



TECNOLOGICO NACIONAL DE MEXICO

PROYECTO DE TRABAJO PROFESIONAL

OPCION 7

MEMORIA DE EXPERIENCIA PROFESIONAL

**DESARROLLO DE ESPECIFICACION DE PROCESO DE
SOLDADURA APLICADO A TUBERIA**

ING. ANTONIO RUBEN BENITEZ GASCA

ASESOR INTERNO SUGERIDO

ADRIAN ANDRADE MORALES

INGENIERIA NAVAL

CARRERA TERMINAL

AAMA850917031301

CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
ANÁLISIS DE FUNDAMENTOS	3
1. ANTECEDENTES	3
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
3. JUSTIFICACIÓN	4
4. OBJETIVO	4
5. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	4
5.1. DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA.	4
5.1.1. SOLDADURA	4
5.1.2. PQR	4
5.1.3. WPQR	5
5.1.4. WPS (EPS)	5
5.1.5. SMAW	5
5.1.6. FCAW	5
5.1.7. MATRIZ DE SOLDADURA	6
5.1.8. VARIABLES	6
5.1.8.1. VARIABLES ESENCIALES.	6
5.1.8.2. VARIABLES NO ESENCIALES.	6
5.2. MATRIZ DE ESPECIFICACIONES EXISTENTES.	6
5.3. NORMAS, ESTANDARES Y CODIGOS DE SOLDADURA.	7
5.3.1. AWS D1.1. CÓDIGO PARA SOLDADURA ESTRUCTURAL – ACERO.	7
5.3.2. ASME IX. REQUERIMIENTOS GENERALES DE SOLDADURA.	7
5.3.3. API 1104.	7
PROCEDIMIENTO O MÉTODO	8
6. PROCEDIMIENTO DEL DESARROLLO DE ESPECIFICACIÓN DE PROCESO DE SOLDADURA (WPS) APLICADO A TUBERÍAS.	8
6.1. CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	8
6.2. REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR)	8
6.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL BASE	8
6.2.2. SOLDADURA	9
6.2.3. DISEÑO DE JUNTA	9
6.2.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	9
6.2.5. SOLDADOR HOMOLOGADO	9
6.2.6. EQUIPO	10
6.3. ALCANCE Y LIMITACIONES.	10
6.4. ENSAYOS DE LABORATORIO MECÁNICOS	10
6.4.1. ENSAYOS DESTRUCTIVOS	11
6.4.1.1. PRUEBAS MECÁNICAS	11
6.4.1.1.1. PRUEBA DE IMPACTO	11
6.4.1.1.2. PRUEBA DE TENSION	12
6.4.1.1.3. ENSAYO DOBLEZ	12
6.4.1.1.4. ENSAYO DE DUREZA	12
6.4.1.2. PRUEBAS QUÍMICAS	13
6.4.1.3. PRUEBAS METALOGRAFICAS	13
6.4.2. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	13
6.4.2.1. INSPECCIÓN VISUAL (VT)	14
6.4.2.2. LIQUIDOS PENETRANTES (PT)	15

6.4.2.3.	PARTICULAS MAGNÉTICAS (PM)	15
6.4.2.4.	RADIOGRAFIA (RT)	15
6.4.2.5.	ULTRASONIDO (UT)	15
7.	CRONOGRAMA Y SECUENCIA DE CALIFICACIÓN	16
8.	PARAMETROS PARA LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO.	16
	ANÁLISIS DE RESULTADOS	17
9.	EVIDENCIAS	18
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20
	FUENTES DE INFORMACIÓN	21
	ANEXOS	22

ÍNDICE DE CUADROS GRÁFICAS O FIGURAS

Tabla 1.	Requerimientos Generales de Soldadura de acuerdo a Código ASME IX.	22
Tabla 2.	Tipos de variables para WPS.	22
Tabla 2A.	Tipos de variables para WPS.	23
Tabla 3.	Variables esenciales de los diferentes procesos de soldadura, según ASME IX	24
Tabla 4.	Resumen Variables de los diferentes procesos de soldadura, según ASME IX	25
Tabla 5.	Posiciones de soldadura para tubería, según ASME IX	26
Tabla 6.	Posiciones de soldadura para tubería, según ASME IX	27
Tabla 6A.	Posiciones de las piezas de prueba que deben removerse del tubo, Ref. ASME IX	28
Tabla 6B.	Posiciones de las piezas de prueba que deben removerse del tubo, Ref. ASME IX	29
	SECUENCIA FOTOGRAFICA	30
Tabla 7.	PQR	31
Tabla 8.	WPS	32
Tabla 8.	WPS (Continuación)	33

RESUMEN

El presente informe documentar la elaboración, calificación y certificación de un nuevo procedimiento de Soldadura (WPS) para tuberías de acero de bajo carbono para la construcción de líneas de tubería en general, soldadas con una combinación de proceso Shielded Metal Arc Welding (SMAW) y Fluxcore Arc Welding (FCAW), soportado por una calificación (PQR) que dicta una serie de pasos importantes para ejecutarlo de una manera correcta, incluyendo los protocolos de pruebas, además que dicho procedimiento será calificado según lo especificado en el estándar de soldadura ASME IX.

INTRODUCCIÓN

El presente informe tiene como objeto describir de manera breve y concreta uno de los principales aportes durante mi carrera profesional que es el desarrollo de especificaciones de procesos de soldadura haciendo uso de las buenas prácticas y normativa aplicable.

Inicié mi carrera profesional en el año 2008 como supervisor de soldadura y en el año 2012 obtuve mi asenso a superintendente de soldadura, en el astillero Talleres Navales del Golfo (Hutchison Ports TNG) miembro del grupo Hutchison Ports, la división de puertos y servicios relacionados de CK Hutchison Holdings.

Hutchison Ports es el principal inversor y desarrollador mundial con una red de operaciones portuarias en 52 puertos que abarcan 26 países de Asia, Oriente Medio, África, Europa, América y Australia.

Hutchison Ports TNG es el astillero del Golfo de México que cuenta con más de 80 años de historia. Ubicado en el Puerto de Veracruz, realiza trabajos de reparación y mantenimiento a buques, plataformas, barcasas y todo tipo de estructuras y equipo marítimo.

Los principales servicios sobre los que Hutchison Ports TNG se desempeña como experto gracias a su mano de obra certificada son:

- Limpieza y pintura.
- Renovación de acero y tubería.
- Trabajos Mecánicos y eléctricos.
- Inspección y calibración de equipos de navegación, comunicación y control.
- Inspecciones y reparaciones submarinas.
- Suministro de materiales

Por los años 2008-2013 incrementó la demanda con proyectos de volúmenes de renovación de acero de hasta 300 toneladas, en donde tras observar las áreas de oportunidad de la disciplina de aceros surgieron necesidades para optimizar los procesos de soldadura así como desarrollo de nuevos procedimientos.

A largo de este documento se describirá de manera general los pasos y parámetros a considerar desarrollar una nueva especificación de un proceso de soldadura.

ANÁLISIS DE FUNDAMENTOS

1. ANTECEDENTES

En la industria naval, el conjunto estructural de la mayoría de las embarcaciones en la actualidad es el conformado por elementos de acero dulce y de acero de alta resistencia. El acero es un material que tiene excelentes propiedades de ductilidad y adecuación al mecanizado y la soldadura, así como la resistencia que necesitan estos según su área de influencia y para el correcto desempeño de una variada serie de funciones, entre ellas su aplicación en sistemas auxiliares como la tubería.

A lo largo de estos últimos diez años, he sido partícipe de diversos proyectos en los que la disciplina de soldadura ha sido parte medular de los procesos de mantenimiento, reparación, fabricación y construcción tanto de embarcaciones como de estructuras de la rama metalmecánica. También hemos observado que nuevas regulaciones han orillado a los armadores a adecuar su flota marítima al cumplimiento de nuevas disposiciones, por ejemplo las ambientales.

Un claro ejemplo es que tras la aplicación de nuevas regulaciones en materia ambiental en el marco de la Organización Marítima Internacional (OMI) del Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos de los Buques, adoptado en Londres, el 13 de febrero de 2004 se han adoptado medidas que regulan la Gestión del agua de lastre de los buques. Esto ha traído como consecuencia la adaptación de nuevos sistemas auxiliares que contrarrestan la introducción de organismos acuáticos perjudiciales y agentes patógenos por conducto del agua de lastre de los buques que suponen una amenaza para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica, llamados "especies invasivas" (Regla B-3 de dicho Convenio), a través de:

- Un plan de gestión del agua de lastre.
- Un libro registro del agua de lastre.
- Un Certificado internacional de gestión del agua de lastre (para buques de arqueo bruto igual o superior a 400 tons): que se expide en nombre de la Administración (Estado de abanderamiento) y certifica que el buque lleva a cabo la gestión del agua de lastre de conformidad con lo dispuesto en el Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre (Ballast Water Management Convention). También especifica qué norma cumple el buque, así como la fecha de expiración del Certificado.

2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Las nuevas construcciones han implementado la adaptación de nuevos sistemas certificados de gestión de agua de lastre que permiten actuar como un filtro que evita la inducción de nuevos agentes invasivos a los ecosistemas locales.

Lo anterior ha incrementado la demanda de instalación de estos sistemas con la finalidad de cumplir con las normas internacionales, lo cual ha desafiado a los astilleros en innovar en sus procesos de construcción y mantenimiento para reducir sus tiempos de reparación.

