

**DISEÑO Y CALIFICACIÓN DE UN WPS, PQR Y WPQ DE SOLDADURA SEGÚN
NORMA API 1104 PARA LA ESTACIÓN DE RECOLECCIÓN CAMPO ESCUELA
COLORADO.**

**JORGE GUSTAVO SÁENZ GONZÁLEZ
SERGIO RAMIREZ CELIS**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA**

2010

**DISEÑO Y CALIFICACIÓN DE UN WPS, PQR Y WPQ DE SOLDADURA SEGÚN
NORMA API 1104 PARA LA ESTACIÓN DE RECOLECCIÓN CAMPO ESCUELA
COLORADO.**

**JORGE GUSTAVO SÁENZ GONZÁLEZ
SERGIO RAMIREZ CELIS**

**Trabajo De Grado presentado como requisito para optar al título De
Ingeniero Metalúrgico**

**Director
Ph D. ORLANDO JOSE GOMEZ MORENO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA**

2010

A DIOS POR HABERME PERMITIDO REALIZAR TODOS MIS SUEÑOS. POR HABER PERMITIDO QUE ESTOS AÑOS ESTUVIERAN LLENOS DE EXPERIENCIAS, TRISTEZAS, ALEGRÍAS, ESFUERZO, AMISTADES.

A MI MADRE POR TODO EL AMOR, LA ENTERA CONFIANZA, POR HABER SIDO SIEMPRE UN APOYO INCONDICIONAL PARA MÍ, EN LAS BUENAS Y EN LAS MALAS POR SACRIFICAR GRAN PARTE DE SU VIDA PARA FORMARME Y EDUCARME. POR ESO Y MUCHO MÁS, ¡TE AMO MAMA!

A MÍ QUERIDO HERMANO POR SER MI AMIGO, POR ESCUCHARME ACOMPAÑARME Y CREER EN MÍ, AUN CUANDO VIVÍA LEJOS, SIEMPRE ESTUVO CERCA. DE IGUAL FORMA AGRADECER A MI TÍO EUTIMIO RAMÍREZ, Y TODA SU FAMILIA POR APOYARME Y ESTAR PENDIENTES DE MI PROCESO DE FORMACIÓN.

A MI NOVIA, COMPAÑERA, AMIGA POR LLEGAR A MI VIDA Y APOYARME, CON SUS CONSEJOS, POR ESTAR SIEMPRE AL PENDIENTE, POR HABERME INCLUIDO EN TU FAMILIA, Y AUN MEJOR POR DARME LO MEJOR DE NUESTRAS VIDAS, “GABRIELA”, AUNQUE TODAVÍA NO PUEDES LEER UN DÍA VAS APRENDER, GRACIAS POR ALEGRARME LA VIDA PORQUE TU PRESENCIA HA SIDO Y SERÁ SIEMPRE EL MOTIVO MÁS GRANDE DE MIS BENDICIONES

A MI COMPAÑERO DE TESIS POR COMPARTIR CONMIGO DESDE EL INICIO DE ESTE PROCESO POR SER UN AMIGO Y HERMANO, POR EL APOYO BRINDADO.

A TODOS MIS AMIGOS SIN EXCLUIR A NINGUNO, EN ESPECIAL A EDWIN, GARCÍA, ZULAY, CARO, JANETH Y GUSTAVO, MIL GRACIAS POR TODOS LOS MOMENTOS COMPARTIDOS, EN ESPECIAL ESAS NOCHES DE TRASNOCHO ESTUDIANDO.

A LA CORPORACIÓN CIMA POR BRINDAR OPORTUNIDAD DE CRECER CADA DÍA PROFESIONALMENTE.

SERGIO RAMIREZ CELIS

A MIS PADRES JORGE GUSTAVO SÁENZ FLOREZ Y NANCY GONZÁLEZ BERNAL POR EL APOYO, ESFUERZO Y PACIENCIA QUE ME BRINDARON PARA QUE ESTE SUEÑO SE HICIERA REALIDAD.

A MI HERMANA MARCELA SÁENZ POR SU CARIÑO Y TOLERANCIA EN TODO MOMENTO.

A MI MARCE POR TODO SU AMOR Y COMPRENSIÓN.

A GLORITA QUE AL IGUAL QUE MIS PADRES, SIEMPRE ESTUVO DE FORMA INCONDICIONAL OFRECIÉNDOME SU CONFIANZA Y COLABORACIÓN.

A LA OFICINA DE ADMISIONES Y REGISTRO ACADÉMICO DE LA UIS POR SER EXCELENTES COMPAÑEROS Y COMPAÑERAS DE TRABAJO.

