos&biw=1366&bih=667&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMIwNmj8O2dyQIVyy0mCh2I_gW8&dpr=1#imgrc=88KwEPbM4B5UAM%3A

Se establece que para electrodo la identificación consiste de una “E”, seguida por cuatro o cinco dígitos. Los primeros dos o tres números se refieren a la mínima resistencia a la tracción del metal de soldadura depositado. Esos números expresan la resistencia mínima a la tracción en miles de libras por pulgada cuadrada. Por ejemplo, “70” significa que la resistencia del metal soldadura depositado es al menos 70000 psi.

Los números siguientes se refieren a las posiciones en las cuales el electrodo puede ser usado. Un “1” indica un electrodo que es apto para ser usado en cualquier posición. Un “2” indica que el metal fundido es tan fluido que el electrodo sólo puede ser usado en las posiciones plana o filete horizontal. Un “4” significa que el electrodo es apto para soldar en progresión descendente. El número “3” no está asignado.

El último número describe otras características que son determinadas por la composición del revestimiento presente en el electrodo. Este recubrimiento determinará las características de operación y corriente eléctrica recomendada: AC (corriente alterna), DCEP (corriente continua, electrodo positivo), DCEN (corriente continua, electrodo negativo). La Tabla 1. enumera el significado del último dígito del sistema de identificación de electrodos SMAW.

Es importante notar que aquellos electrodos que terminan en “5”, “6” u “8” se clasifican como del tipo de “bajo hidrógeno”. Para mantener este bajo contenido de hidrógeno (humedad), deben ser almacenados en su envase original de fabricación o en un horno de almacenamiento aceptable. Este horno debe ser de calentamiento eléctrico y debe tener una capacidad de control de temperatura en un rango de 150 a 350 °F. Debido a que este dispositivo ayuda a mantener el bajo

contenido de humedad (menor al 0,2%), debe ser ventilado en forma adecuada. Cualquier tipo de electrodo de bajo hidrógeno que no será usado inmediatamente deberá ser colocado en el horno de mantenimiento, tan pronto como su contenedor hermético sea abierto. La mayor parte de los códigos requieren que los electrodos de bajo hidrógeno sean mantenidos a una temperatura mínima del horno de 120 °C (250 °F) luego de ser quitados del contenedor sellado correspondiente.

De todas formas, es importante notar que los electrodos distintos a los arriba mencionados pueden dañarse si son colocados en el horno. Algunos tipos de electrodos son diseñados para tener algún nivel de humedad. Si esta humedad es eliminada, las características de operación del electrodo serán significativamente deterioradas.

Tabla 1. Significado del ultimo dígito de la identificación de SMAW.⁷

Clasificación	Corriente	Arco	Penetración	Revestimiento y Escoria	Polvo de Hierro
F3 EXX10	DCEP	Enérgico	Profunda	Celulosa-sodio	0 - 10 %
F3 EXXX1	AC y DCEP	Enérgico	Profunda	Celulosa - potasio	0 %
F2 EXXX2	AC y DCEN	Medio	Media	Rutílico - sodio	0 - 10 %
F2 EXXX3	AC y DC	Suave	Baja	Rutílico - potasio	0 - 10 %
F2 EXXX4	AC y DC	Suave	Baja	Rutílico - polvo de hierro	25 - 40 %
F4 EXXX5	DCEP	Medio	Media	Bajo hidrógeno - sodio	0 - 10 %
F4 EXXX6	AC o DCEP	Medio	Media	Bajo hidrógeno - potasio	0 %
F4 EXXX8	AC o DCEP	Medio	Media	Bajo hidrógeno - polvo de hierro	25 - 45 %
F1 EXX20	AC o DC	Medio	Media	Óxido de hierro - sodio	0 %
F1 EXX24	AC o DC	Suave	Baja	Rutílico - polvo de hierro	50 %
F1 EXX27	AC o DC	Medio	Media	Óxido de hierro - polvo de hierro	50 %
F1 EXX28	AC o DCEP	Medio	Media	Bajo hidrógeno - polvo de hierro	50 %

Nota: El porcentaje de polvo de hierro está basado en el peso del revestimiento.

Los electrodos SMAW usados para unir aceros de baja aleación deben tener un sufijo alfanumérico, el que se agrega a la designación estándar después de un guión. La Tabla 2 muestra el significado de esas designaciones.

⁷ Fuente: AWS QC1, Norma para la certificación de inspectores de soldaduras AWS, modulo procesos de unión y corte. Edición 2007.

Tabla 2. Sufijos de Aceros Aleados para Electrodo SMAW.⁸

Sufijo	Principal(es) Elemento(s) de Aleación
A1	0.5% Molibdeno
B1	0.5% Molibdeno – 0.5% Cromo
B2	0.5% Molibdeno – 1.25% Cromo
B3	1.0% Molibdeno – 2.25% Cromo
B4	0.5% Molibdeno – 2.0% Cromo
C1	2.5% Níquel
C2	3.5% Níquel
C3	1.0% Níquel
D1	0.3% Molibdeno – 1.5% Manganeso
D2	0.3% Molibdeno – 1.75% Manganeso
G*	0.2% Molibdeno, 0.3% Cromo, 0.5% Níquel; 1.0% Manganeso; 0.1% Vanadio
*Necesita tener mínimo contenido de un solo elemento.	

El equipo para soldadura por arco con electrodo revestido es relativamente simple, como se puede ver en la Figura 3. Un borne de la fuente de potencia es conectado a la pieza a ser soldada y el borne opuesto va a la pinza porta de electrodo en la cual el soldador ubica el electrodo a ser consumido. El electrodo y el metal base son fundidos por el calor producido por el arco eléctrico de soldadura creado entre la punta del electrodo y la pieza de trabajo cuando son llevados cerca uno del otro.

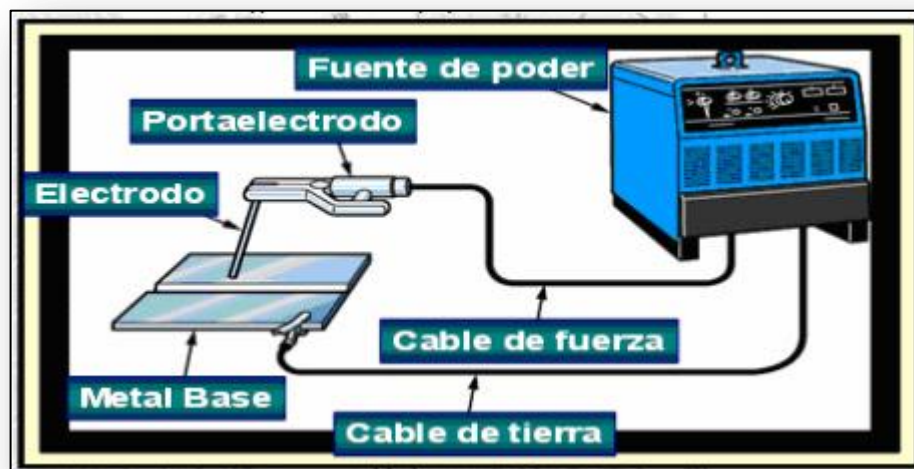
La fuente de potencia para la soldadura por arco con electrodo revestido es tomada como una fuente de suministro de corriente constante, que tiene una característica descendente. Esta terminología puede ser más fácilmente

⁸ Fuente: AWS QC1, Norma para la certificación de inspectores de soldaduras AWS, modulo procesos de unión y corte. Edición 2007.

comprendida observando la curva característica voltaje-amperaje (V-A) de este tipo de fuente de potencia.

Como se puede ver en las curvas típicas voltaje-amperaje de la Figura 4, un decrecimiento en el voltaje del arco dará como resultado un incremento correspondiente en la corriente del arco. Esto es significativo desde el punto de vista del control de proceso, porque el voltaje del arco está directamente relacionado con la longitud del arco (distancia del electrodo a la pieza de trabajo). Esto es, en la medida que el soldador mueve el electrodo acercándolo o alejándolo de la pieza de trabajo, el voltaje del arco está realmente disminuyendo o aumentando, respectivamente.

Figura 3. Equipo de Soldadura por Arco con Electrodo Revestido.⁹



Este cambio de voltaje está relacionado con cambios en la corriente del arco, o la cantidad de calor que se crea por el arco de soldadura. Entonces, cuando el

⁹ Fuente: <http://carlossaiz.blogspot.com.co/2013/03/uniones-soldadas-clasificacion-smaw-y.html>.

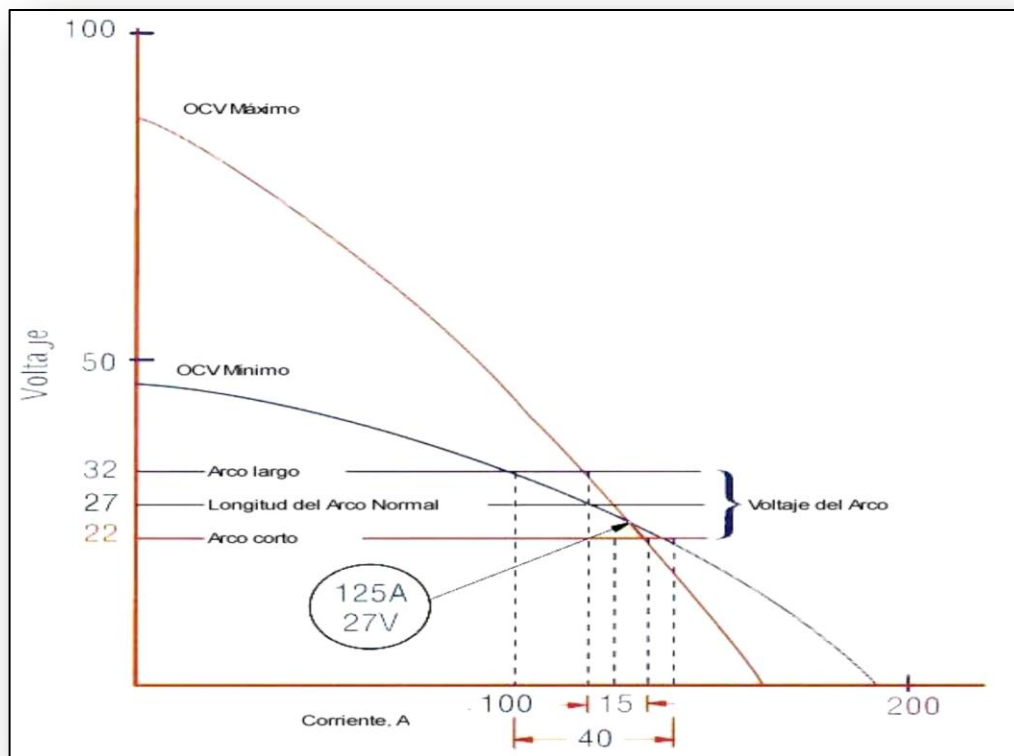
El soldador aleja el electrodo de la pieza de trabajo, se incrementa la longitud del arco que reduce la corriente, y en consecuencia, reduce el calor introducido a la soldadura. Un arco de soldadura más corto resulta en una mayor corriente del arco, y entonces se incrementa el calentamiento. Por esto, a pesar que hay un control en la corriente de la máquina de soldar, el soldador tiene cierta capacidad de alterar la corriente del arco, manipulando el electrodo para obtener longitudes de arco mayores o menores.

La Figura 4 también ilustra como dos curvas V-A diferentes pueden producir distintas respuestas de corriente. Porque la curva más baja tiene menor inclinación que la superior, se obtiene un cambio mayor de la corriente del arco para una longitud de arco dada (voltaje). Las fuentes de potencia modernas tienen controles que varían el voltaje del circuito abierto (OCV) y la inclinación para producir una corriente de soldadura que tenga un buen control del operador y una magnitud apropiada.

La soldadura por arco con electrodo revestido es usada en la mayoría de las empresas para numerosas aplicaciones. Es usada para la mayoría de los materiales a excepción de algunas aleaciones más exóticas.