3. JUSTIFICACIÓN

A raíz de un análisis de oportunidades de mejora en el primer semestre del año 2021, se determinó que para la ejecución de las actividades de soldadura para tuberías en general ha surgido la necesidad de mejorar procesos con la finalidad de incrementar la rentabilidad de la organización, como ejemplo la combinación de procesos SMAW-FCAW, dado que a través del proceso FCAW el aporte tubular denota un exceso de material residual en el fondeo, lo cual en el proceso SMAW o electrodo revestido hay mayor control; no obstante, actualmente no se cuenta con un procedimiento de soldadura certificado donde se utilice este tipo de procesos combinados utilizando 100% CO₂ y es que un procedimiento de soldadura validado por una Sociedad de Clasificación constituye una garantía de calidad en la ejecución de la unión y, por tanto en la producción de soldadura.

4. OBJETIVO

El objetivo es desarrollar, documentar y calificar una mejora a la especificación de procedimiento de soldadura aplicado a tubería de manejo de agua de lastre empleando procesos SMAW-FCAW utilizando 100% CO₂ de acuerdo a la norma ASME IX, además de proporcionar la información necesaria para orientar al usuario y asegurar el cumplimiento de la norma.

5. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

5.1. DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA

5.1.1. SOLDADURA. Proceso metalúrgico que consiste básicamente en unir metales llevando las superficies en contacto a una temperatura extremadamente alta hasta que se fundan junto con un material de relleno.

5.1.2. PQR. Es la abreviatura de Procedure Qualification Record, que significa "Registro de Calificación del Procedimiento", para indicar que significa este documento, primero vamos a indicar que solo se utiliza cuando se realizan WPS que son calificados por ensayos, entonces iniciamos con lo que significa, como su nombre lo dice es un registro de calificación, es la etapa previa antes de desarrollar el procedimiento final WPS, aquí es donde proponemos las diferentes variables que se utilizan en la soldadura (material base, material de aporte, posición, diseño de junta, temperaturas de pre y post calentamiento, progresión, técnica, etc), todas estas propuestas salen del conocimiento y

experiencia de o las personas que están elaborando el PQR, una vez que se tiene una exitosa soldadura visual es que se extraen probetas para que sean ensayadas en un laboratorio, el tipo y cantidad de ensayos lo define el código o norma que están utilizando, después de obtener un resultado satisfactorio de estos ensayos, es que se procede a plasmar en un documento escrito estas variables utilizadas que inicialmente eran propuestas, ahora ya se vuelven las variables de soldadura calificadas que dicho de otro manera es el Registro de Calificación del Procedimiento PQR las cuales han generado una unión de soldadura exitosa. Entonces es que con este PQR se puede proseguir a elaborar uno o varios WPSs según nuestro requerimiento.

5.1.3. WPQR. Es la abreviatura de Welder Performance Qualification Record, que traducido al español significa "Registro de Calificación del Rendimiento del Soldador", en términos simples es el documento escrito que demuestra que un soldador es calificado (conocido comúnmente como Homologado), este documento se obtiene después de que el soldador ha pasado satisfactoriamente una prueba práctica de habilidad para desarrollar un determinado WPS.

5.1.4. WPS (EPS). Es la abreviatura de Welding Procedure Specification, que significa "Especificación del Procedimiento de Soldadura", que es básicamente el documento escrito donde nos indica de forma completa de cómo realizar una exitosa unión soldada (variables como material base, material de aporte, posición, diseño de junta, temperaturas de pre y post calentamiento, progresión, técnica, etc), este WPS puede ser pre-calificado o calificado por ensayos, esto va a depender de la forma de realizar el WPS y el tipo de Código o Norma a utilizar. Los Inspectores de Soldadura deben revisar los WPS, estos mismos deben garantizar su completa aplicación a través de su difusión y control hacia las personas que lo aplican, que son directamente los Soldadores Calificados.

5.1.5. SMAW. Por sus siglas en inglés "Shielded Metal Arc Welding" y que traducido al español significa "Proceso de soldadura por arco metálico protegido con electrodo recubierto" (MANUAL). Es un proceso de soldadura por el arco en el cual el arco produce entre un electrodo recubierto y el charco de la soldadura. La protección se obtiene a partir de la descomposición del recubrimiento, no se aplica presión y el metal de aporte procede principalmente del electrodo. También se le conoce con los nombres de "soldadura manual", "soldadura de varilla" y la "soldadura eléctrica".

5.1.6. FCAW. Por sus siglas en inglés "Flux Cored Arc Welding" y que traducido al español significa "Proceso de Soldadura por Arco con Electrodo Tubular con Núcleo de Fundente" (SEMIAUTOMATICO). Es un proceso de soldadura por arco, el cual se establece entre un electrodo de metal de aporte continuo y el charco de soldadura formando en la pieza de trabajo. La protección se obtiene a través de la composición de un fundente contenido en el núcleo del electrodo

tubular, y puede o no ser requerida una protección adicional con un gas o una mezcla de gases que se suministra externamente.

5.1.7. MATRIZ DE SOLDADURA. Es un diagrama simplificado, utilizado como herramienta y que ayuda a visualizar las relaciones entre procesos de soldadura certificados.

5.1.8. VARIABLES. Son Los parámetros y condiciones que varían de una operación de soldadura a otra o dentro de una misma operación y que influyen en mayor o menor grado sobre las propiedades de las uniones soldadas, son conocidas con el nombre de variables de soldadura, las cuales se encuentran en el apartado ASME IX QW 250-280.

Existen diferente variables tales como las variables esenciales y no esenciales.

5.1.8.1. Variables esenciales. Son aquellas cuyo cambio (según es descrito en las tablas Nos. QW-250 a QW-251.3 de variables para cada proceso) afecta las propiedades mecánicas – con excepción de la resistencia al impacto- de la junta soldada y requiere la recalificación del procedimiento. Ejemplos de variable esencial son los cambios en el espesor del metal base (fuera del espesor calificado, según las tablas de variables de cada proceso y condición) y la inclusión y la exclusión de tratamiento térmico posterior de la soldadura.

5.1.8.2. Variables no esenciales. Es un cambio en una condición de soldadura no afecta las propiedades mecánicas de la unión y no requiere recalificación.

Por su parte, ni AWS D1.1 ni API 1104 definen expresamente que es una variable esencial, pero en todas las normas se indica con precisión cuales son estas para cada proceso de soldadura, y se establece que un cambio con una o más de este tipo de variables, hace obligatoria la recalificación de procedimiento.

5.2. MATRIZ DE ESPECIFICACIONES EXISTENTES

Con el paso de los años, la experiencia acumulada ha dejado una serie de registros en los que podemos plasmar de manera resumida las consideraciones y variables de las especificaciones de los procedimientos de soldadura certificados.

Elaborar una matriz de soldadura como herramienta visual nos ayuda a identificar necesidades y en algunos casos replicar casos de éxito.

WPS	Proceso	Materia l	Características						
			Aporte	Gas	Posición	Diámetr o calificad o	Espesor calificad o	Código calificad o	Clase
1	FCAW + SMAW	Tubo	E7018-1/ E71T-1	Ar+CO2	6G	4" and over	3/8" to unlimited	AWS D1.1	ABS
2	GTAW + FCAW	Tubo	ER70S-2/ E81T1K2MJ	Ar-Ar+CO2	1G - 5G	Todos	19.1 - 36.6 mm	ASME IX	LR

3	GTAW + FCAW	Tubo	ER70S-2/ E71T-1	Ar-Ar+CO2	6G	4" and over	3/8" to unlimited	ASME IX	ABS
4	FCAW	Tubo	E81T1-K2MJ/ E71T-1	CO2	6G	4" and over	3/16" to unlimited	AWS D1.1	ABS

Propuesta	SMAW + FCAW	Tubo	E6010 / E71T- 1CA4-CS1	100%CO2	6G	Ilimitado	3/16" to 1"	ASME IX	ABS
-----------	-------------	------	---------------------------	---------	----	-----------	-------------	---------	-----

5.3. NORMAS, ESTÁNDARES Y CÓDIGOS DE SOLDADURA

Para el desarrollo del nuevo procedimiento de soldadura y tras evaluar la matriz de soldadura de procedimientos existentes, se utilizarán solo como referencia las siguientes normas, estándares y códigos reconocidos mundialmente:

5.3.1. AWS D1.1. Código para Soldadura Estructural – Acero. AWS es el acrónimo de American Welding Society, una organización sin fines de lucro para avanzar en la ciencia, la tecnología y la aplicación de la soldadura y los procesos de unión. Este código cubre los requisitos de soldadura para cualquier tipo de estructura soldada hecha de los aceros de construcción al carbono y de baja aleación de uso común. Las cláusulas 1 a 11 constituyen un conjunto de reglas para la regulación de la soldadura en la construcción de acero. Hay ocho anexos normativos y once informativos en este código.

5.3.2. ASME IX. Requerimientos Generales de Soldadura. ASME es el acrónimo de American Society of Mechanical Engineers, una asociación de profesionales, que ha generado un código de diseño, construcción, inspección y pruebas para equipos, entre otros, calderas y recipientes sujetos a presión. La Sección IX del Código de Calderas y Recipientes Sujetos a Presión de la ASME se relaciona con la calificación de soldadores, operarios de soldadura, soldadores para soldadura fuerte y operarios de soldadura fuerte, y los procedimientos que ellos emplean al soldar o al hacer soldadura fuerte de acuerdo con el Código de Calderas y Recipientes Sujetos a Presión de la ASME y con el Código para Tubería de Presión ASME B31. Está dividido en dos partes: la Parte QW da requerimientos para soldar y la Parte QB contiene requerimientos para soldadura fuerte.