Y A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE DE UNA U OTRA MANERA ME AYUDARON DESINTERESADAMENTE Y ME OFRECIERON SU AMISTAD EN ESTE ARDUO CAMINO.

A TODOS MUCHAS GRACIAS

JORGE GUSTAVO SÁENZ GONZÁLEZ

AGRADECIMIENTOS

Deseamos extender un especial reconocimiento a todas y cada una de las personas que se involucraron para realizar este proyecto. En especial a nuestro director de proyecto, Orlando José Gómez Moreno, por compartir con nosotros su conocimiento, su confianza, paciencia y apoyo a lo largo de este camino.

A los técnicos de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales: Ambrosio Carrillo, Javier Gaitán, Mario Navarrete, Orlando Buitrago, por su valiosa ayuda a lo largo de nuestra carrera universitaria y la realización de esta investigación.

A los calificadores, Afranio Cardona y Huber Anaya, por su tiempo e interés mostrado.

Al Campo Escuela Colorado por su apoyo.

A todos los maestros de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, por brindarnos su conocimiento, quienes por su amor a su profesión lograron hacer la diferencia.

Finalmente, a todos nuestros amigos y compañeros los cuales fueron los testigos de nuestras alegrías y tristezas durante toda la carrera.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	18
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
2. OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3. MARCO TEÓRICO.....	21
3.1 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	21
3.2 DEFINICIÓN DE ACERO API 5L	21
3.3 REQUERIMIENTOS DEL MATERIAL.....	21
3.3.1 Propiedades Químicas	21
3.3.2 Propiedades Mecánicas	22
3.4 METALURGIA DE LA SOLDADURA	24
3.4.1 Soldabilidad.....	24
3.5 METALES DE APORTE PARA LA SOLDADURA DE ACEROS API 5L X 42.....	25
3.5.1 Soldadura manual con electrodo recubierto – SMAW.....	25
3.5.2 Electrodo para el proceso SMAW	25
3.6 CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO	26
3.6.1 Especificación del procedimiento de soldadura (WPS).....	26
3.6.2 Registro de calificación del procedimiento (PQR).....	27
3.6.3 Calificación de soldadores (WPQ)	27
3.6.4 Variables esenciales	27
3.6.5 Variables no esenciales.....	28
3.7 ESPECIFICACIONES	29
3.7.1 Equipo.....	29
3.7.2 Requisitos Generales	29
3.7.3 Ensayos de juntas soldadas. Soldaduras a tope	29
3.7.4 Ensayo de la Resistencia a la Tracción	31
3.7.5 Ensayo de doblado de raíz y de cara	32
3.7.6 Inspección Visual	33
3.7.7 Ensayo de tintas penetrantes	34
3.7.8 Ensayo de gammagrafía industrial	34

3.8	DISEÑO Y PREPARACIÓN DE JUNTAS PARA SOLDADURA DE PRODUCCIÓN	35
3.8.1	Alineamiento	35
3.8.2	Abrazaderas para Alineación	35
3.8.3	Espacio Libre	35
3.8.4	Limpieza entre cordones	35
3.9	MÉTODOS DE INSPECCIÓN	36
3.10	CALIFICACIÓN DEL PERSONAL DE INSPECCIÓN	36
3.10.1	Certificación del personal	36
3.10.2	Estándar de aceptación de pruebas no destructivas	37
3.11	REPARACIÓN Y REMOCIÓN DE DEFECTOS	37
3.11.1	Autorización para reparaciones	37
3.11.2	Procedimiento de reparación	37
3.11.3	Criterios de Aceptación	38
4.	MATERIALES Y EQUIPOS	39
4.1	MATERIALES	39
4.1.1	Selección del acero API	39
4.1.2	Metal de aporte	39
4.1.3	Probetas para calificación	42
4.1.4	Corte de probetas para ensayos mecánicos	42
4.2	EQUIPOS UTILIZADOS	43
4.2.1	Preparación de cupones para procedimiento de soldadura	43
4.2.2	Equipo de soldadura	43
4.2.3	Equipos de ensayos mecánicos	44
4.2.4	Equipo de gammagrafía industrial	44
4.2.5	Kit para líquidos penetrantes	45
5.	METODOLOGÍA	46
5.1	ELABORACIÓN Y CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA	47
5.1.1	Elaboración del procedimiento de soldadura WPS	47
5.2	CALIFICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS	50
5.2.1	Corte y preparación de cupones	50
5.2.2	Aplicación y limpieza de la soldadura	51
5.2.3	Ensayos mecánicos	52