A pesar que es un método relativamente antiguo y procesos más nuevos lo han reemplazado en algunas aplicaciones, la soldadura por arco con electrodo revestido se mantiene como un proceso popular que continuará siendo muy usado por la industria de la soldadura.

Figura 4. Curva de Voltaje – Amperaje para una Fuente de Corriente Constante.¹⁰



Hay varias razones por las que este proceso continúa siendo tan popular. Primero, el equipamiento es relativamente simple y económico. Esto ayuda a hacer el proceso muy portátil. En efecto, hay numerosos que tienen potencia de motores de combustión interna (diesel o naftero), los que no dependen de una fuente eléctrica externa, por esto, la soldadura por arco con electrodo revestido puede ser llevada a cabo en ubicaciones remotas. También, algunas de las fuentes de potencia más nuevas en estado sólido, son tan pequeñas y de bajo peso que pueden ser llevadas por el soldador hasta el trabajo. Y debido a la numerosa disponibilidad de tipos de electrodos, el proceso es considerado muy versátil.

¹⁰ Fuente: AWS QC1, Norma para la certificación de inspectores de soldaduras AWS, modulo procesos de unión y corte. Edición 2007.

Finalmente, con los equipos y electrodos mejorados que se pueden conseguir hoy en día, la calidad de la soldadura puede ser consistentemente alta.

Una de las limitaciones de la soldadura por arco con electrodo revestido es la velocidad. La velocidad es afectada negativamente por el hecho que el soldador debe detener periódicamente la soldadura y reemplazar el electrodo consumido con uno nuevo, debido a que tienen una longitud típica de no más que 355 a 460 mm(14 a 18 in.) SMAW fue reemplazado por otros procesos semiautomáticos, mecánicos o automáticos en muchas aplicaciones, simplemente porque ofrecen una mayor productividad cuando son comparados con la soldadura por arco con electrodo revestido manual.

Otra desventaja, que también afecta a la productividad, es el hecho que luego de la soldadura, hay una capa de escoria solidificada que debe ser removida. Otra limitación, cuando se usan electrodos de bajo hidrógeno, es que requieren almacenamiento en un horno de mantenimiento apropiado, que ayudará a mantener el bajo nivel de humedad de estos.

Ahora que los principios básicos fueron presentados, es momento de discutir algunas de las discontinuidades que resultan durante el proceso de soldadura por arco con electrodo revestido. Mientras que éstas no son las únicas discontinuidades que podemos esperar, pueden resultar debido a una mala aplicación de este proceso en particular.

Uno de esos problemas es la presencia de porosidad en la soldadura terminada. Cuando se encuentra porosidad, es normalmente el resultado de la presencia de humedad o contaminación en la región de soldadura. Puede estar presente en el recubrimiento del electrodo, o en la superficie del material, o proveniente de la atmósfera que rodea la operación de soldadura. La porosidad puede ocurrir también cuando el soldador usa una longitud de arco demasiado grande.

Este problema de arco largo es especialmente probable cuando se usan electrodos de bajo hidrógeno. Por esto, se prefiere el uso de una menor longitud de arco que no solo aumenta la cantidad de calor producido, sino también ayuda a la eliminación de la porosidad en el metal de soldadura.

La porosidad puede resultar por la presencia de un fenómeno conocido como soplo de arco. A pesar de que este fenómeno ocurre en cualquier proceso de soldadura por arco, será discutido aquí debido a que es un problema común que molesta a los soldadores manuales.

Para entender el soplo de arco, se debe entender que hay un campo magnético que se desarrolla siempre que pasa una corriente eléctrica por el conductor. Este campo magnético es perpendicular a la dirección de la corriente eléctrica, y puede visualizarse como una serie de círculos concéntricos que rodean al conductor, como se muestra en la Figura 5.

Este campo magnético es más fuerte cuando es enteramente contenido dentro de un material magnético. En consecuencia, cuando se suelda un material magnético, como el acero, el campo puede ser distorsionado cuando el arco se aproxime al extremo de una chapa, el final de una soldadura o algún cambio brusco en el contorno (perfil) de la parte que está siendo soldada. Esto se muestra en la Figura 6.

Figura 5. Campo Magnético Alrededor de un Conductor.¹¹

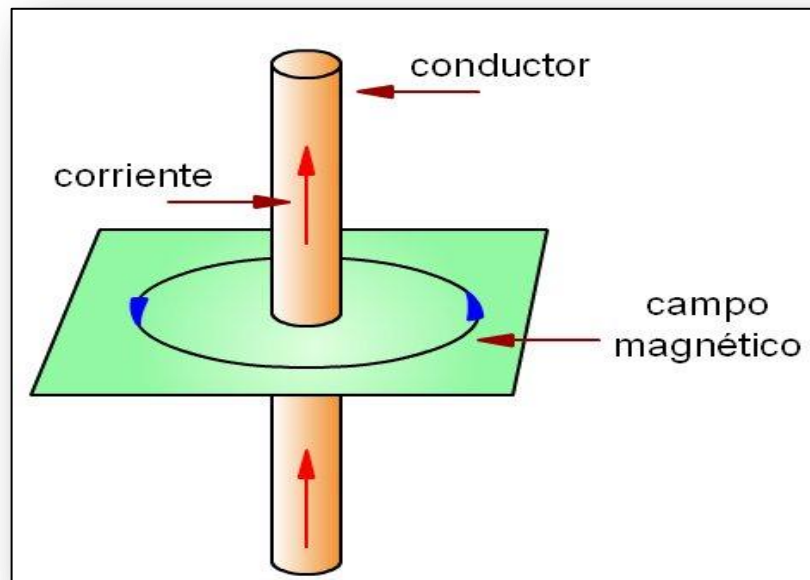
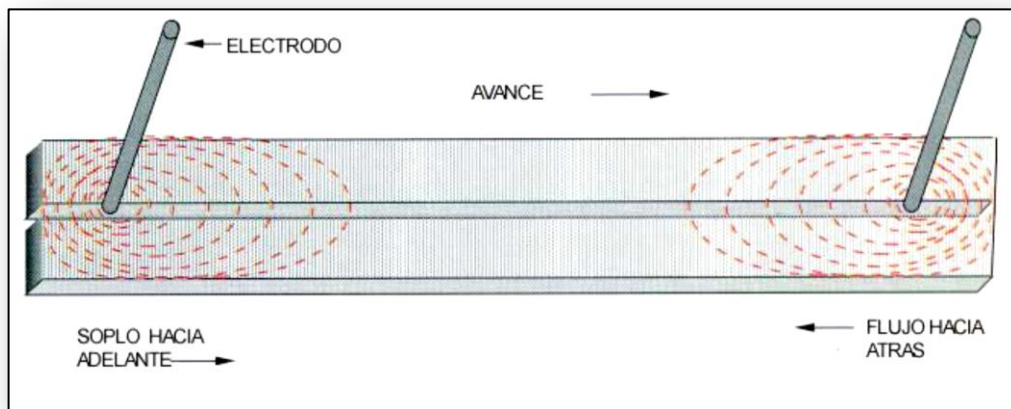


Figura 6. Campos Magnéticos Distorsionados en los Extremos de la Soldadura.¹²



Para reducir los efectos del soplo de arco, se pueden probar algunas alternativas. Estas incluyen:

¹¹ Fuente: http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_magnetismo_3/magnetismo_indice.html.

¹² Fuente: AWS QC1, Norma para la certificación de inspectores de soldaduras AWS, modulo procesos de unión y corte. Edición 2007.

- Cambiar de DC a AC.
- Mantener un arco tan corto como sea posible.
- Reducir la corriente de soldadura.
- El ángulo del electrodo en dirección opuesta al sopleo de arco.
- Usar soldadura de punteo importante en cada extremo de la junta, con soldaduras de punteo intermitentes a lo largo de la junta.
- Soldar a través de la soldadura de punteo o de la soldadura terminada
- Usar técnica de paso peregrino.
- Soldar apartado de tierra para reducir el sopleo hacia atrás; soldar sobre tierra para reducir el sopleo hacia adelante.
- Conectar a tierra la pieza de trabajo en ambos extremos de la junta a ser soldada.
- Enrollar el cable de tierra alrededor de la pieza de trabajo y pasar la corriente a tierra en la dirección tal que la disposición del campo magnético tenderá a neutralizar el campo magnético que causa el sopleo de arco.
- Extender el final de la junta fijándole placas en la salida de la soldadura.

Sumado a la porosidad el sopleo de arco, puede causar también salpicaduras, socavación, perfil de soldadura inapropiado, y penetración disminuida.

Con SMAW pueden ocurrir inclusiones de escoria simplemente porque este se basa en un sistema de fundentes para la protección de la soldadura. Con cualquier proceso que incorpora fundentes, es relevante la posibilidad que quede atrapada escoria dentro del depósito de soldadura. El soldador puede reducir ésta tendencia usando técnicas que permiten a la escoria fundida fluir libremente a la superficie del metal. Una profunda limpieza de la escoria de cada pasada previa a las pasadas adicionales también reducirá la frecuencia de los casos de inclusiones de escoria en soldaduras de pasadas múltiples.

Debido a que la soldadura por arco con electrodo revestido es realizada principalmente en forma manual, pueden producirse numerosas discontinuidades por una manipulación inapropiada del electrodo. Algunas de estas son, fusión incompleta, socavación, solapado, tamaño de soldadura incorrecto, y perfil de soldadura inapropiado.

5.4 PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Los reportes y certificaciones de calificación en soldadura son declaraciones de las empresas de que los procedimientos de soldadura y el personal han sido probados de acuerdo con el estándar de soldadura aplicable y que han sido encontrados aceptables.

La mayoría de los códigos y especificaciones delegan la responsabilidad de la obtención de las calificaciones en manos del fabricante o el contratista.

Es un documento preparado por un departamento técnico o de ingeniería de la empresa para dar instrucciones precisas al personal que ejecuta y al que inspecciona las uniones soldadas. El propósito de una WPS es definir y documentar todos los detalles que se deben tener en cuenta al soldar materiales o partes específicas.

Paulatinamente los fabricantes y contratistas se han dado cuenta de que la calificación de procedimientos y soldadores genera ahorros porque, cuando el personal y los métodos de fabricación han sido probados, es menos probable que haya costos excesivos causados por rechazos de uniones soldadas y, por consiguiente, demoras en la entrega de los proyectos.

5.4.1 Componentes de un procedimiento de soldadura

Su contenido debe estar de acuerdo con:

- Los requerimientos aplicables de los estándares.
- Las exigencias del contrato u orden de compra.
- Las buenas prácticas de ingeniería.
- Todas las variables esenciales, relativas a cada proceso de soldadura utilizado.
- Todas las variables no esenciales, relativas a cada proceso de soldadura utilizado.
- Información adicional que se considere necesaria para obtener las uniones soldadas deseadas.

5.4.2 Variables esenciales del WPS

- Identificación de la WPS, de la empresa y del responsable de la WPS.
- Alcance.
- Identificación de los metales base: Especificación, tipo y/o grado.
- Proceso (s) de soldadura utilizado (s).
- Diseño de la juntas, tolerancias y detalles.
- Tipo, clasificación y composición de los metales de aporte y otros materiales de soldadura. También se pueden incluir las condiciones de almacenamiento de estos materiales.
- Posiciones en las cuales es aplicable el procedimiento.
- Pre calentamiento y temperaturas entre capas.
- PWHT.

- Tipo y composición de los gases de protección, cuando sea aplicable.
- Tipo de corriente eléctrica, polaridad y rangos de corriente para los diferentes tipos y tamaños de electrodos o varillas utilizadas.
- Voltaje y velocidad de avance del arco.
- Otras características eléctricas (tipo de transferencia, velocidad de alimentación del alambre, etc.).
- Preparación de las juntas y limpieza de las superficies para la aplicación.
- Puntos de soldadura para armado y ensamble de las partes.
- Preparación de la raíz del metal de soldadura antes de soldar por el otro lado.
- Entrada de calor a la junta.
- Otras como: tipo de cordón, boquillas de gas, oscilación, distancia de contacto del electrodo, simple o múltiples pases de soldadura, martillado de las juntas, y otros aspectos que se consideren relevantes.