5.3.3. API 1104. El estándar API 1104 cubre las soldaduras por arco y gas de uniones a tope, filete y socket de tuberías de acero al carbono y de baja aleación utilizadas en la compresión, bombeo y transporte de petróleo crudo, productos del petróleo, gases combustibles, dióxido de carbono, nitrógeno y, donde sea aplicable, cubre soldaduras en sistemas de distribución. Es aplicable tanto para construcciones nuevas como aquellas que se encuentran en servicio.

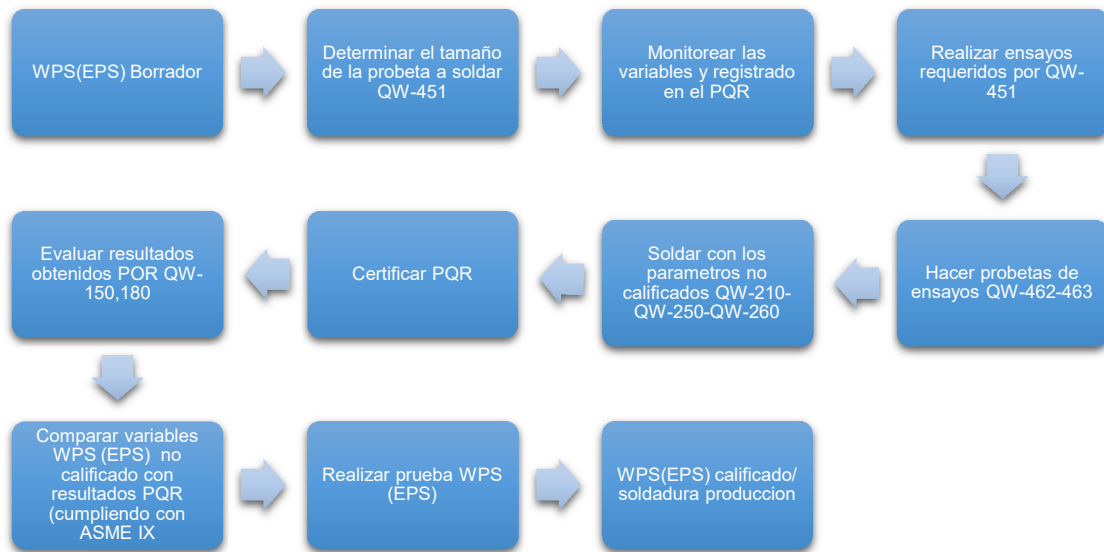
PROCEDIMIENTO Ó MÉTODO

6. DESARROLLO DE ESPECIFICACIÓN DE PROCESO DE SOLDADURA (WPS) APLICADO A TUBERÍAS

A diferencia de AWS D1.1 el cual es un código para fabricación estructural, para este caso se considera calificar el procedimiento de soldadura en cuestión de acuerdo a ASME IX, código para soldaduras en recipientes a presión.

6.1. CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

La Sección IX del Código de Calderas y Recipientes Sujetos a Presión de la Norma ASME Apartado QW 200 nos muestra la secuencia de la elaboración de WPS y PQR, la cual se tomó como base para la elaboración del Plan del desarrollo del nuevo procedimiento de soldadura.



6.2. REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR)

6.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL BASE.

Para el desarrollo de la prueba dentro de sus procesos constructivos, el material base utilizado fue Tubería de acero sin costura A-106 Gr-B.

En este caso particular, las probetas serán preparadas utilizando un tubo de 8" de diámetro cedula 80, material ASTM A-106 Gr. B.

COMPOSICIÓN QUÍMICA PARA TUBERÍA										
Grado del Acero	C Max	Mn Max	P Max	S Max	Si Min	Cr Max	Cu Max	Mo Max	Ni Max	v Max
A-106 Gr-B	0.25	0.27-0.93	0.04	0.04	0.1	0.4	0.4	0.15	0.4	0.08

6.2.2. SOLDADURA.

En relación al material de aporte, de acuerdo al código AWS 5.1 y el tipo de material base mencionado en el punto 6.2.1, la soldadura seleccionada que cumple con características compatibles al material base son:

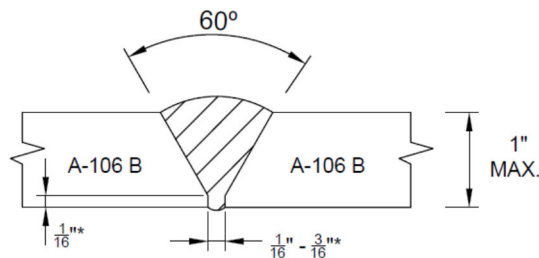
FCAW - Soldadura aporte tubular AWS A5.36 E71T1-C1A4-CS1 Ø 0.052".

SMAW- Soldadura de electrodo revestido E-6010 DE Ø 1/8"

6.2.3. DISEÑO DE JUNTA.

El diseño de la junta se refiere a dos piezas a soldar que requieren preparación mecánica de tal forma que al unirlos formen un bisel, generalmente tipo (V).

El espesor del tubo o metal base para este procedimiento es el máximo espesor del tubo a soldar en el nuevo WPS que es de 1" de espesor, con la preparación en bisel en (V) con ángulos de 30° para que en su totalidad sean 60° con un tacón de 1/16" con un a separación de 1/16" a 3/16" posteriormente la prueba es a raíz abierta sin respaldo para lograr una buena penetración de la soldadura, así también el relleno de toda la sección, como se muestra en la figura siguiente.



6.2.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso a emplear es una combinación de proceso manual y semiautomático lo cual consiste en el proceso SMAW (manual) con un electrodo revestido donde inicialmente se aplica el fondeo (Root) seguido del paso caliente (Hot-Pass) de la junta a soldar.

Posteriormente se continúa con el proceso FCAW (semiautomático) con un aporte tubular donde iniciamos con el relleno de la junta a soldar hasta finalizar la junta.

6.2.5. SOLDADOR HOMOLOGADO

Para efectos del desarrollo de pruebas (ensayos), se selecciona con base a sus habilidades el personal apropiado para efectuar los ensayos correspondientes

para el proceso de calificación del nuevo procedimiento de soldadura SMAW-FCAW y se llevará un registro conforme a QW-301.3.

6.2.6. EQUIPO

Los equipos con lo cual se ejecuta el proceso de soldadura para la tubería de agua de lastre son los siguientes (Ver sección Anexos):

Para el inicio del proceso SMAW se considera:

- ✓ Fuente de poder DC600
- ✓ Cables para soldar (corriente / tierra)
- ✓ Porta electrodo
- ✓ Prensa para tierra
- ✓ Pulidor
- ✓ Amperímetro de gancho.

Para el proceso de FCAW se considera:

- ✓ Fuente de poder DC600
- ✓ Cables para soldar (corriente/tierra)
- ✓ Prensa para tierra
- ✓ Alimentador de Alambre LN25
- ✓ Pulidor
- ✓ Amperímetro de gancho.

6.3. ALCANCE Y LIMITACIONES

Este informe tiene como objeto fundamental documentar la elaboración, calificación y certificación de un nuevo procedimiento de Soldadura (WPS), para juntas a tope con ranura en V, de espesor de 3/16" a 1" y diámetro ilimitado, en tuberías de acero de bajo carbono para la construcción de líneas de tubería en general, soldadas con una combinación de proceso Shielded Metal Arc Welding (SMAW) y Fluxcore Arc Welding (FCAW), en metal base ASTM A-106 Gr. B, soportado por una calificación (PQR), el procedimiento será calificado según lo especificado en el estándar de soldadura ASME IX; con la meta de implementar en adelante, todos los WPS requeridos bajo dicha técnica para los futuros proyectos de reparación naval y metalmecánica. Por motivos de confidencialidad de la información no se muestran las evaluaciones económicas de consumibles de soldadura empleados, del proceso de certificación y costos de pruebas del procedimiento en cuestión.

6.4. ENSAYOS DE LABORATORIO MECANICOS

Como parte de la calificación de esta nueva Especificación de Procedimiento de Soldadura, de acuerdo ASME IX - QW-302 ensayos de laboratorio mecánicos son requeridos. Para un mejor entendimiento a continuación se explica la clasificación de estos en ensayos destructivos y no destructivos.

Los ensayos que aplican están definidos en el apartado QW-463.1 de ASME IX donde se realiza los cortes específicos de la prueba hecha en tubo en posición 6G.

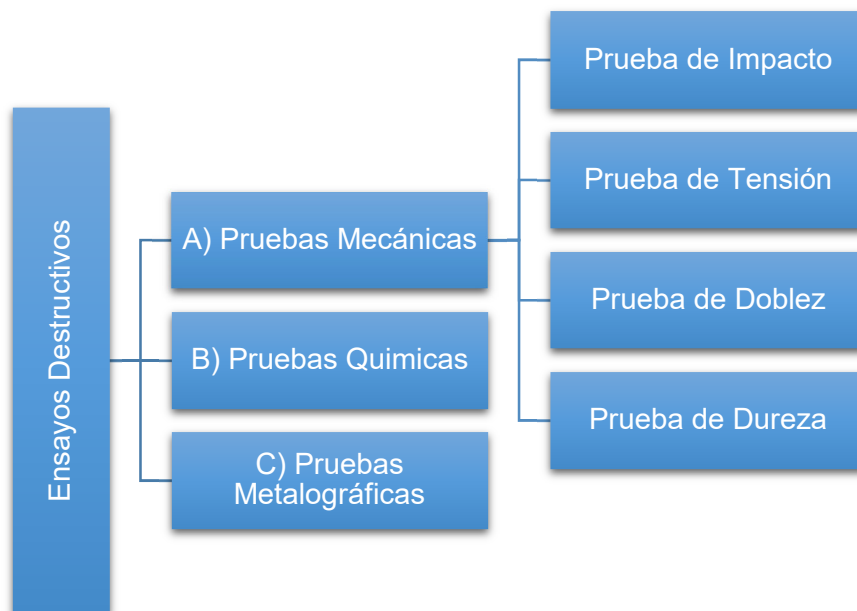
Los ensayos destructivos y no destructivos consisten en aplicar un campo de energía o un método de prueba a la pieza o material bajo ensayo, detectar modificaciones sufridas en el campo de energía o medio de prueba en su interacción con la pieza o material evaluar el significado de dichas modificaciones y relacionarlas con la presencia de discontinuidades.

Objetivo de los ensayos.

- a) Detectar discontinuidades en materiales y estructuras sin destrucción de los mismos (Detección).
- b) Determinar la ubicación, orientación, forma, tamaño y tipo de discontinuidad.
- c) Establecer la calidad del material.
- d) Prevenir Accidentes.
- e) Asegurar la calidad y la confiabilidad

6.4.1. ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Los ensayos, pruebas o exámenes destructivos pueden definirse como aquellos en los cuales se destruye o inutiliza el espécimen probado. Las pruebas destructivas a que se someten las juntas y productos soldados se pueden clasificar en mecánicas, químicas y metalográficas, y cada una de estas clasificaciones incluye un número relativamente grande de pruebas particulares para satisfacer los requisitos especificados.



6.4.1.1. PRUEBAS MECÁNICAS

6.4.1.1.1. PRUEBAS DE IMPACTO

Los métodos comunes de prueba para medir esta tenacidad en las juntas soldadas son: impacto charpa en la probeta con ranura en "V", desgarre dinámico, la tenacidad de la fractura en plano de deformación y caída de peso. La prueba de tenacidad más empleada es el impacto Charpy en probeta con ranura "V"; su utilidad radica en que puede reproducir el cambio de comportamiento dúctil a frágil de los aceros en casi el mismo intervalo de temperaturas que las observadas en las condiciones reales de servicio de estructuras o componentes, cosa que no sucede en los ensayos de tensión ordinarios, en los que la transmisión dúctil-frágil ocurre a temperaturas mucho más bajas.

Esta prueba por lo general se usa para especificar los criterios mínimos de aceptación con que deben cumplir los metales base y de aporte.

6.4.1.1.2. PRUEBA DE TENSIÓN

Las pruebas de tensión se emplean para determinar la resistencia de los materiales bajo esfuerzos de tracción (aquellos que son normales – perpendiculares- al plano sobre el actúan y son producidos por fuerzas cuyas direcciones se apartan de tal plano); también sirve para evaluar la ductibilidad de los materiales.

Durante las pruebas de tensión se determinan las siguientes propiedades:

- Resistencia a la tensión (tensile strength), que es el esfuerzo de tracción máximo de un material es capaz de soportar, también se le llama resistencia última. Se calcula dividiendo la carga máxima (la de rotura) durante la prueba entre el área de la sección transversal original del espécimen.

- Resistencia de fluencia o cadencia (yield strength), es el esfuerzo (de ingeniería) al cual, de manera convencional se considera que comienza la elongación plástica del material.

6.4.1.1.3. PRUEBA DOBLEZ

Las pruebas de doblez se emplean para evaluar La ductibilidad y sanidad (ausencia de efectos) de las juntas soldadas, y la ductibilidad por lo general se juzga verificando si el espécimen se fracturó o no bajo condiciones especificadas de prueba. Estas pruebas consisten en doblar o plegar un espécimen bajo cargas aplicadas gradual y uniformemente, aunque a veces también se aplican mediante impactos. Hay cuatro tipos de pruebas de doblado: libre, guiado, semiguído y "dobleza alrededor".

6.4.1.1.4. PRUEBA DE DUREZA

La dureza es la resistencia que ofrece un material a la deformación permanente, a la depresión (indentation) o al rayado; puede considerarse como la resistencia que ofrece un metal a ser penetrado. Las pruebas de dureza se emplean en la evaluación de metales base, metal de soldadura depositado y zonas afectadas térmicamente. Las mediciones de dureza pueden proporcionar información acerca de los cambios metalúrgicos causados por las operaciones de soldadura. En los aceros simples al carbono y en los de baja aleación, una dureza alta por lo general indica la presencia de martensita en la zona afectada térmicamente, mientras que valores bajos de dureza pueden indicar condiciones de soldadura en las cuales el material se reblandeció debido a efectos similares a los producidos por el tratamiento térmico de revenido, o aún el de recocido.

6.4.1.2. PRUEBAS QUÍMICAS

Las pruebas químicas se emplean con dos propósitos principales: determinar la composición química de metales base y metales de soldadura depositada y para evaluar la resistencia a la corrosión de las juntas soldadas. La composición de los metales base y los electrodos y metales de aporte, o el metal de soldadura depositado por estos últimos (durante pruebas estandarizadas) es determinada por los fabricantes de dichos productos, y es un requisito que estos proporcionen los reportes o certificados de composición química correspondientes que demuestren que tales productos cumplen con los requisitos especificados por las normas aplicables, cumplimiento que debe ser verificado por el inspector de soldadura.

6.4.1.3. PRUEBAS METALGRÁFICAS

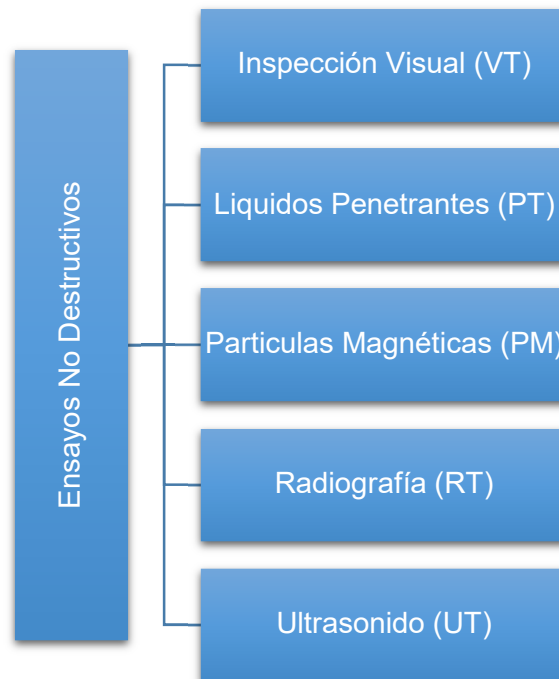
Las pruebas metalográficas consisten en la obtención, preparación (mediante corte, desbaste y pulido y ataque químico o electroquímico) y evaluación de muestras metálicas representativas en la estructura metalúrgica que se desea examinar. El examen puede hacerse a simple vista, a pocos aumentos, por medio de microscopios óptico o electrónico y por difracción de rayos-X. En la evaluación de las juntas soldadas, los exámenes metalográficos se usan para determinar uno o más de los siguientes aspectos: - la sanidad (ausencia de defectos) de las juntas - la distribución de inclusiones no metálicas en la junta - el número de pasos de soldadura - la localización y la profundidad de la penetración de la soldadura - la extensión de la zona térmicamente afectada - la estructura metalúrgica del metal de soldadura y la zona afectada térmicamente.

6.4.2. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.

Los exámenes no destructivos –END- son definidos, por la norma ANSI/AWS A3.0, como el acto de determinar la adecuación de algún componente o material para su propósito previsto, empleando técnicas que no afectan su utilidad. Estos exámenes también son conocidos con otros nombres, tales como pruebas o

ensayos no destructivos o inspección y evaluación no destructiva. El documento AWS referido considera que los dos últimos citados no son términos estándar, pero en algunas normas los términos anteriores se emplean de manera específica; por ejemplo, en el contexto del código ASME para calderas y recipientes a presión, se estipula que las actividades de control de calidad, incluidas las pruebas no destructivas, deben referirse como exámenes si estas son realizadas por parte del fabricante contratista que los produce, y que el termino inspección queda reservado para las actividades que realiza el inspector.

Los métodos de examen no destructivo que se utilizan en la actualidad son los siguientes:



6.4.2.1. INSPECCIÓN VISUAL (VT)

La inspección visual consiste en la observación cuidadosa de las partes sujetas a examen durante las diferentes etapas de sus procesos de su producción, desde la recepción de las materias primas hasta el producto terminado. La mayor parte de las veces, esta inspección se hace a simple vista, pero puede ser reforzada o hacerse posible mediante el uso de espejos, lupas, endoscopios y otros accesorios. Para que el examen visual resulte efectivo, es necesario que el personal encargado en su ejecución posea ciertos conocimientos, habilidades y atributos, entre estos, estar familiarizado con los materiales y procesos de fabricación involucrados, con las características, discontinuidades o deficiencias posibles o típicas del producto bajo inspección y los criterios de aceptación aplicables o típicas del producto bajo inspección y los criterios aceptación.