5.4.3 Registro de la calificación del procedimiento (PQR)

Documento que valida y respalda una WPS, en el cual se registran:

- los valores reales de las variables del procedimiento de soldadura usado para ejecutar una calificación en una probeta soldada (cupón de prueba). Los valores de los resultados obtenidos de las pruebas y ensayos efectuados a la misma.¹³

¹³Referencia tomada de: Soldaduras West Arco. Procedimientos de soldadura para estructuras metálicas de acero. De la página 37 a la 39. Recuperado el (01 de octubre de 2015) disponible en: <http://www.andi.com.co/cf/Documents/Procedimientos%20de%20Soldadura%20para%20Estructuras%20Met%C3%A1licas%20de%20Acero.pdf>.

6. METODOLOGÍA

6.1 ELABORACION DEL WPS

Para la elaboración del WPS se utilizó el formato QW-482, es un formato sugerido por ASME SECCION IX en el cual se listan todas las variables para su elaboración. Ver Imagen 1.

Se toma como guía la tabla QW-253 (ver Imagen 2) en el cual se listan todas las variables para el proceso SMAW. En esta tabla encontraremos variables esenciales que si aplican para el proceso no se podrán omitir porque podrán influir en las propiedades mecánicas de los conjuntos soldados, variables suplementarias que son una adición a la variable esencial para cada proceso de soldadura y las variables no esenciales que no afectarán las propiedades mecánicas como el diseño de la junta, entre otras.

Imagen 1. Formato QW-482 – datos generales del WPS.

FORM QW-482 SUGGESTED FORMAT FOR WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS) (See QW-200.1, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)			
Organization Name	<u>Estaco S.A</u>	By	<u>Yorley Garcia</u>
Welding Procedure Specification No.	<u>P-15-30</u>	Date	<u>07-10-2015</u>
		Supporting PQR No.(s)	<u>PQR -15 - 30</u>
Revision No.	_____	Date	_____
Welding Process(es)	<u>Shielded Metal Arc Welding (SMAW)</u>	Type(s)	<u>Manual</u>
			<small>(Automatic, Manual, Machine, or Semi-Automatic)</small>

Imagen 2. Variables del WPS para el proceso SMAW.

Welding Variables Procedure Specifications (WPS) — Shielded Metal-Arc Welding (SMAW)				
Paragraph	Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
QW-402 Joints	.1	φ Groove design		X
	.4	- Backing		X
	.10	φ Root spacing		X
	.11	± Retainers		X
QW-403 Base Metals	.5	φ Group Number		X
	.6	T Limits impact		X
	.8	φ T Qualified	X	
	.9	t Pass > 1/2 in. (13 mm)	X	
	.11	φ P-No. qualified	X	
QW-404 Filler Metals	.4	φ F-Number	X	
	.5	φ A-Number	X	
	.6	φ Diameter		X
	.7	φ Diameter > 1/4 in. (6 mm)		X
	.12	φ Classification		X
	.30	φ t	X	
QW-405 Positions	.33	φ Classification		X
	.1	+ Position		X
	.2	φ Position		X
QW-406 Preheat	.3	φ ↑↓ Vertical welding		X
	.1	Decrease > 100°F (55°C)	X	
	.2	φ Preheat maint.		X
QW-407 PWHT	.3	Increase > 100°F (55°C) (IP)		X
	.1	φ PWHT	X	
	.2	φ PWHT (T & T range)		X
QW-409 Electrical Characteristics	.4	T Limits	X	
	.1	> Heat input		X
	.4	φ Current or polarity		X
QW-410 Technique	.8	φ I & E range		X
	.1	φ String/weave		X
	.5	φ Method cleaning		X
	.6	φ Method back gouge		X
	.9	φ Multiple to single pass/side		X
	.25	φ Manual or automatic		X
	.26	± Peening		X
.64	Use of thermal processes	X		

Legend:
 + Addition > Increase/greater than ↑ Uphill ← Forehand φ Change
 - Deletion < Decrease/less than ↓ Downhill → Backhand

La siguiente sección del WPS se refiere al diseño de la junta (ver Imagen 3). Como se detalla en la Imagen 2, para este proceso es una variable no esencial, por lo tanto no afectará las propiedades mecánicas de las uniones soldadas.

Imagen 3. Formato QW-482 – diseño de la junta.

JOINTS (QW-402)	Details
Joint Design <u>Como se detalla en los planos de fabricación</u>	
Root Spacing _____	
Backing: Yes _____ No _____	
Backing Material (Type) <u>Metal de soldadura o anillo</u>	
<small>(Refer to both backing and retainers)</small>	
<input checked="" type="checkbox"/> Metal	<input type="checkbox"/> Nonfusing Metal
<input type="checkbox"/> Nonmetallic	<input type="checkbox"/> Other
Sketches, Production Drawings, Weld Symbols, or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the details of weld groove may be specified.	
Sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers, and bead sequence (e.g., for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)	

La sección QW 403 hace referencia a los metales bases en la cual se le asigna un numero P dependiendo del material que se vaya a usar en el WPS (ver Imagen 4). Para asignar este número y las demás variables de esta sección se utiliza la tabla QW/QB 422 del ASME sección IX.

Imagen 4. Asignación del numero P.

Ferrous/Nonferrous P-Numbers Grouping of Base Metals for Qualification (Cont'd)										
Spec. No.	Type or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi (MPa)	Welding		Brazing		ISO 15608 Group	Nominal Composition	Product Form
				P-No.	No.	P-No.	No.			
Ferrous (Cont'd)										
A/SA-553	I	K81340	100 (690)	11A	1	101	9.3	9Ni		Plate
A/SA-556	A2	K01807	47 (325)	1	1	101	1.1	C		Smls. tube
A/SA-556	B2	K02707	60 (415)	1	1	101	11.1	C-Si		Smls. tube
A/SA-556	C2	K03006	70 (485)	1	2	101	11.1	C-Mn-Si		Smls. tube
A/SA-557	A2	K01807	47 (325)	1	1	101	1.1	C		E.R.W. tube
A/SA-557	B2	K03007	60 (415)	1	1	101	11.1	C		E.R.W. tube
A/SA-557	C2	K03505	70 (485)	1	2	101	11.1	C-Mn		E.R.W. tube
A/SA-562	-	K11224	55 (380)	1	1	101	1.1	C-Mn-Ti		Plate
A/SA-572	42	...	60 (415)	1	1	101	1.2	C-Mn-Si		Plate & shapes
A/SA-572	50	...	65 (450)	1	1	101	1.2	C-Mn-Si		Plate & shapes
A/SA-572	60	...	75 (515)	1	2	101	11.1	C-Mn-Si		Plate & shapes

En este caso en particular se trata de un ASTM A 572 Gr 50 con una tensión mínima especificada de 450 MPa y composición química C-Mn-Si.

Posteriormente para el llenado del rango de espesor calificado. En ASME en la sección QW-403.2 especifica que el máximo espesor calificado es el espesor del cupón de prueba, y en la sección QW-403.5 especifica que el espesor del metal base mínimo calificado es el espesor del cupón de prueba T o 5/8". (16mm) cualquiera que sea menor. Sin embargo, en QW-403.8 menciona que para un cambio de espesor del metal base más allá de los rangos calificados hace referencia a la tabla de los límites de espesor calificados para el procedimiento en la tabla QW-451.1.

El wps será calificado en platina de espesor de 3/8", siendo el espesor mínimo calificado de 1/16" y un máximo de 3/4". Ver Imagen 5 e Imagen 6.

Imagen 5. Límites de espesor calificado y cantidad de muestras para la calificación del procedimiento.

Groove-Weld Tension Tests and Transverse-Bend Tests							
Thickness <i>T</i> of Test Coupon, Welded, in. (mm)	Range of Thickness <i>T</i> of Base Metal, Qualified, in. (mm) [Note (1)] and [Note (2)]		Maximum Thickness <i>t</i> of Deposited Weld Metal, Qualified, in. (mm) [Note (1)] and [Note (2)]	Type and Number of Tests Required (Tension and Guided-Bend Tests) [Note (2)]			
	Min.	Max.		Tension, QW-150	Side Bend, QW-160	Face Bend, QW-160	Root Bend, QW-160
Less than 1/16 (1.5)	<i>T</i>	2 <i>T</i>	2 <i>t</i>	2	...	2	2
1/16 to 3/8 (1.5 to 10), incl.	1/16 (1.5)	2 <i>T</i>	2 <i>t</i>	2	[Note (5)]	2	2
Over 3/8 (10), but less than 3/4 (19)	3/16 (5)	2 <i>T</i>	2 <i>t</i>	2	[Note (5)]	2	2
3/4 (19) to less than 1 1/2 (38)	3/16 (5)	2 <i>T</i>	2 <i>t</i> when <i>t</i> < 3/4 (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
3/4 (19) to less than 1 1/2 (38)	3/16 (5)	2 <i>T</i>	2 <i>T</i> when <i>t</i> ≥ 3/4 (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
1 1/2 (38) to 6 (150), incl.	3/16 (5)	8 (200) [Note (3)]	2 <i>t</i> when <i>t</i> < 3/4 (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
1 1/2 (38) to 6 (150), incl.	3/16 (5)	8 (200) [Note (3)]	8 (200) [Note (3)] when <i>t</i> ≥ 3/4 (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
Over 6 (150) [Note (6)]	3/16 (5)	1.33 <i>T</i>	2 <i>t</i> when <i>t</i> < 3/4 (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
Over 6 (150) [Note (6)]	3/16 (5)	1.33 <i>T</i>	1.33 <i>T</i> when <i>t</i> ≥ 3/4 (19)	2 [Note (4)]	4	...	...

NOTES:

- The following variables further restrict the limits shown in this table when they are referenced in QW-250 for the process under consideration: QW-403.9, QW-403.10, QW-404.32, and QW-407.4. Also, QW-202.2, QW-202.3, and QW-202.4 provide exemptions that supersede the limits of this table.
- For combination of welding procedures, see QW-200.4.
- For the SMAW, SAW, GMAW, PAW, and GTAW welding processes only; otherwise per Note (1) or 2*T*, or 2*t*, whichever is applicable.
- see QW-151.1, QW-151.2, and QW-151.3 for details on multiple specimens when coupon thicknesses are over 1 in. (25 mm).
- Four side-bend tests may be substituted for the required face- and root-bend tests, when thickness *T* is 3/8 in. (10 mm) and over.
- For test coupons over 6 in. (150 mm) thick, the full thickness of the test coupon shall be welded.

Imagen 6. Formato QW-482 – material base.

*BASE METALS (QW-403)

P-No. 1 Group No. 1 to P-No. 1 Group No. 1

OR

Specification and type/grade or UNS Number A/SA - 572 Gr 50

to Specification and type/grade or UNS Number A/SA - 572 Gr 50

OR

Chem. Analysis and Mech. Prop. Composición nominal C-Mn-Si Tensión mínima especificada: 450 Mpa

to Chem. Analysis and Mech. Prop. Composición nominal C-Mn-Si Tensión mínima especificada: 450 Mpa

Thickness Range:

Base Metal: Groove 1/16" - 3/4" Fillet Todos

Maximum Pass Thickness ≤ 1/2 in. (13 mm) (Yes) X (No) _____

Other _____

En la siguiente sección del procedimiento se enlistan las características de los materiales de aportes (electrodos, ver Imagen 7). El material de aporte a utilizar será un electrodo de bajo hidrogeno E7018, de diámetros 3/32" y 1/8". Se le asigna una especificación ASME, un numero F y un número A de acuerdo a la Imagen 8 e Imagen 9.

Imagen 7. Formato QW-482 – material de aporte.

*FILLER METALS (QW-404)		1	2
Spec. No. (SFA) _____	5.1		
AWS No. (Class) _____	E7018		
F-No. _____	4		
A-No. _____	1		
Size of Filler Metals _____	3/32", 1/8"		
Filler Metal Product Form _____	Varilla		
Supplemental Filler Metal _____	N/A		
Weld Metal			
Deposited Thickness:			
Groove _____	1/16" - 3/4"		
Fillet _____	Todos		
Electrode-Flux (Class) _____	N/A		
Flux Type _____	N/A		
Flux Trade Name _____	N/A		
Consumable Insert _____	N/A		
Other _____	----		

Imagen 8. Clasificación y número F para el electrodo E7018.