6.4.2.2. LÍQUIDOS PENETRANTES (PT)

El examen por líquidos penetrantes es uno de los más antiguos métodos empleados de ensayos no destructivos. Consiste en aplicar un líquido sobre la superficie a examinar, dejarlo a un tiempo sobre este -tiempo de penetración- para permitir que se introduzca dentro de las posibles discontinuidades superficiales, eliminar de la superficie el exceso de líquido para luego extraerlo, por medio de un revelador, mismo que revelara la presencia de las discontinuidades, si las hay, sobre un fondo de contraste que intensifica la visibilidad de las indicaciones.

6.4.2.3. PARTÍCULAS MAGNÉTICAS (PM)

Este método no destructivo permite la detección de discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos, por lo tanto, está limitado a metales ferrosos (con excepción de los aceros inoxidables austeníticos) y algunas aleaciones de níquel y cobalto.

Existe una cantidad relativamente grande de variantes de este método, cada una de las cuales es adecuada para diferentes aplicaciones y niveles de sensibilidad, y antes de seleccionar la variante de la técnica de examen apropiada para una aplicación específica, deben considerarse factores como el tipo, cantidad, peso, forma, condición superficial y propiedades metalúrgica de las piezas a examinar, así como el tipo y localización de las discontinuidades a detectar y el nivel de sensibilidad que se requiere. Las principales variantes de las técnicas tienen que ver con el tipo y forma de aplicaciones de las partículas, la secuencia de operación y con el método de magnetización.

6.4.2.4. RADIOGRAFÍA (RT)

Este método se emplea para detectar discontinuidades internas y superficiales en juntas soldadas y piezas forjadas o fundidas, además de usarse en otro tipo de industrias y aplicaciones, tales como las médicas y de investigación.

6.4.2.5. ULTRASONIDO(UT)

Este método se emplea para detectar y localizar discontinuidades superficiales e internas por medio de haces de ondas sonoras de alta frecuencia que se introducen a las partes a inspeccionar. Los haces sonoros se dirigen por una trayectoria previsible dentro de la pieza y son reflejados por las superficies que los interceptan, y los ecos o reflexiones del sonido se detectan y su señal es amplificada y llevada a un tubo de rayos catódicos, en el cual es desplegada como un desplazamiento vertical.

7. CRONOGRAMA Y SECUENCIA DE CALIFICACIÓN

En el siguiente diagrama se muestra la cronología del plan del proceso de Certificación de nuevo WPS, tomando como base los criterios de ASME IX - QW 200.

		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
1	Detección de necesidad de nuevo EPS Certificado.												
2	Análisis de factibilidad.												
3	WPS(EPS) Borrador.												
4	Determinar el tamaño de la probeta a soldar QW451.												
5	Monitorear las variables y registrado en el PQR.												
6	Realizar ensayos requeridos por QW-451.												
7	Hacer probetas de ensayos QW-462-463.												
8	Soldar con los parámetros no calificados QW-210-QW-250-QW-260.												
9	Certificar PQR.												
10	Evaluar resultados obtenidos POR QW-150,180.												
11	Comparar variables WPS (EPS) no calificado con resultados PQR (cumpliendo con ASME IX.												
12	Realizar prueba WPS(EPS).												
13	WPS(EPS) calificado/ soldadura producción.												

8. PARAMETROS PARA LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO

El documento que respalda el WPS, es el denominado PQR donde se registra los valores reales de las variables del procedimiento de soldadura para elaborar la calificación de unas probetas y los valores de los resultados obtenidos de las pruebas y ensayos efectuados. Al realizar una verificación de la información que se encuentra en el WPS, se comprueban las variables esenciales que se utilizaron para realizar la junta soldada. De acuerdo a ASME IX Apartado QW-483 en este documento se establece el número de probetas, los ensayos a realizar y probetas.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como resultado de los 6 ensayos de calificación realizados se obtuvieron los siguientes registros:

ENSAYOS						
VARIABLE	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
METAL BASE	ASTM A-106 GR.B	ASTM A-106 GR.B	ASTM A-106 GR.B	ASTM A-106 GR.B	ASTM A-106 GR.B	ASTM A-106 GR.B
MATERIAL DE APORTE	E-6010 /E71T-1CA4-CS1	E-6010 /E71T-1CA4-CS1	E-6010 /E71T-1CA4-CS1	E-6010 /E71T-1CA4-CS1	E-6010 /E71T-1CA4-CS1	E-6010 /E71T-1CA4-CS1
POSICIÓN	6G	6G	6G	6G	6G	6G
PRECALENTAMIENTO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
TRAT. TÉRMICO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
GAS	N/A / CO2 100%	N/A / CO2 100%	N/A / CO2 100%	N/A / CO2 100%	N/A / CO2 100%	N/A / CO2 100%
TECNICA	SMAW/ FCAW	SMAW/ FCAW	SMAW/ FCAW	SMAW/ FCAW	SMAW/ FCAW	SMAW/ FCAW
PMTRS. ELÉCTRICOS						
ROOT SMAW	73-33	72-31	70-30	68-30	65-30	66-32
HOTPASS SMAW	93-32	92-31	90-28	85-29	83-29	86-29
FILL FCAW	210-26	206-24	200-22	190-25	189-24	189-24
CAP PASS FCAW	212-26	208-25	196-23	190-26	189-24	189-24

Los ensayos fueron atestiguados por Inspector de la Casa Clasificadora ABS, posteriormente se determinó que la probeta (4) contaba con las características adecuadas para practicar los ensayos correspondientes en laboratorio.

Tras concluir las pruebas de laboratorio definidos por ASME Sección IX Apartado QW-200 y se obtuvieron los siguientes resultados en la probeta (4):

PRUEBA DE TENSIÓN							
Especímen	Ancho	Espesor	Sección	Max. Carga	Último registro de Tensión	Localización de la falla	Tipo de falla
T1	0.755 in	0.491 in	0.371 in ²	28,753 lbf	77,450 psi (534 Mpa)	BASE METAL	DUCTILE
T2	0.755 in	0.491 in	0.371 in ²	29,113 lbf	78,465 psi (541 Mpa)	BASE METAL	DUCTILE

PRUEBA DE DOBLEZ		
Probeta	Tipo y número de figura	Resultado
1	ASME IX QW-462.2 Side Bend	OK / Indication smaller than 1/16"
2	ASME IX QW-462.2 Side Bend	OK / Indication smaller than 1/8"
3	ASME IX QW-462.2 Side Bend	OK / No indications
4	ASME IX QW-462.2 Side Bend	OK / Indication smaller than 1/16"

PRUEBA DE DUREZA							
NÚMERO DE DUREZA:							
Indentación	Dureza	Criterio de Aceptación	Resultado	Indentación	Dureza	Criterio de Aceptación	Resultado
1	165	250 HV MAX	ACCEPTED	11	184	250 HV MAX	ACCEPTED
2	210	250 HV MAX	ACCEPTED	12	179	250 HV MAX	ACCEPTED
3	210	250 HV MAX	ACCEPTED	13	175	250 HV MAX	ACCEPTED
4	204	250 HV MAX	ACCEPTED	14	183	250 HV MAX	ACCEPTED
5	203	250 HV MAX	ACCEPTED	15	186	250 HV MAX	ACCEPTED
6	217	250 HV MAX	ACCEPTED	16	178	250 HV MAX	ACCEPTED
7	214	250 HV MAX	ACCEPTED	17	190	250 HV MAX	ACCEPTED
8	155	250 HV MAX	ACCEPTED	18	199	250 HV MAX	ACCEPTED
9	175	250 HV MAX	ACCEPTED	19	182	250 HV MAX	

PROYECTO FINAL
"DESARROLLO DE ESPECIFICACIÓN DE PROCESO DE SOLDADURA APLICADO A TUBERÍA"

10 183 250 HV MAX ACCEPTED

CARACTERÍSTICAS DEL METAL DE APORTE DEL PROCEDIMIENTO

Paso Num.	Proceso	AWS Classif.	Diámetro	Polaridad	Amps	Volts	W.F. Speed	T.S. range
Root	SMAW	E-6010	1/8"	DC	73	33	N/A	3"/min
Hot Pass	SMAW	E-6010	1/8"	DC	93	32	N/A	3.4"/min
Fill Pass	FCAW	E71T-1CA4-CS1	0.052"	DC	210	26	250"/min	7"/min
Cap	FCAW	E71T-1CA4-CS1	0.052"	DC	210	26	250"/min	9"/min

PRUEBA DE IMPACTO (Charpy)

Sample	Notch loc.	Notch type	test temp.	Energy (ft-lb)	Lateral exp.	% shear
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

RT: OK U.T. : N/A Visual: OK Other: N/A
Break test: NONE

9. EVIDENCIAS



Fig. (A) Prueba de Tensión



Fig. (B) Prueba de Doble

PROYECTO FINAL
"DESARROLLO DE ESPECIFICACIÓN DE PROCESO DE SOLDADURA APLICADO A TUBERÍA"

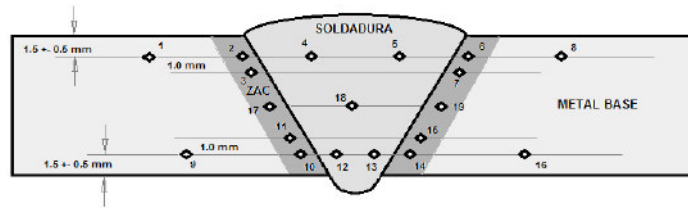


Fig. (C) Croquis mostrando localización de las Indentaciones

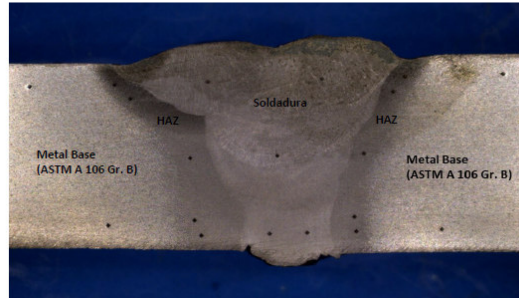


Fig. (D) Fotografía mostrando las Indentaciones

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este proyecto logró satisfactoriamente el objetivo de definir correctamente las variables necesarias para ejecutar la soldadura de tubería de agua de lastre con la garantía de obtener una unión que cumple los estándares de calidad más exigentes.

El resultado satisfactorio de las pruebas llevadas a cabo y registradas en el (PQR) concluyó en la elaboración de una especificación de soldadura que cumple todos los requisitos estipulados tanto en la normativa ASME IX como en las reglas específicas de las sociedades de clasificación para el cual fue homologado.

Como recomendación general aplicable en básicamente todos los EPS es asegurarse que la junta esté libre de grasa, suciedad, residuos y otros objetos extraños antes de la aplicación de la soldadura. Para el acabado la limpieza puede ser mediante limpieza mecánica como cepillo de alambre, carda, pulidor o esmeril. Tales observaciones son incluidas en la sección de instrucciones del nuevo procedimiento de soldadura.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Código ASME Sección IX.
- Guía para la Inspección Visual de Soldaduras AWS B1.1, Grupo de Ensayos No Destructivos, Autor: MSC. Jesús Ruiz Saavedra
- <https://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Paginas/Implementing-the-BWM-Convention.aspx>
- Ing. PREMINGER RUBIANO S. – Símbolos Estándares para Soldadura, Soldadura Fuerte y Pruebas No Destructivas ANSI / AWS A2.4-93 / <https://es.scribd.com/presentation/360624383/guia95>
- Procedimiento para la Aplicación y Reparación de Soldadura. Clave : 291-28000-ma-117-0009, PEMEX Gerencia de la Coordinación Técnica Operativa, Fecha: Diciembre / 2000, Versión: primera
- Procedimientos de Soldadura y Calificación de Soldadores: una Propuesta de Enseñanza y Guía de Aplicación para la Industria; Enrique E. Niebles y William G. Arnedo Universidad Autónoma del Caribe, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Mecánica, Calle 90 No 46-112, Barranquilla-Colombia.

ANEXOS

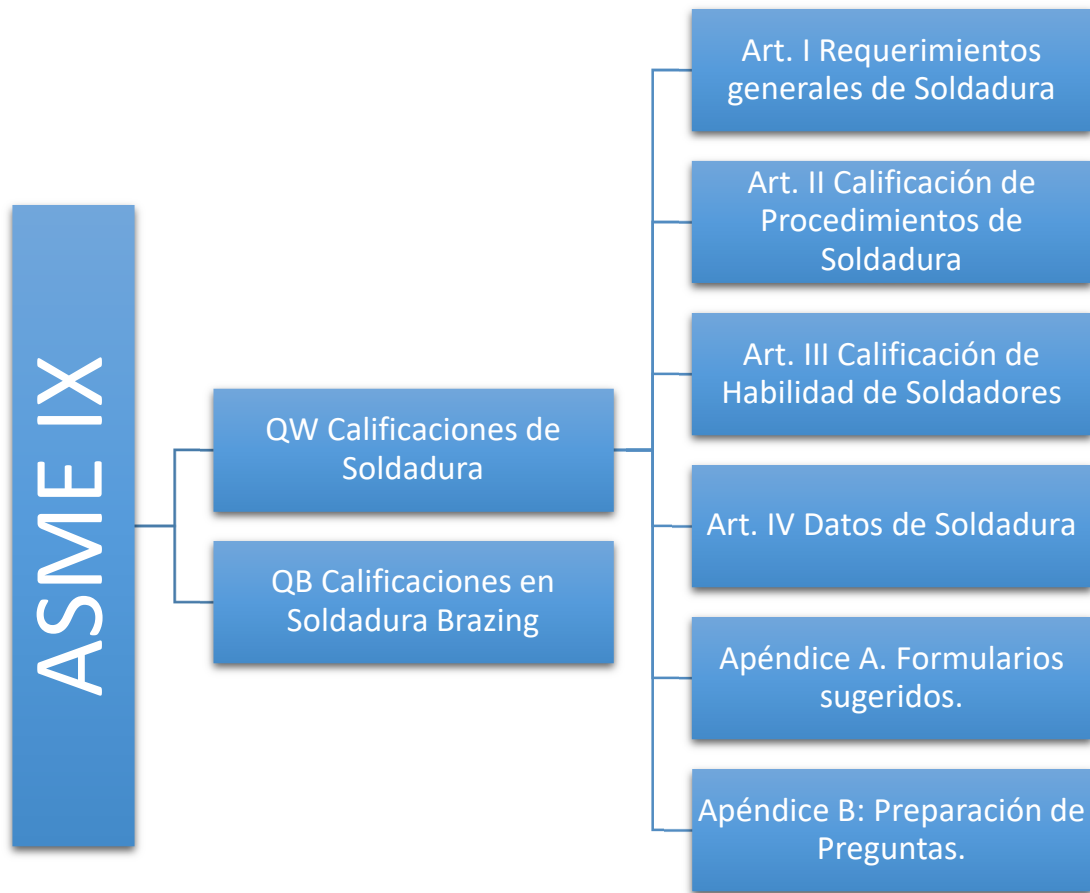


Tabla 1. Requerimientos Generales de Soldadura de acuerdo a Código ASME IX.

Variable esencial	Variable esencial suplementaria	Variable no esencial
Toda aquella que, al cambiar, afecta las propiedades mecánicas de la unión (No. P, No. F, espesor de metal depositado PWHT).	Toda aquella que, al cambiar, afecta las propiedades de impacto (Grupo, posición, PWHT).	Toda aquella que, al cambiar, no produce efectos sobre las propiedades mecánicas (diseño de junta, técnica).

Tabla 2. Tipos de variables para WPS.

Párrafo	Variable genérica	Párrafo	Variable genérica
QW-402	Juntas	QW-407	PWHT
QW-403	Metal Base	QW-408	Gas
QW-404	Metales de aporte	QW-409	Características eléctricas
QW-405	Posiciones	QW-410	Técnica.
QW-406	Precalentamiento		

Tabla 2A. Tipos de variables para WPS.

PROYECTO FINAL
"DESARROLLO DE ESPECIFICACIÓN DE PROCESO DE SOLDADURA APLICADO A TUBERÍA"

QW-353

CALIFICACIONES DE HABILIDAD

QW-357

QW-353 SOLDADURA DE ARCO METALICO PROTEGIDO (SMAW) Variables Esenciales		
Párrafo	Resumen de Variables	
QW-402 Juntas	.4	— Respaldo
QW-403 Metales base	.16	∅ Diámetro de tubo
	.18	∅ Número P
QW-404 Metales de Aporte	.15	∅ Número F
	.30	∅ Depósito de soldadura <i>t</i>
QW-405 Posiciones	.1	+ Posición
	.3	∅ ↑ ↓ Soldadura vertical

QW-354 SOLDADURA DE ARCO SUMERGIDO SEMIAUTOMATICA (SAW) Variables Esenciales		
Párrafo	Resumen de Variables	
QW-403 Metales base	.16	∅ Diámetro de tubo
	.18	∅ Número P
QW-404 Metales de Aporte	.15	∅ Número F
	.30	∅ Depósito de soldadura <i>t</i>
QW-405 Posiciones	.1	+ Posición

QW-355 SOLDADURA DE ARCO METALICO CON GAS SEMIAUTOMATICA (GMAW) [Esto Incluye Soldadura de Arco Con Núcleo de Fundente (FCAW)] Variables Esenciales		
Párrafo	Resumen de Variables	
QW-402 Juntas	.4	— Respaldo
QW-403 Metales base	.16	∅ Diámetro de tubo
	.18	∅ Número P
QW-404 Metales de Aporte	.15	∅ Número F
	.30	∅ Depósito de soldadura <i>t</i>
QW-405 Posición	.32	Límite de <i>t</i> (Arco de C. Circ.)
	.1	+ Posición
QW-408 Gas	.3	∅ ↑ ↓ Soldadura Vertical
	.8	— Respaldo inerte
QW-409 Eléctricas	.2	∅ Modo de transferencia

QW-356 SOLDADURA DE ARCO DE TUNGSTENO CON GAS MANUAL Y SEMIAUTOMATICA (GTAW)
Variables Esenciales

Párrafo	Resumen de Variables	
QW-402 Juntas	.4	— Respaldo
QW-403 Metales base	.16	∅ Diámetro de tubo
	.18	∅ Número P
QW-404 Metales de Aporte	.14	± Aporte
	.15	∅ Número F
	.22	± Insertos
	.23	∅ Sólidos o con núcleo metálico a con núcleo de fundente
QW-405 Posiciones	.30	∅ Depósito de soldadura <i>t</i>
	.1	+ Posición
QW-408 Gas	.3	∅ ↑ ↓ Soldadura vertical
	.8	— Respaldo met. inserto
QW-409 Eléctricas	.4	∅ Corriente o Polaridad

QW-357 SOLDADURA DE ARCO DE PLASMA MANUAL Y SEMIAUTOMATICA (PAW)
Variables Esenciales

Párrafo	Variables Esenciales	
QW-402 Juntas	.4	— Respaldo
QW-403 Metales base	.16	∅ Diámetro de tubo
	.18	∅ Número P
QW-404 Metales de Aporte	.14	± Aporte
	.15	∅ Número F
	.22	± Met. insertos
	.23	∅ Sólidos o con núcleo metálico a con núcleo de fundente
QW-405 Posiciones	.30	∅ Depósito de soldadura <i>t</i>
	.1	+ Posición
QW-408 Gas	.3	∅ ↑ ↓ Soldadura vertical
	.8	— Respaldo inserto

Leyenda para QW-352 hasta QW-357:

∅ Cambio ↑ Para arriba
+ Adición ↓ Para abajo
— Eliminación

Tabla 3. Variables esenciales de los diferentes procesos de soldadura, según ASME IX.