F-Numbers Grouping of Electrodes and Welding Rods for Qualification			
F-No.	ASME Specification	AWS Classification	UNS No.
Steel and Steel Alloys			
1	SFA-5.1	EXX20	...
1	SFA-5.1	EXX22	...
1	SFA-5.1	EXX24	...
1	SFA-5.1	EXX27	...
1	SFA-5.1	EXX28	...
1	SFA-5.4	EXXX(X)-26	...
1	SFA-5.5	EXX20-X	...
1	SFA-5.5	EXX27-X	...
2	SFA-5.1	EXX12	...
2	SFA-5.1	EXX13	...
2	SFA-5.1	EXX14	...
2	SFA-5.1	EXX19	...
2	SFA-5.5	E(X)XX13-X	...
3	SFA-5.1	EXX10	...
3	SFA-5.1	EXX11	...
3	SFA-5.5	E(X)XX10-X	...
3	SFA-5.5	E(X)XX11-X	...
4	SFA-5.1	EXX15	...
4	SFA-5.1	EXX16	...
4	SFA-5.1	EXX18	...
4	SFA-5.1	EXX18M	...
4	SFA-5.1	EXX48	...

Imagen 9. Número A para acero de bajo contenido de carbono.

A-Numbers Classification of Ferrous Weld Metal Analysis for Procedure Qualification							
A-No.	Types of Weld Deposit	Analysis, % [Note (1)] and [Note (2)]					
		C	Cr	Mo	Ni	Mn	Si
1	Mild Steel	0.20	0.20	0.30	0.50	1.60	1.00
2	Carbon-Molybdenum	0.15	0.50	0.40-0.65	0.50	1.60	1.00
3	Chrome (0.4% to 2%)-Molybdenum	0.15	0.40-2.00	0.40-0.65	0.50	1.60	1.00
4	Chrome (2% to 4%)-Molybdenum	0.15	2.00-4.00	0.40-1.50	0.50	1.60	2.00
5	Chrome (4% to 10.5%)-Molybdenum	0.15	4.00-10.50	0.40-1.50	0.80	1.20	2.00
6	Chrome-Martensitic	0.15	11.00-15.00	0.70	0.80	2.00	1.00
7	Chrome-Ferritic	0.15	11.00-30.00	1.00	0.80	1.00	3.00
8	Chromium-Nickel	0.15	14.50-30.00	4.00	7.50-15.00	2.50	1.00
9	Chromium-Nickel	0.30	19.00-30.00	6.00	15.00-37.00	2.50	1.00
10	Nickel to 4%	0.15	0.50	0.55	0.80-4.00	1.70	1.00
11	Manganese-Molybdenum	0.17	0.50	0.25-0.75	0.85	1.25-2.25	1.00
12	Nickel-Chrome-Molybdenum	0.15	1.50	0.25-0.80	1.25-2.80	0.75-2.25	1.00

NOTES:
(1) Single values shown above are maximum.
(2) Only listed elements are used to determine A-numbers.

Según ASME IX, la posición no es una variable esencial para WPS, por lo tanto éste aplica para cualquier posición en soldaduras de ranura y filete (ver Imagen 10). No se requiere precalentar la pieza a menos que este por debajo de 0 °C, si está por debajo de esta temperatura de referencia, se precalienta la pieza para extraer la humedad hasta temperatura ambiente (25°C aproximadamente). No requiere tratamiento posterior a la soldadura. Además no se requiere gases de protección ya que el revestimiento del electrodo crea la atmosfera protectora del arco de la soldadura.

Imagen 10. Formato QW-482 – posición, precalentamiento, tratamiento térmico después de la soldadura y gases de protección.

POSITIONS (QW-405) Position(s) of Groove <u>Todas</u> Welding Progression: Up <u>X</u> Down _____ Position(s) of Fillet <u>Todas</u> Other _____	POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407) Temperature Range <u>N/A</u> Time Range <u>N/A</u> Other _____																							
PREHEAT (QW-406) Preheat Temperature, Minimum <u>32 °F (0°C)</u> Interpass Temperature, Maximum <u>200 °C</u> Preheat Maintenance <u>Hasta terminar la junta</u> Other _____ <small>(Continuous or special heating, where applicable, should be recorded)</small>	GAS (QW-408) <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">Percent Composition</th> </tr> <tr> <th>Gas(es)</th> <th>(Mixture)</th> <th>Flow Rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shielding</td> <td><u>N/A</u></td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Trailing</td> <td><u>N/A</u></td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Backing</td> <td><u>N/A</u></td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Other</td> <td><u>N/A</u></td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </tbody> </table>		Percent Composition			Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate	Shielding	<u>N/A</u>	_____	_____	Trailing	<u>N/A</u>	_____	_____	Backing	<u>N/A</u>	_____	_____	Other	<u>N/A</u>	_____	_____
	Percent Composition																							
	Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate																					
Shielding	<u>N/A</u>	_____	_____																					
Trailing	<u>N/A</u>	_____	_____																					
Backing	<u>N/A</u>	_____	_____																					
Other	<u>N/A</u>	_____	_____																					

A continuación la siguiente sección del procedimiento son las características eléctricas del proceso, las cuales se detallan en la Imagen 11 y la Tabla 3.

Las posiciones de calificación del WPS se detallan en la Imagen 12.

Imagen 11. Formato QW-482 – características eléctricas.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)										
Ajustar valores de amperaje y voltaje según la tabla 3										
Weld Pass(es)	Process	Filler Metal		Current Type and Polarity	Amps (Range)	Wire Feed Speed (Range)	Energy or Power (Range)	Volts (Range)	Travel Speed (Range)	Other (e.g., Remarks, Comments, Hot Wire Addition, Technique, Torch Angle, etc.)
		Classification	Diameter							
1	SMAW	SFA 5.1	3/32", 1/8"	DC+	Tabla 3	-----	-----	Tabla 3	----	
2-n	SMAW	SFA 5.1	3/32", 1/8"	DC+	Tabla 3	-----	-----	Tabla 3	----	

Amps and volts, or power or energy range, should be recorded for each electrode size, position, and thickness, etc.

Pulsing Current DCEP Heat Input (max.) 37 KJ/in

Tungsten Electrode Size and Type N/A (Pure Tungsten, 2% Thoriated, etc.)

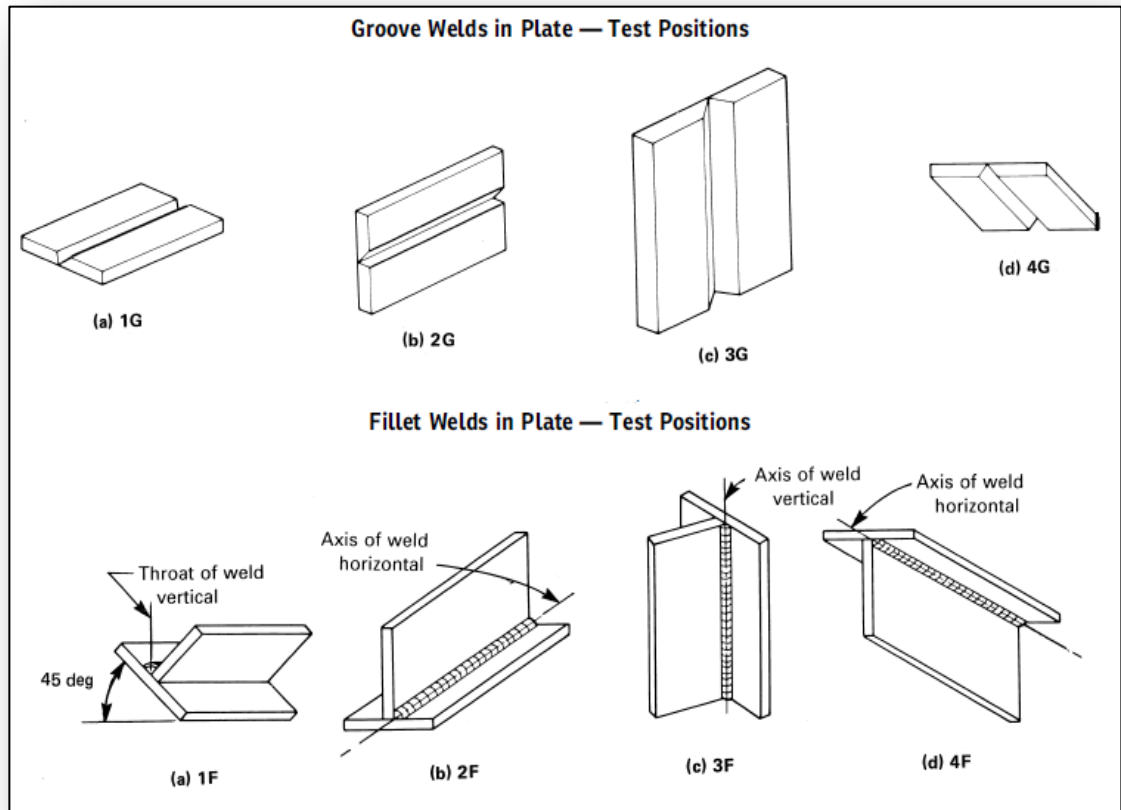
Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW) N/A (Spray Arc, Short Circuiting Arc, etc.)

Other -----

Tabla 3. Amperaje y voltaje según el diámetro del electrodo y la posición.

Electro Diámetro 3/32" (2,3 mm)		
Posición	Amperaje	Voltaje
1G, 1F	70-90	20-26
2G, 2F	70-90	20-26
3G, 3F ASC.	70-80	20-26
4G, 4F	70-80	20-26
Electro Diámetro 1/8" (3,2 mm)		
Posición	Amperaje	Voltaje
1G, 1F	120-140	20-26
2G, 2F	120-140	20-26
3G, 3F ASC.	100-130	20-26
4G, 4F	100-110	20-26

Imagen 12. Posiciones de prueba para calificación del WPS.



En la parte final del formato se describe la técnica a utilizar, es decir, como se realizaran los cordones, limpieza entre pases, el saneado de raíz para evitar inclusiones de escoria y posibles defectos, la máxima oscilación, entre otras. Ver Imagen 13.

Imagen 13. Formato QW-482 – datos de la técnica a utilizar en el proceso.

TECHNIQUE (QW-410)	<u>Recto u oscilado</u>
String or Weave Bead	_____
Orifice, Nozzle, or Gas Cup Size	<u>N/A</u>
Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc.)	<u>Cepillo manual, grata o pulidora</u>
Method of Back Gouging	<u>Método de ranurado en la parte posterior de la platina "saneado", posteriormente rellenar</u>
Oscillation	<u>Máxima 2 veces el diámetro del electrodo</u>
Contact Tube to Work Distance	<u>N/A</u>
Multiple or Single Pass (Per Side)	<u>Único o pase múltiple</u>
Multiple or Single Electrodes	<u>Único</u>
Electrode Spacing	_____
Peening	<u>Ninguno</u>
Other	_____

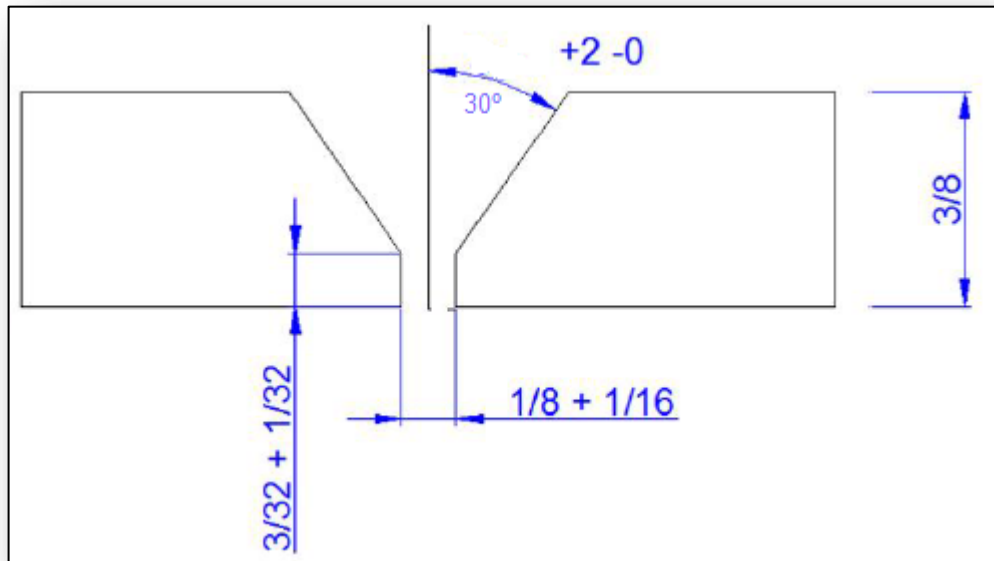
6.2 ELABORACION DEL CUPON DE PRUEBA

Los materiales utilizados en la elaboración del cupón de prueba (probeta), como por ejemplo el material base (ASTM A 572 Gr 50) y de aporte (E7018) son certificados. (Ver certificado de materiales anexos).