QW-416
VARIABLES DE SOLDADURA
Habilidad de Soldador

Párrafo ¹	Resumen de Variables	Esenciales					
		OFW QW-352	SMAW QW-353	SAW QW-354	GMAW ² QW-355	GTAW QW-356	PAW QW-357
Juntas QW-403	.4 – Respaldo		X		X	X	X
	.7 + Respaldo	X					
QW-403	.2 Máximo calificado	X					
Metales	.16 ϕ Diámetro tubo		X	X	X	X	X
Base	.18 ϕ Número P	X	X	X	X	X	X
QW-404 Metales de Aporte	.14 $\pm$ Aporte	X				X	X
	.15 ϕ Número F	X	X	X	X	X	X
	.22 $\pm$ Met. Insertos					X	X
	.23 Sólidos o con núcleo Metálico a con núcleo de fundente					X	X
	.30 ϕ t Depósito de soldadura		X	X	X	X	X
	.31 ϕ t Depósito de soldadura	X					
	.32 ϕ t Límite (arco, c. circ.)				X		
Posiciones	.1 + Posición	X	X	X	X	X	X
QW-405	.3 ϕ $\uparrow \downarrow$ Soldadura vertical		X		X	X	X
Gas QW-408	.7 ϕ Tipo de gas combustible	X					
	.8 – Respaldo inerte				X	X	X
Eléctricas	.2 ϕ Modo de transferencia				X		
QW-409	.4 ϕ Corriente o polaridad					X	

Procesos de Soldadura:

OFW	Soldadura por soplete de oxígeno y gas combustible
SMAW	Soldadura de arco metálico protegido
SAW	Soldadura de arco sumergido
GMAW	Soldadura de arco metálico con gas
GTAW	Soldadura de arco de plasma

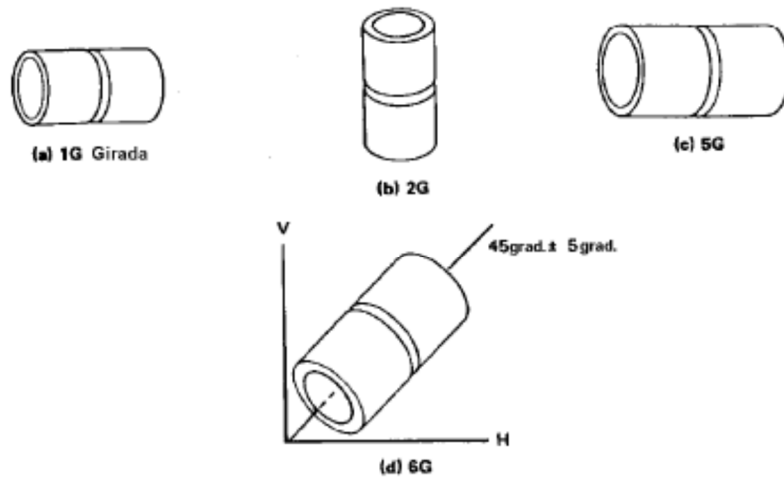
Leyenda:

ϕ Cambio	t Espesor
+ Adición	$\uparrow$ Para arriba
– Eliminación	$\downarrow$ Para abajo

NOTAS:

- (1) Para descripción, vea sección IV.
- (2) Soldadura de arco con núcleo de fundente como se muestra en QW-355, con o sin protección adicional de un gas o una mezcla de gases suministrado externamente, es incluida.

Tabla 4. Resumen Variables de los diferentes procesos de soldadura, según ASME IX.



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

Tabla 5. Posiciones de soldadura para tubería, según ASME IX.

DATOS – GRAFICOS

QW-461.9

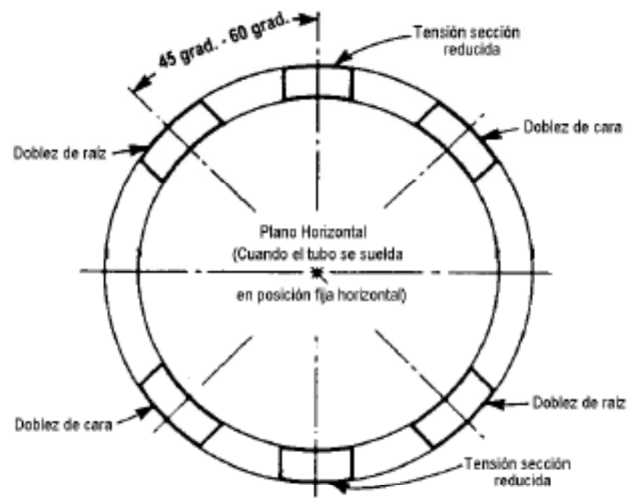
QW-461 Posiciones (Cont'n)

QW-461.9 CALIFICACION DE HABILIDAD — LIMITACIONES DE POSICION Y DIAMETRO (Dentro de las Otras Limitaciones de QW-303)				
Prueba de Calificación		Posición y Tipo Soldadura Calificada [Nota (1)]		
		Ranura		Filete
		Placa y Tubo Arriba de 24 pulg. D.E.	Tubo ≤ 24 pulg. D.E.	Placa y Tubo
Placa - Ranura	1G	F	F [Nota (2)]	F
	2G	F,H	F,H [Nota (2)]	F,H
	3G	F,V	F [Nota (2)]	F,H,V
	4G	F,O	F [Nota (2)]	F,H,O
	3G y 4G	F,V,O	F [Nota (2)]	Todas
	2G, 3G, y 4G	Todas	F,H [Nota (2)]	Todas
	Posiciones Especiales(SP)	SP,F	SP,F	SP,F
Placa - Filete	1F	...	...	F [Nota (2)]
	2F	...	...	F,H [Nota (2)]
	3F	...	...	F,H,V [Nota (2)]
	4F	...	...	F,H,O [Nota (2)]
	3F and 4F	...	...	Todas [Nota (2)]
	Special Positions (SP)	...	...	SP,F [Nota (2)]
Tubo - Ranura [Nota (3)]	1G	F	F	F
	2G	F,H	F,H	F,H
	5G	F,V,O	F,V,O	Todas
	6G	Todas	Todas	Todas
	2G y 5G	Todas	Todas	Todas
	Posiciones Especiales(SP)	SP,F	SP,F	SP,F
Tubo - Filete [Nota (3)]	1F	...	...	F
	2F	...	...	F,H
	2FR	...	...	F,H
	4F	...	...	F,H,O
	5F	...	...	Todas
	Posiciones Especiales(SP)	...	...	SP,F

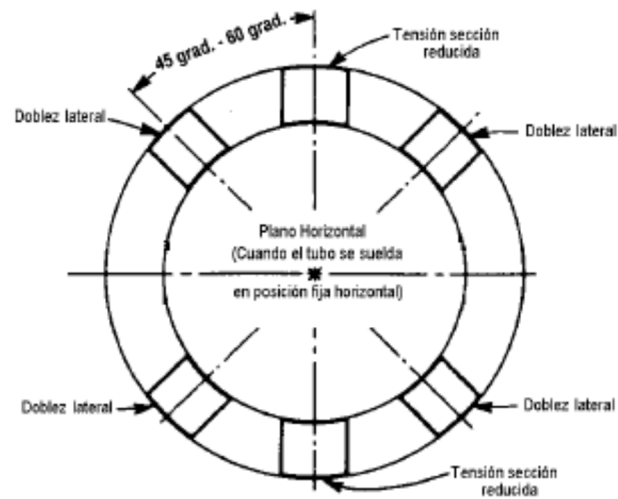
NOTAS:
(1) Posiciones de soldadura como se muestran en QW-461.1 y QW-461.2.
F = Plana
H = Horizontal
V = Vertical
O = Sobrecabeza
(2) Tubo de 2 1/4 pulg. de D. E. y de más.
(3) Vea restricciones de diámetro en QW-452.3, QW-452.4, y QW-452.6.

Tabla 6. Posiciones de soldadura para tubería, según ASME IX.