Las dimensiones del material base son 30 cm x 13 cm, de espesor 9,525 mm (3/8”) y se le realizó un diseño de junta de acuerdo a la Figura 7.

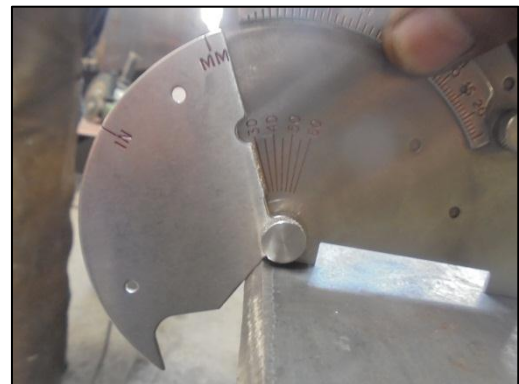
La posición escogida para la realización de la prueba es 1G (posición plana).

Figura 7. Diseño de junta para el cupón de prueba.¹⁴



Antes de que el soldador inicie con el proceso de soldar se verifica las dimensiones de la junta, el precalentamiento de los electrodos de bajo hidrógeno, entre otras.

Imágenes 14 y 15. Preparación del cupón de prueba.



¹⁴ Fuente: <http://es.slideshare.net/danielbreak/asme-section-ix-wps-y-pqr>.

Se realiza el punteo de la probeta y se procede a realizar la soldadura. Durante el proceso se controlan las variables descritas en el WPS, es decir, que el amperaje y voltaje se encuentren en el rango especificado, además que el valor entregado por el equipo de soldadura corresponda al real, entre otras. Estas variables se controlan para evitar socavados en la soldadura y otros posibles defectos.

Imágenes 16 a 19. Control de variables eléctricas.



En cada pase de soldadura se inspecciona que esta esté libre de poros, fisuras, malos empalmes de soldadura, entre otros, para que no comprometan la calidad de la soldadura que se desea. Se hace mucho énfasis en la limpieza de la escoria antes de iniciar con un nuevo cordón de soldadura, debido a que este tipo de proceso se hace con electrodo revestido.

La soldadura final debe tener penetración completa, no debe tener faltas de fusión, socavados excesivos, sobre monta excesiva, entre otras. Muchos de estos defectos se controlan con las variables del procedimiento y en gran medida se debe a la habilidad del soldador.

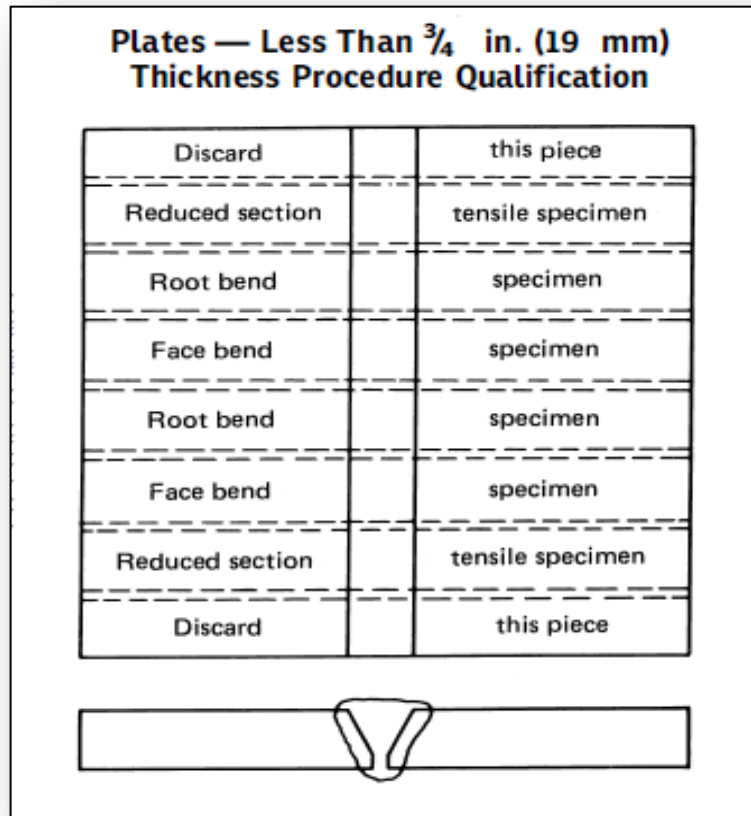
De acuerdo a ASME sección IX en el párrafo QW- 194 especifica que los cupones de prueba deben tener una penetración y fusión completa entre el metal base y metal de soldadura.

6.3 PRUEBAS MECÁNICAS

Para el espesor de probeta que se está calificando se deben realizar dos pruebas de tensión, dos de dobléz de raíz y dos de dobléz de cara. La localización de las muestras se hace de acuerdo Imagen 20.

Las pruebas mecánicas son realizadas por Endicontrol S.A, empresa localizada en la ciudad de Medellín y dedicada a los ensayos destructivos y no destructivos, quienes posteriormente emiten un informe de calificación del procedimiento. Este informe es el soporte para la elaboración del PQR (registro de calificación del procedimiento). Ver anexo 2 y 3.

Imagen 20. Localización de muestras.

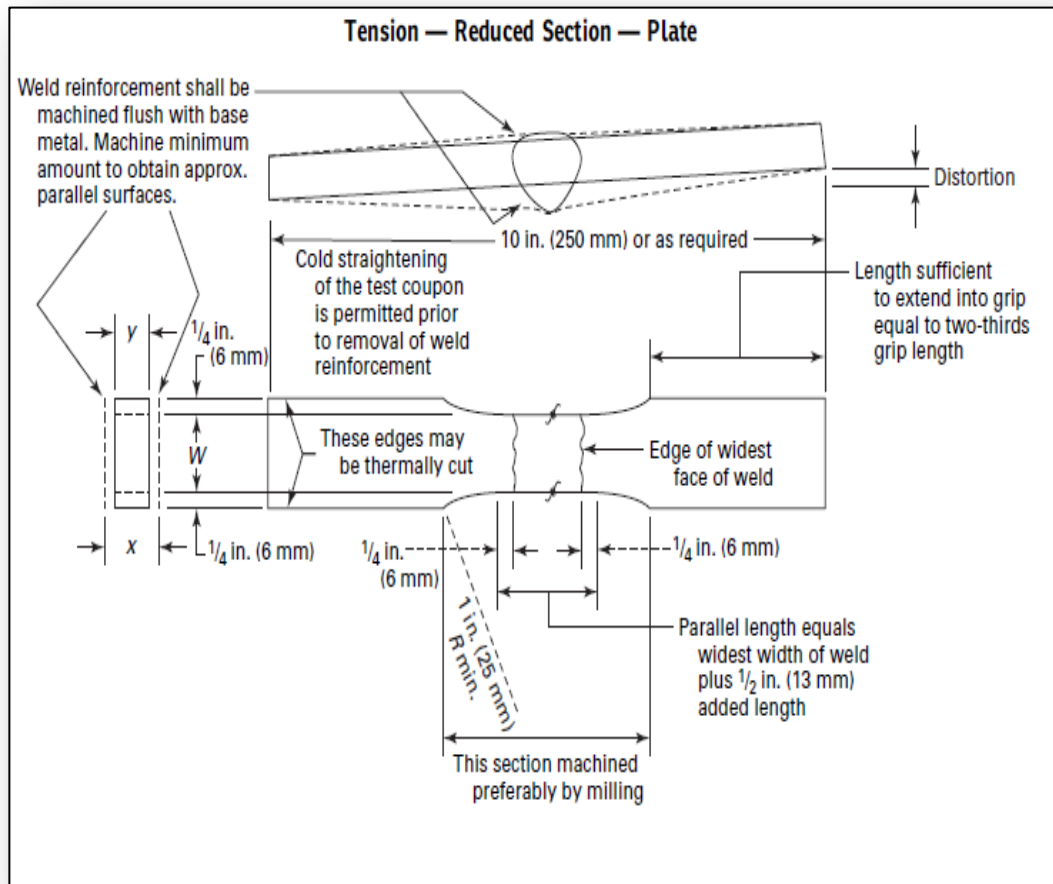


6.3.1 Prueba de tensión sección reducida

De acuerdo a ASME Sección IX en QW-141.1 las pruebas de tensión son descritas en QW-150 y son usadas para determinar la resistencia última de las juntas de ranura soldadas. En QW-150 se especifican las pruebas de tensión, y hace referencia de que los especímenes de pruebas para tensión deben ser conforme a la Imagen 21, y deben cumplir los requerimientos de QW-153. Así

mismo pueden ser usados para pruebas de tensión en todos los espesores de las placas.¹⁵

Imagen 21. Dimensiones de especímenes prueba de tensión sección reducida.



¹⁵ Referencia tomada de: Corporación mexicana de investigación en materiales división de estudios de posgrado. Manejo de códigos. Elaboración del procedimiento de soldadura (WPS) y registro calificación de procedimiento (PQR) conforme al código ASME IX. México, 2013. Recuperado el (12 de octubre de 2015) disponible en: <http://es.slideshare.net/danielbreak/asme-section-ix-wps-y-pqr>.