QW-463 Orden de Remoción (Cont’n)



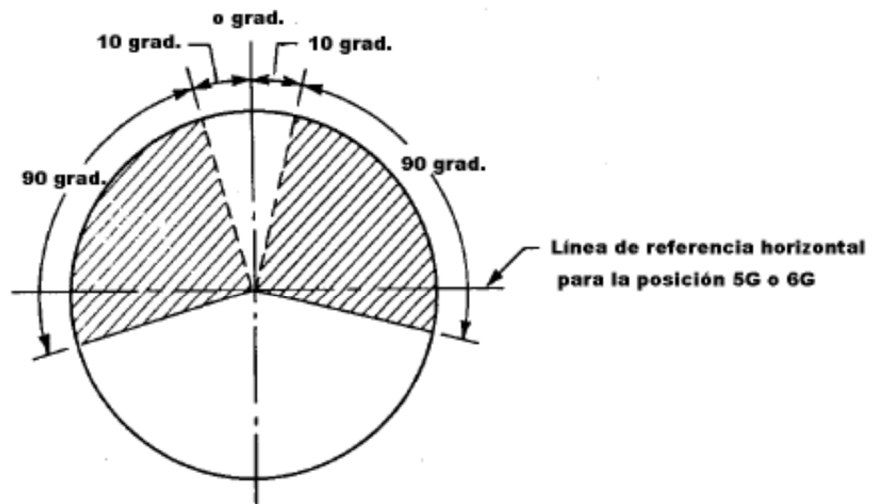
QW-463.1(d) CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO



QW-463.1(e) CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO

Tabla 6A. Posiciones de las piezas de prueba que deben removerse del tubo, Ref. ASME IX.

QW-463 Orden de Remoción (Cont'n)



QW-463.1(f) UBICACION DE ESPECIMENES DE PRUEBA DE TENACIDAD DE MUESCA

Tabla 6B. Posiciones de las piezas de prueba que deben removerse del tubo, Ref. ASME IX.

SECUENCIA FOTOGRÁFICA



Fig. 7A Habilitación de equipos requeridos para las pruebas (Alimentador de Alambre LN-25).



Fig. 7B Habilitación de equipos requeridos para las pruebas (Fuente de Poder 600DC).



Fig. 7C Habilitación de equipos requeridos para las pruebas (Porta electro).



Fig. 7D Habilitación de equipos requeridos para las pruebas (Pulidor Electrico).



Fig. 7E Posicion del tubo en 6G.

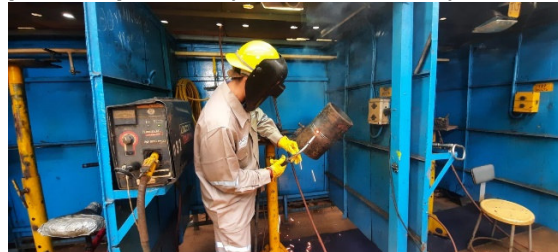


Fig. 7F Soldador Calificado.

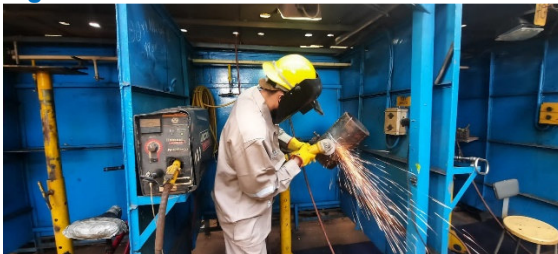


Fig. 7G Proceso de la prueba.



Fig. 7H Proceso de la prueba.



Fig. 7I Probetas finalizadas.

PROYECTO FINAL
"DESARROLLO DE ESPECIFICACIÓN DE PROCESO DE SOLDADURA APLICADO A TUBERÍA"

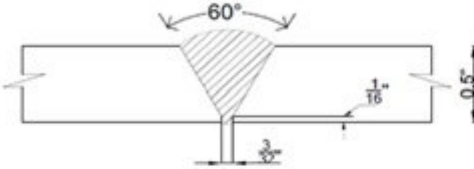
			P.Q.R.	
			Page: 1 OF 2	
			Date:	
			Rev: 0	
			Form:	
PROCEDURE QUALIFICATION TEST RECORD (PQR)				
 JOINT DESIGN			POSITION	
			Position of groove SMAW 6G FCAW 6G	
			Positions of Fillet All All	
			Welding Progression UPHILL UPHILL	
			PREHEAT	
			Preheat Temp. None	
			Interpass Temp. [REDACTED]	
			POST-WELD HEAT TREATMENT	
			Temperature Range: N/A	
			Time Range: N/A	
BASE METAL			GAS	
Specification: ASTM A-106			Shielding Gas: N/A 100% CO2	
Type and Grade: Gr. B			Flow Range (CFH): N/A	
Thickness: 0.5"			Backing Gas: N/A N/A	
Group / P. No. 1			Flow Range (CFH): N/A N/A	
HT Number:			TECHNIQUE	
Nominal Diameter: 8"			String or Weave: Both (Ambos) Both (Ambos)	
FILLER METAL			Multi/ single Pass: Multiple Multiple	
Process:	SMAW	FCAW	Number of electrodes: 1 1	
F. No.	4	6	Electrode spacing: N/A N/A	
A. No.	1	1	Electrode angle: N/A N/A	
SF. No.			Contact tube to work: N/A 1/2" - 3/4"	
AWS No. (Class):	E-6010	E71T-1CA4-CS1	Peening: N/A N/A	
Size of Filler Metal:	1/8"	0.052"	ELECTRICAL CHARACTERISTICS	
Weld Metal Thickness	N/A	N/A	Process: SMAW FCAW	
Heat:	[REDACTED]	[REDACTED]	Current: DC DC	
Brand Name:	[REDACTED]	[REDACTED]	Polarity: INV. INV.	
			Electrode: E+ E+	
			Mode of Transfer: N/A N/A	
			Other: N/A N/A	
Written by:			Date:	Sign:
Authorized by:			Date:	Sign:
Approved by:			Date:	Sign:

Tabla 7. PQR

PROYECTO FINAL
"DESARROLLO DE ESPECIFICACIÓN DE PROCESO DE SOLDADURA APLICADO A TUBERÍA"

				W.P.S.			
				Rev.			
				Date:			
				Page:			
				Sop. by PQR.			
Form:							
WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)							
		PROCESS	SMAW	FCAW			
		METHOD	MANUAL	SEMIAUTOMATICO			
BASE METAL				JOINT			
Specification:		ASTM A-106		Joint Design		SEE PAGE No. 2	
Type and Grade:		Gr. B		Backing		N/A	
P. No./ Group No.		ASME P.No 1		POSITIONS			
Qualified Diameter range:		Unlimited		Position of groove:	SMAW 6G	FCAW 6G	
Qualified thickness range:		3/16" - 1"		Position of Fillet:	All	All	
Qualified fillet range:		All		Welding progression:	UPHILL	UPHILL	
Max. Pass thickness $\leq 1/2"$ (13mm):		Yes:	No: X	PREHEAT			
		Preheat Temp. NONE					
FILLER METAL				Interpass Temp.			
Process:		SMAW	FCAW	POSTWELD HEAT TREATMENT			
F. No.				Temperature Range: N/A			
A. No.		1	1	Time Range: N/A			
S.F.				TECHNIQUE			
AWS No.(Class):				String or Weave Bead:	BOTH	BOTH	
Size of Filler metal:		1/8"	0.052"	Multi / Single pass:	MULTIPLE	MULTIPLE	
Weld metal				Number of electrodes:	1	1	
Thickness Range:				Electrode spacing:	N/A	N/A	
Groove:		0.392" MAX.	0.905" MAX	Electrode angle:	N/A	N/A	
Fillet:		ALL	ALL	Contact tube to work:	N/A		
Consumable Insert:		N/A	N/A	Peening:	N/A	N/A	
Flux:		N/A	N/A	ELECTRICAL CHARACTERISTICS			
Brand Name:				Process:	SMAW	FCAW	
GAS				Current:	DC	DC	
Protective Gas:		N/A	100% CO2	Polarity:	INV.	INV.	
Flow Range (CFH):				Electrode:	POSITIVE	POSITIVE	
Backing Gas:		N/A	N/A	Mode of Transf.:	N/A	N/A	
Flow Range (CFH):		N/A	N/A	Other:	N/A	N/A	
Written by:							
Authorized by:							
Approved by:							

Tabla 8. WPS

PROYECTO FINAL
"DESARROLLO DE ESPECIFICACIÓN DE PROCESO DE SOLDADURA APLICADO A TUBERÍA"

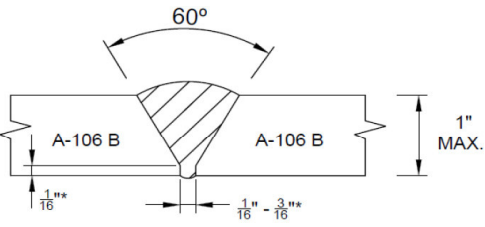
						W.P.S.	
						Rev.	0
						Date:	
						Page:	2 of 2
						Sop. by PQR.	
						Form:	
TYPICAL JOINT DETAILS							
 *Or as required							
ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF FILLER METAL							
PASS	PROCESS	CLASSIFICATION	DIAMETER	AMPS	VOLTS	W.F.S. (IPM)	T.S. (IPM)
ROOT	SMAW	E-6010	1/8"				
HOTPASS	SMAW	E-6010	1/8"				
FILL	FCAW	E71T-1CA4-CS1	0.052"				
CAP PASS	FCAW	E71T-1CA4-CS1	0.052"				
INSTRUCTIONS: * Make sure the joint is clean from grease, dirt, slags and other foreign matter, before welding. *The bead cleaning may be by mechanical matter such as wire brush, file card, polisher, emery, etc. *Groove design shown above is recommended, in case it is necessary to modify refer to the essential variables of the ASME IX code. *The parameters above are recommended, in case it is necessary to modify them, refer to the essential variables of the ASME IX code. * This procedure complies with NACE MR0175 / ISO 15156 * This procedure complies with ASME IX .							
Written by:				Sign:			
Authorized by:				Sign:			
Approved by:				Sign:			

Tabla 8. WPS (Continuación)