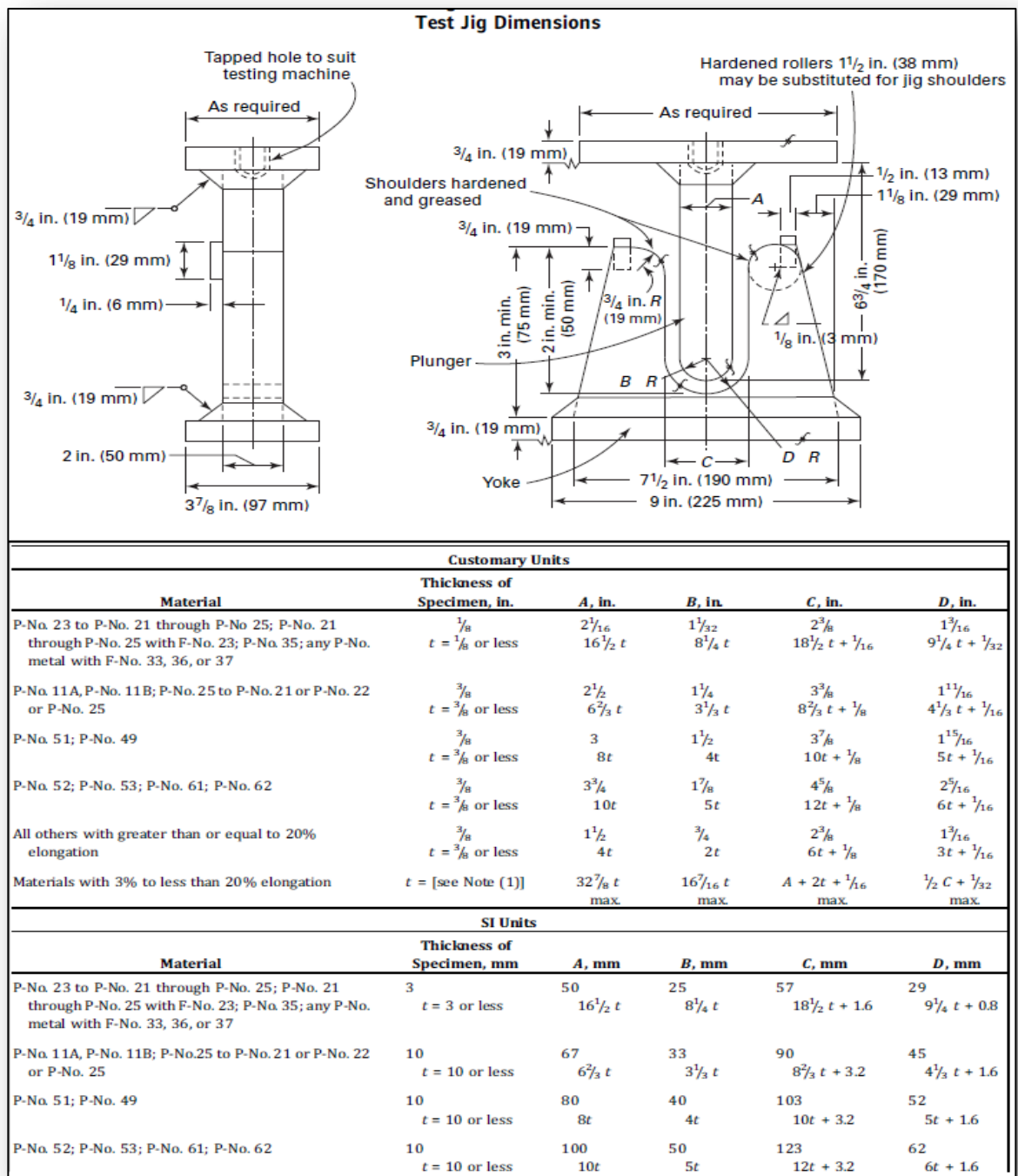
6.3.2 Pruebas de doblez guiado

De acuerdo a ASME Sección IX en *QW-141.2* las pruebas de doblez guiado son descritas en *QW-160* y son usadas para determinar el grado de sanidad y la ductilidad de la junta de ranura soldada.

En *QW-160*, los especímenes de doblez guiado deben ser preparados por el corte de la placa de prueba para formar especímenes de aproximadamente una sección transversal rectangular. Estas superficies deben ser nombradas superficie de cara y raíz. La superficie de la cara es la que tiene la mayor anchura de soldadura. El espesor del espécimen y el radio de curvatura se muestran en la Imagen 22.

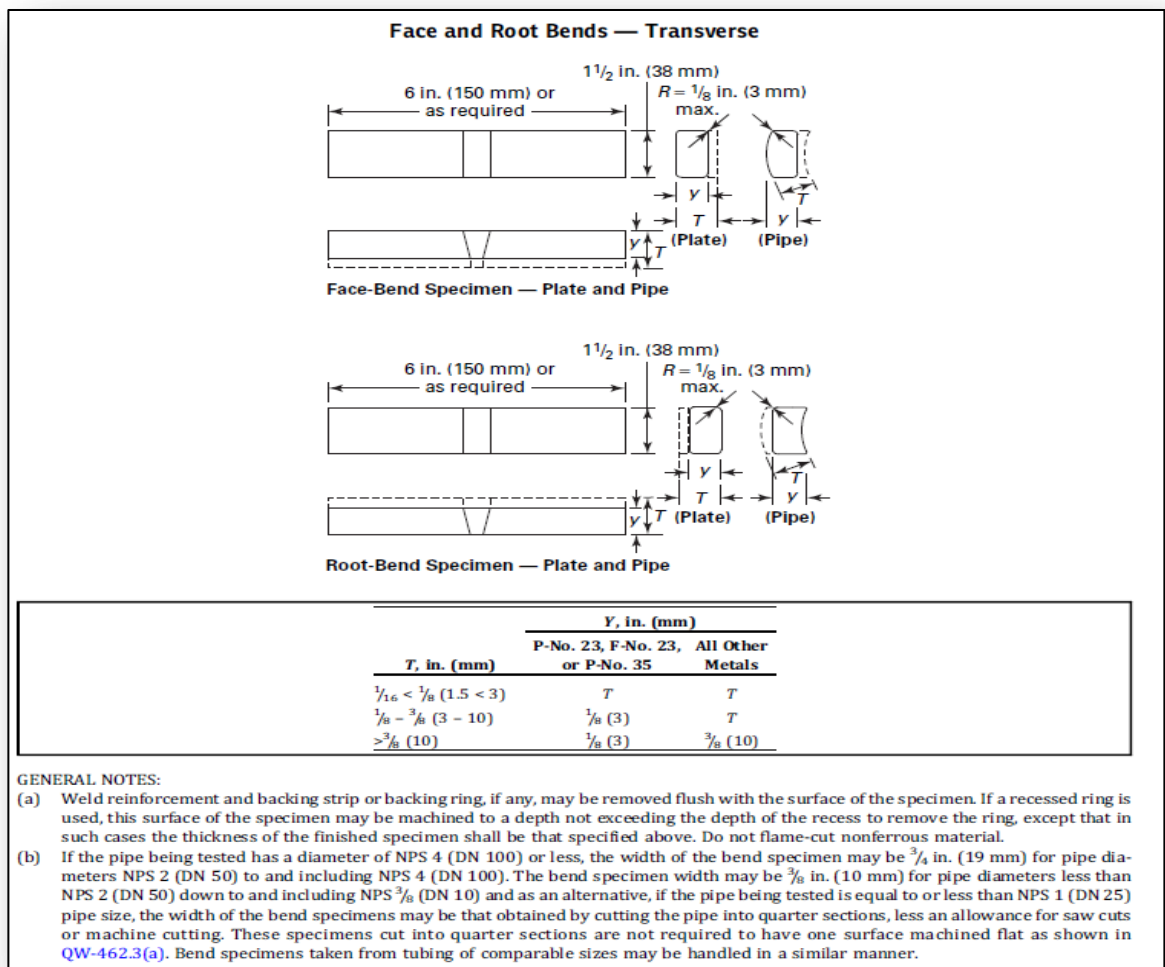
Las dimensiones de los especímenes de doblez de cara y raíz son de acuerdo a la Imagen 23.

Imagen 22. Dimensiones de la prueba de dobles guiado.¹⁶



¹⁶ Fuente: ASME IX, boiler and pressure vessel code. Welding, brazing, and fusing qualifications. Qualifications standard for welding, brazing, and fusing procedure; welders; brazers; and welding, brazing, and fusing operators. Edición Julio 1 de 2013.

Imagen 23. Dimensiones de especímenes para doblez de cara y de raíz.¹⁷



¹⁷Fuente: ASME IX, boiler and pressure vessel code. Welding, brazing, and fusing qualifications. Qualifications standard for welding, brazing, and fusing procedure; welders; brazers; and welding, brazing, and fusing operators. Edición Julio 1 de 2013.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo a los parámetros involucrados en el diseño del procedimiento de soldadura y posteriormente su calificación mediante pruebas mecánicas por la empresa Endicontrol S.A, se concluye lo siguiente:


- Los resultados de las pruebas de dobléz fueron satisfactorios, no se presentaron agrietamientos en la soldadura y la zona afectada por el calor, comprobando que la unión soldada tiene buena ductilidad.

- Los resultados de las pruebas de tracción de sección reducida fueron satisfactorios. Las probetas fallaron por fuera de la soldadura y de la zona afectada térmicamente, superando así la resistencia mecánica del metal base.

En base a lo anterior, el procedimiento P-15-30 para SMAW, cumple en cuanto a sanidad y propiedades mecánicas con los estándares del código ASME SECCION IX.

8. ANEXOS

Anexo 1. Especificación del procedimiento de soldadura (WPS).

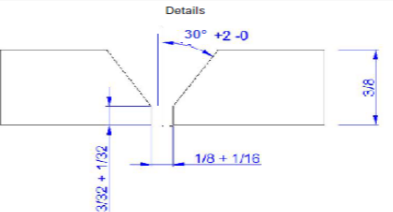
	ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SMAW	ESTACO S.A
No.	P- 15 - 30	Pág. 1/10

FORM QW-482 SUGGESTED FORMAT FOR WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)
(See QW-200.1, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)

Organization Name Estaco S.A By Yorley Garcia
 Welding Procedure Specification No. P-15-30 Date 07-10-2015 Supporting PQR No.(s) 15-A115a-RP01
 Revision No. _____ Date _____

Welding Process(es) Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Type(s) Manual
(Automatic, Manual, Machine, or Semi Automatic)

JOINTS (QW-402) Como se detalla en los planos de fabricación

Joint Design _____ Details 

Root Spacing _____
 Backing: Yes _____ No _____
 Backing Material (Type) Metal de soldadura o anillo
(Refer to both backing and restraint)

Metal Nonfusing Metal
 Nonmetallic Other

Sketches, Production Drawings, Weld Symbols, or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the details of weld groove may be specified.

Sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers, and bead sequence (e.g., for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)

***BASE METALS (QW-403)**

P.No. 1 Group No. 1 to P.No. 1 Group No. 1

OR

Specification and type/grade or UNS Number A/SA - 572 Gr 50
 to Specification and type/grade or UNS Number A/SA - 572 Gr 50

OR

Chem. Analysis and Mech. Prop. Composición nominal C-Mn-Si Tension mínima especificada: 450 Mpa
 to Chem. Analysis and Mech. Prop. Composición nominal C-Mn-Si Tension mínima especificada: 450 Mpa

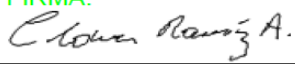

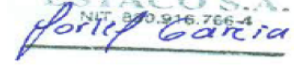
Thickness Range:
 Base Metal: Groove 1/16" - 3/4" Fillet Todos
 Maximum Pass Thickness $\leq 1/2$ in. (13 mm) (Yes) X (No) _____
 Other _____

***FILLER METALS (QW-404)**

	5.1	1	2
Spec. No. (SFA) _____	E7018		
AWS No. (Class) _____	4		
F.No. _____	1		
A.No. _____	3/32", 1/8"		
Size of Filler Metals _____	Varilla		
Filler Metal Product Form _____	N/A		
Supplemental Filler Metal _____			
Weld Metal			
Deposited Thickness:			
Groove _____	1/16" - 3/4"		
Fillet _____	Todos		
Electrode-Flux (Class) _____	N/A		
Flux Type _____	N/A		
Flux Trade Name _____	N/A		
Consumable Insert _____	N/A		
Other _____			

*Each base metal-filler metal combination should be recorded individually.

(07/13)

PRESENCIADO POR: Ing. Claver Ramirez MP: AN 231 2643 CAWI:13111634 FIRMA: 	POR ESTACO Tlgo. Yorley Garcia MP: 05557-033941  FIRMA: 	FECHA: 2015 11 13
---	---	-----------------------------



**ESPECIFICACION DEL
PROCEDIMIENTO DE
SOLDADURA SMAW**

ESTACO S.A

No. **P- 15 - 30**

Pág. 1/10

FORM QW-482 (Back)

WPS No. **P-15-30** Rev. _____

POSITIONS (QW-405) Position(s) of Groove Todas Welding Progression: Up X Down _____ Position(s) of Fillet Todas Other _____		POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407) Temperature Range N/A Time Range N/A Other _____																								
PREHEAT (QW-406) Preheat Temperature, Minimum 32 °F (0°C) Interpass Temperature, Maximum 200 °C Preheat Maintenance Hasta terminar la junta Other _____ (Continuous or special heating, where applicable, should be recorded)		GAS (QW-408) <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">Percent Composition</th> </tr> <tr> <th>Gas(es)</th> <th>(Mixture)</th> <th>Flow Rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shielding</td> <td>N/A</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Trailing</td> <td>N/A</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Backing</td> <td>N/A</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Other</td> <td>N/A</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </tbody> </table>			Percent Composition			Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate	Shielding	N/A	_____	_____	Trailing	N/A	_____	_____	Backing	N/A	_____	_____	Other	N/A	_____	_____
	Percent Composition																									
	Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate																							
Shielding	N/A	_____	_____																							
Trailing	N/A	_____	_____																							
Backing	N/A	_____	_____																							
Other	N/A	_____	_____																							

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)

Ajustar valores de amperaje y voltaje según la tabla 1

Weld Pass(es)	Process	Filler Metal		Current Type and Polarity	Amps (Range)	Wire Feed Speed (Range)	Energy or Power (Range)	Volts (Range)	Travel Speed (Range)	Other (e.g., Remarks, Comments, Hot Wire Addition, Technique, Torch Angle, etc.)
		Classification	Diameter							
1	SMAW	SFA 5.1	3/32", 1/8"	DC+	Tabla 1	-----	-----	Tabla 1	----	
2-n	SMAW	SFA 5.1	3/32", 1/8"	DC+	Tabla 1	-----	-----	Tabla 1	----	

Amps and volts, or power or energy range, should be recorded for each electrode size, position, and thickness, etc.

Pulsing Current **DCEP** Heat Input (max.) **37 KJ/in**

Tungsten Electrode Size and Type **N/A** (Pure Tungsten, 2% Thoriated, etc.)

Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW) **N/A** (Spray Arc, Short Circuiting Arc, etc.)

Other _____

TECHNIQUE (QW-410)

String or Weave Bead **Recto u oscilado**

Orifice, Nozzle, or Gas Cup Size **N/A**

Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc.) **Cepillo manual, grata o pulidora**

Method of Back Gouging **Pulidora**

Oscillation **Máxima 2 veces el diámetro del electrodo**

Contact Tube to Work Distance **N/A**

Multiple or Single Pass (Per Side) **Único o pase múltiple**

Multiple or Single Electrodes **Único**

Electrode Spacing _____

Peening **Ninguno**

Other _____

(07/10)

PRESENCIADO POR:
Ing. Claver Ramírez
 MP: AN 231 2643
 CAWI:13111634
FIRMA:

Claver Ramirez A.

POR ESTACO
Tigo. Yorley García
 MP: 05557-033941

FIRMA:

ESTACO S.A.
 NIT. B0.916.766-4
Yorley Garcia

FECHA:

2015 11 13



ENDICONTROL S.A.

**ESPECIFICACION DEL
PROCEDIMIENTO DE
SOLDADURA SMAW**

ESTACO S.A

No. P- 15 - 30

Pág. 1/10

Tabla 1. Amperaje y voltaje según el diámetro del electrodo y la posición.

Electro Diámetro 3/32" (2,3 mm)		
Posición	Amperaje	Voltaje
1G, 1F	70-90	20-26
2G, 2F	70-90	20-26
3G, 3F ASC.	70-80	20-26
4G, 4F	70-80	20-26
Electro Diámetro 1/8" (3,2 mm)		
Posición	Amperaje	Voltaje
1G, 1F	120-140	20-26
2G, 2F	120-140	20-26
3G, 3F ASC.	100-130	20-26
4G, 4F	100-110	20-26

PRESENCIADO POR:
Ing. Claver Ramírez
MP: AN 231 2643
CAWI:13111634
FIRMA:

Claver Ramírez A.

POR ESTACO
Tlgo. Yorley García
MP: 05557-033941


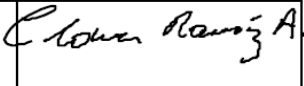

FIRMA:


ESTACO S.A.
NIT. 970.916.766-4
Yorley García

FECHA:

2015 11 13

Anexo 2. Informe de ensayos mecánicos realizados al WPS.

 ENDICONTROL S.A.	<p style="text-align: center;">ENSAYOS PARA CALIFICACION DE WPS P-15-30</p> <p>No. 15 – A115a –IM01</p>	<p style="text-align: center;">ESTACO S.A</p> <p style="text-align: right;">Pág. 1/10</p>	
<p>ENSAYOS MECÁNICOS PARA CALIFICACION PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE ACUERDO CON EL CÓDIGO ASME IX PROCESO SMAW N° P-15-30</p>			
<p>CLIENTE: ESTACO S.A. Ing. Mauricio Gutierrez info@estaco.com Tigo. Yorley García Urrea. Yorley8725@gmail.com</p>			
<p>REALIZADO POR: ENDICONTROL S.A. Ing. Claver Ramírez A.</p>			
<p>Medellín, Noviembre de 2015</p>			
INFORME FINAL			
ELABORADO POR:		REVISADO POR:	
NOMBRE:	Ing. Claver Ramirez. M.P. AN 231-2643 SNT TC 1 A. NIVEL II CAWI:13111634	NOMBRE:	Ing. Wilson Galeano M.P. AN 230-102090 SNT TC 1 A. NIVEL II
FIRMA:		FIRMA:	
FECHA INSPECCIÓN:	2015 - 11 - 12	FECHA REVISIÓN:	2015- 11- 13

 ENDICONTROL S.A.	ENSAYOS MECANICOS PARA CALIFICACION DE WPS ASME IX	ESTACO S.A
	No. 15 A 115A IM – 01	Pág. 2/9

1. OBJETIVO

Realizar los ensayos mecánicos para la calificación de los WPS P-15- 30, en proceso SMAW, bajo los estándares del código ASME IX.

2. ALCANCE

Por medio de ensayos mecánicos de doblez de cara y de raíz, y ensayos de tracción, determinar las condiciones de resistencia, sanidad y calidad de las uniones soldadas a tope, en probetas para calificar los procedimientos.

3. NORMAS APLICABLES

- Norma ASTM E 370. Ensayos de tracción y doblez en materiales metálicos.
- Código ASME IX.

4. EQUIPOS


- Kit de inspección visual.
- Prensa para doblez.
- Prensa universal para ensayos mecánicos.

5. PROCEDIMIENTO

Para la calificación de los procedimientos de soldadura, se soldaron probetas en acero al carbono ASTM A 572 grado 50 en posición 1G (plana), y bajo el proceso SMAW, en acuerdo al WPS objeto de evaluación.

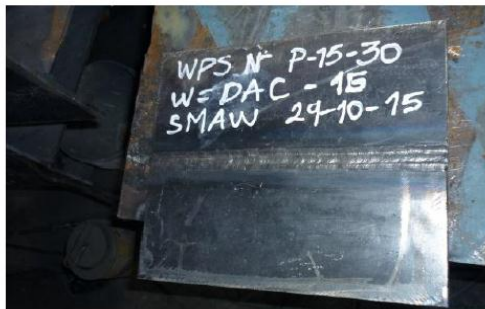
Tabla 1. Soldador que realizó la probeta.

SOLDADOR	CEDULA	PROCESO	POSICION	WPS
Diego Alberto Correa	15.349.805	SMAW	1G	WPS P-15- 30

 ENDICONTROL S.A.	ENSAYOS MECANICOS PARA CALIFICACION DE WPS ASME IX	ESTACO S.A Pág. 3/9
	No. 15 A 115A IM – 01	

6. RESULTADOS

En las fotos 1 a 3, se observa la platina soldada y las condiciones eléctricas bajo las cuales se realizó la probeta.



Fotos 1 a 3. Probeta y características eléctricas para soldar

PRUEBAS MECÁNICAS

6.1 Ensayos de doblez

Los resultados obtenidos sobre las probetas se muestran en la tabla 2.

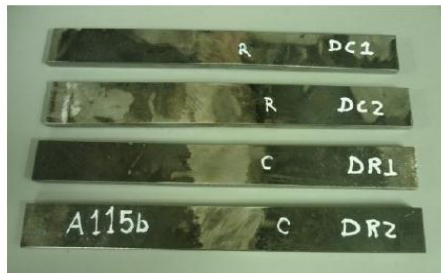
**TABLA 2. Resultados sobre los ensayos de doblez de cara y de raíz
Proceso SMAW**

SOLDADOR	POSICION	PROBETA	TIPO	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	F	S	P	DOBLEZ	RESULTADO
Diego Alberto Correa	Plana (1G)	Unión a tope	Cara 1	40	9.5	A	A	A	En U	A
			Cara 2	40	9.5	A	A	A	En U	A
			Raíz 1	40	9.5	A	A	A	En U	A
			Raíz 2	40	9.5	A	A	A	En U	A

A: Aceptable; D: Deficiente; R: Rechazada.

F: Fusión; S: Socavado; P: Penetración.

Las fotos 4 a 9, ilustran el proceso de doblez realizado a las probetas.





Fotos 4 a 9. Proceso de doblez de cara y de raíz.

6.2 Ensayos de tracción

Proceso SMAW.

Condiciones del ensayo:
 Temperatura: 23°C
 Humedad: 41%
 Velocidad de aplicación de carga: 5 mm / min



Foto 10. Probetas para ensayo de tracción

Los resultados obtenidos para cada probeta se especifican en los siguientes formatos.



ENDICONTROL S.A.

ENSAYOS MECANICOS PARA
CALIFICACION
DE WPS ASME IX

No. 15 A 115A IM – 01

ESTACO S.A

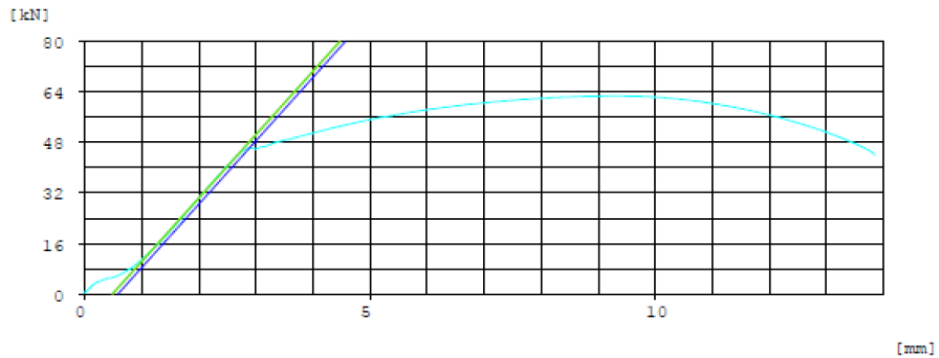
Pág. 7/9

Probeta 1.

Shape: Plate
Width: 12.60
Thickness: 8.40
Gauge Length: 50.00
Name: T1
Remarks:

Calc.	Max-Stress	YS1-Stress	Break-Stress	Break-Load	Max-Load
CP1, CP2		0.200			
CP Unit		[%]			
Pass-Fail					
Unit	[psi]	[psi]	[psi]	[lbf]	[lbf]
T1	86020.6	62270.0	60586.9	9939.42	14111.8

Calc.	Fitted Back
CP1, CP2	
CP Unit	
Pass-Fail	
Unit	[%]
T1	90.0000



Comment : Fractura fuera de soldadura



**ENSAYOS MECANICOS PARA
CALIFICACION
DE WPS ASME IX**

ESTACO S.A

No. 15 A 115A IM – 01

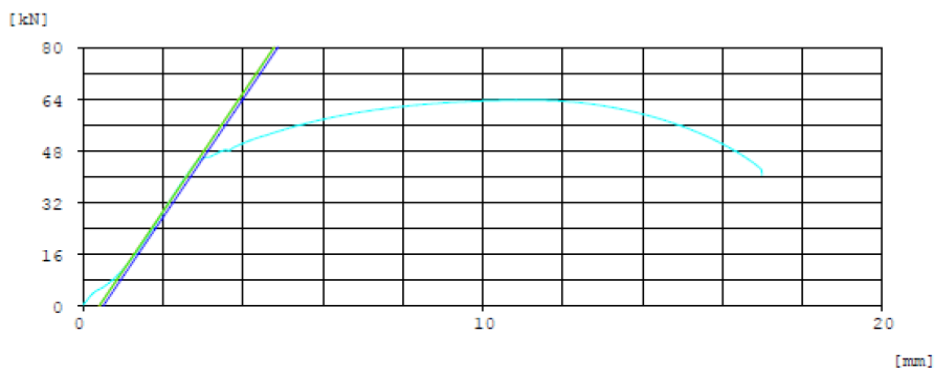
Pág. 8/9

Probeta 2.

Shape: Plate
Width: 12.60
Thickness: 8.80
Gauge Length: 50.00
Name: T2
Remarks:

Calc. CP1, CP2 CP Unit Pass-Fail Unit	Max-Stress [psi]	YS1-Stress 0.200 [%] [psi]	Break-Stress [psi]	Break-Load [lbf]	Max-Load [lbf]
T2	83214.1	59672.2	54808.5	9419.62	14301.5

Calc. CP1, CP2 CP Unit Pass-Fail Unit	Fitted Back [%]
T2	26.0000



Comment: Fractura fuera de soldadura

Las dos probetas fallaron por fuera de la soldadura y con resistencia superior a la del material base.




Foto 11. Probetas reventadas luego del ensayo de tracción.

7. ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- Los resultados de los dobleces fueron satisfactorios para cada probeta ensayada. No se presentaron agrietamientos en ninguna de las cuatro (4) probetas.
- La resistencia mecánica obtenida para cada probeta, superó el valor de la resistencia del material base. Las probetas fallaron fuera de la soldadura y de la zona afectada por el calor.
- De acuerdo con los resultados reportados en las tablas 2, 3 y 4 para la calificación del procedimiento de soldadura WPS P-15- 30 en SMAW, se determina que este cumple en cuanto a sanidad y propiedades mecánicas, con los estándares del código ASME IX. Con ello se sustenta para la emisión del certificado PQR.

Anexo 3. Registro calificación del procedimiento (PQR).

 ENDICONTROL S.A.	REGISTRO CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO SMAW PQR No. 15 – A115a –RP01	ESTACO S.A Pág. 1/1
--	--	-----------------------------------

INFORMACIÓN DE PRUEBA

EMPRESA : ESTACO S.A **WPS :** P-15-30
NOMBRE DEL SOLDADOR: Diego Alberto Correa **C.C. :** 15'349.805
PROCESO DE SOLDADURA : SMAW **TIPO:** Manual
MATERIAL: ESP. : A – 572 gr. 50 **ESP. :** **G N°:** I **A** **G N° :** I
MATERIAL DE APORTE **Esp. N° :** SFA 5.1 **Clase N° :** E 7018 **F N°:** 4
PROBETA : Platina 3/8" **POSICIÓN DE SOLDADURA :** 1G Plana

TABLA 1. DATOS REALES DE PRUEBA

PASE	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE		OBSERVACIONES
		CLASE	DIÁMETRO	TIPO	AMPERAJE	
1	SMAW	E 7018	3.2mm	CDEP	105	
2-3	SMAW	E 7018	3.2mm	CDEP	105	

INFORMACIÓN DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO P-15-30
CÓDIGO DE CALIFICACIÓN: ASME IX

ENSAYO	REALIZADA POR	INFORME N°	RESULTADO
Doblez cara y raíz	ENDICONTROL	15 A115a IM01	ACEPTADA
Tracción	ENDICONTROL	15 A115a IM01	ACEPTADA

PLATINA	<input checked="" type="checkbox"/>	TUBERÍA	<input type="checkbox"/>	CORDON DE REVERSO	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>
---------	-------------------------------------	---------	--------------------------	-------------------	----	--------------------------	----	-------------------------------------

CALIFICADO EN

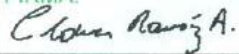

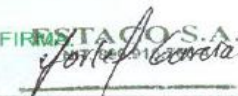
PROCESO DE SOLDADURA : SMAW	POSICIONES : TODAS
MATERIAL : A – 572 gr. 50	ESPESORES: 1.6 a 19 mm
	DIAMETRO ≥ 24"

G: Tope. F: Filete. 1: Plana. 2: Horizontal. 3: Vertical. 4: Sobrecabeza. 6: Tubo a 45°

CERTIFICAMOS QUE EL CONTENIDO DE ESTE REGISTRO ES CORRECTO Y DE ACUERDO CON LOS
 REQUERIMIENTOS DEL CODIGO / 2010

ASME IX	<input checked="" type="checkbox"/>	AWS D	1.1	<input type="checkbox"/>	API 1104	<input type="checkbox"/>	ANSI B 2.1	<input type="checkbox"/>
---------	-------------------------------------	-------	-----	--------------------------	----------	--------------------------	------------	--------------------------

NOTA: Registro no válido sin el sello de Endicontrol
 Para verificar su validez, llamar al 291 07 82

PRESENCIADO POR: Ing. Claver Ramirez MP: AN 231 2643 CAWI:13111634 FIRMA: 	REVISADO POR : Ing. Wilson Galeano MP: AN 230 102090 FIRMA: 	POR ESTACO Yorley Garcia FIRMA ESTACO S.A.: 	FECHA: 2015 11 13
---	--	--	---------------------------------

ENDICONTROL S.A. CRA 50 A # 61 – 72, P.O. BOX 291 07 82, MEDELLÍN, COLOMBIA

Anexo 4. Certificado de material base y material de aporte.



LINCOLN
ELECTRIC

LOS EXPERTOS EN SOLDADURAS

www.lincolnelectric.com.co

LINCOLN SOLDADURAS DE COLOMBIA LTDA. NIT: 860.000.332-0

PLANTA Y OFICINAS:
Cll 6 A No. 33-23, Bogotá, Colombia.
PBX (571)247 0585, Fax: (571) 277 8056, (571)201 8794.
ventas@lincolnelectric.com.co
Call:
Calle 34 No. 6 A 59 Local 9, Barrio El Porvenir.
Tel. (572) 6830090/4631, Telefax: (572) 6830477.
call@lincolnelectric.com.co

MEDELLIN:
Calle 29 D No. 55-131, Zona Industrial de Belén.
Tel: (574) 351 6581, Telefax: (574) 235 9486.
medellin@lincolnelectric.com.co
BARRANQUILLA:
Calle 50 No. 43 - 111.
Tel. (575) 341 8299..
barranquilla@lincolnelectric.com.co

**DEPARTAMENTO ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD
LINCOLN SOLDADURAS DE COLOMBIA LTDA.**

CERTIFICADO DE INSPECCIÓN DE METALES DE APORTE

Que el electrodo **LINCOLN GRICON 15** de la clase **E 7018**, cumple con los requerimientos de calidad exigidos por la norma ANSI/AWS SFA 5.1 E 7018

LOTE: 14347424

	COMPOSICIÓN QUÍMICA TÍPICA %*								
	C	Mn	Si	S	Ni	Cr	Mo	P	V
Especificación AWS A.5.1.	0.15	1.60	0.75	0.035	0.30	0.20	0.30	0.035	0.08
LSC	0.06	1.20	0.33	0.01	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00

	PROPIEDADES MECÁNICAS*			
	Punto de Fluencia N/mm2	Resistencia a la Tracción N/mm2	Alargamiento %	Energía Absorbida, J (°C)
Especificación AWS A.5.1. (Min)	400	490	22	27 (-30)
LSC	452	549	30	70 (-30)

*El lote fabricado con los mismos estándares de calidad y control que se utilizaron para los ensayos del certificado de conformidad

LINCOLN SOLDADURAS DE COLOMBIA LTDA

Zulma A Blanco Santana

Zulma Angélica Blanco Santana - Aseguramiento de Calidad y Normalización
Sistema de Gestión de la calidad aprobado según norma NTC - ISO 9001:2008.
Certificado Nro. CO 234200 Expedido por BUREAU VERITAS.



五矿营口中板有限责任公司
Wuyang Iron and Steel Co., Ltd.

产品质量证明书
INSPECTION CERTIFICATE

辽宁省营口市老边区冶金街
Yejin street, Liaokian
District, Yingkou, Liaoning, P. R. China
115005 YINGKOU, CHINA
TEL: 0417-3256081 FAX: 0417-3256057

供货厂家(SUPPLIER)	Sansung C&T Corporation	产品名称(PRODUCT)	热轧钢板 HOT ROLLED PLATE	证明书编号(CERTIFICATE)	2070015082015047674
交货状态(DELIVERY CONDITION)	Sansung C&T Corporation	技术条件(SPECIFICATION)	热轧 (AR)	签发日期(DATE OF ISSUE)	2015-06-01
合同编号(CONTRACT NO.)	YGCH35160390043-B-03	车号(TRAIN NO.)	ASTM A572/A572M	到站(DESTINATION)	
合同序号	1	客户PO			

牌号 GRADE	批号 BATCH NO.	炉号 HEAT NO.	规格尺寸(mm) DIMENSION			件数 PIECES	重量 (ton) WEIGHT	拉伸试验(TENSILE TEST)					冲击试验 IMPACT TEST	超声波检测 ULTRASONIC TEST					
			T	B	L			屈服强度 ReH (N/mm2)	屈服强度 ReL (N/mm2)	抗拉强度 Rm (N/mm2)	伸长率 A (%)	尺寸mm2		温度 (°C)	1	2	3	探伤率 RATE	探伤结果 RESULT	探伤标准 STANDARD
A 572 Gr. 50	201505090265	15403149A	6	2438	6096	12	8.400			455	605	20	合格						
A 572 Gr. 50	201505090264	15403149A	6	2438	12192	11	15.400			475	620	20	合格						
A 572 Gr. 50	201505090263	15403149A	6	2438	12192	25	35.000			455	615	19	合格						
合计						48	58.800												

批号 BATCH NO.	化学成分(CHEMICAL COMPOSITION)(%)																	
	C	Si	Mn	P	S	Als	Al	Cu	Ni	Co	Mo	V	Ti	B	N	Nb	CEV	Deq
201505090265	0.15	0.22	1.30	0.018	0.004	0.026	0.030	0.316	0.006	0.010	0.001	0.004	0.017	0.0004	0.005	0.033	0.43	
201505090264	0.15	0.22	1.30	0.018	0.004	0.026	0.030	0.316	0.006	0.010	0.001	0.004	0.017	0.0004	0.005	0.033	0.43	
201505090263	0.15	0.22	1.30	0.018	0.004	0.026	0.030	0.316	0.006	0.010	0.001	0.004	0.017	0.0004	0.005	0.033	0.43	

备注 NOTE: ACCORDING TO EN10204 3.1;A1-A1t

本产品已按照标准要求制造和检验，其结果符合要求，特此证明。
WE HEREBY CERTIFY THAT MATERIAL DESCRIBED HAS MANUFACTURED AND TESTED WITH SATISFACTORY RESULTS IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF THE ABOVE MATERIAL SPECIFICATION

签发人 INSPECTOR

冶金技术处处长(部)
DIRECTOR OF METALLURGICAL DEPARTMENT (STAMP)

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASME IX, boiler and pressure vessel code. Welding, brazing, and fusing qualifications. Qualifications standard for welding, brazing, and fusing procedure; welders; brazers; and welding, brazing, and fusing operators. Edición Julio 1 de 2013.
- AWS QC1, Norma para la certificación de inspectores de soldaduras AWS, modulo procesos de unión y corte. Edición 2007.
- Referencia tomada de: Corporación mexicana de investigación en materiales división de estudios de posgrado. Manejo de códigos. Elaboración del procedimiento de soldadura (WPS) y registro calificación de procedimiento (PQR) conforme al código ASME IX. México, 2013. Recuperado el (12 de octubre de 2015) disponible en: <http://es.slideshare.net/danielbreak/asme-section-ix-wps-y-pqr>.
- Referencia tomada de: Enrique E. Niebles y William G. Arnedo. Procedimientos de Soldadura y Calificación de Soldadores: una Propuesta de Enseñanza y Guía de Aplicación para la Industria. Universidad Autónoma del Caribe, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Mecánica. Barranquilla-Colombia. 2009. Recuperado el (15 de Septiembre de 2015) disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v20n3/art04.pdf>

- Referencia tomada de: Soldaduras West Arco. Procedimientos de soldadura para estructuras metálicas de acero. De la página 37 a la 39. Recuperado el (01 de octubre de 2015) disponible en: <http://www.andi.com.co/cf/Documents/Procedimientos%20de%20Soldadura%20para%20Estructuras%20Met%C3%A1licas%20de%20Acero.pdf>.