5.2.4	Pruebas No Destructivas.....	53
6.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	55
6.1	Resultados.....	55
6.1.1	Especificación del procedimiento de Soldadura (WPS).....	56
6.1.2	Registro de calificación del procedimiento (PQR).....	57
6.1.3	Calificación de las habilidades del soldador (WPQ).....	60
6.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	61
6.2.1	Inspección Visual.....	61
6.2.2	Líquidos Penetrantes.....	62
6.2.3	Gammagrafía Industrial.....	63
6.2.4	Ensayo de Dobleces.....	63
6.2.5	Ensayo de Tensión.....	64
6.2.6	Calificación del Soldador.....	64
7.	CONCLUSIONES.....	66
8.	RECOMENDACIONES.....	68
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	70
10.	ANEXOS.....	72

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Requerimientos Químicos para Análisis de Colada por Porcentaje de Peso	22
Tabla 2 Requerimientos de Tracción	23
Tabla 3 Tipo y número de especímenes para la prueba de soldadura a tope para calificar al soldador y para la prueba destructiva de soldaduras de producción	27
Tabla 4 Tipo y número de especímenes para la prueba de calificación del procedimiento	30
Tabla 5 Análisis químico del metal de aporte depositado E 7010-A1	39
Tabla 6 Análisis químico del metal de aporte depositado E 7018	39
Tabla 7 Propiedades de material depositado E 7010-A1	41
Tabla 8 Propiedades de material depositado E 7018.....	41
Tabla 9 Amperajes recomendados según tamaño del electrodo E 7010-A1	41
Tabla 10 Amperajes recomendados según tamaño del electrodo E 7018.....	41
Tabla 11 Selección de procedimiento de soldadura.....	47
Tabla 12 Reporte ensayo de líquidos penetrantes	62
Tabla 13 Resultados de los ensayos realizados a la probeta para calificación del soldador	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localización de probetas de ensayo para calificación del procedimiento	30
Figura 2 Probetas para ensayo de tracción.....	31
Figura 3 Probeta para ensayo de doblez de raíz y de cara	32
Figura 4 La matriz para el ensayo de doblez	33
Figura 5 Limpieza con pulidora	36
Figura 6 Cupones para calificación	42
Figura 7 Cortes de probetas para ensayos mecánicos	42
Figura 8 Equipo de Biselado.....	43
Figura 9 Equipo de soldadura SMAW	43
Figura 10 Equipo de soldadura SMAW	43
Figura 11 Ensayo de Dobleza guiado.....	44
Figura 12 Equipo de ensayo de doblez y tensión.....	44
Figura 13 Equipo de gammagrafía industrial.....	44
Figura 14 Equipo de gammagrafía industrial.....	44
Figura 15 Kit líquidos penetrantes	45
Figura 16 Diagrama metodológico para el desarrollo de la investigación.....	46
Figura 17 Posición de soldadura a 45°	49
Figura 18 Posición de soldadura a 45°	49
Figura 19 Cupones biselados	51
Figura 20 Cupones soldados en posición a 45°	51
Figura 21 Limpieza del cordón de soldadura.....	51
Figura 22 Probeta para ensayo de Tensión	52
Figura 23 Probeta ensayo de doblez	53

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Definiciones	72
Anexo 2 Electroodos.....	74
Anexo 3 Certificado de calidad tubería de diámetro 6" (Composición Química).....	77
Anexo 4 Registro de prueba de doblez guiado de tubería de 6".....	78
Anexo 5 Registro de prueba de tracción de tubería de 6"	79
Anexo 6 Registro de prueba de radiografía de tubería de 6".....	80

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CALIFICACIÓN DE UN WPS, PQR Y WPQ DE SOLDADURA SEGÚN NORMA API 1104 PARA LA ESTACIÓN DE RECOLECCIÓN CAMPO ESCUELA COLORADO.*

AUTORES: RAMIREZ CELIS, Sergio y SÁENZ GONZÁLEZ, Jorge Gustavo**

PALABRAS CLAVES: Soldadura, Procedimiento, Soldador, Registro, Calificación, soldabilidad.

En el campo de la soldadura existen múltiples estándares internacionales para garantizar la calidad y funcionalidad del producto final. Esta variedad hace compleja la selección y aplicación de la soldadura; por lo cual, las empresas que requieran llevar a cabo estos procesos, deberían diseñar y mantener procedimientos propios que faciliten el cumplimiento de los parámetros existentes, minimizando las probabilidades de falla.

Este documento presenta la Especificación del Procedimiento de Soldadura ó WPS (sigla de los vocablos en inglés: Welding Procedure Specification), el Registro de Calificación del Procedimiento ó PQR (sigla de los vocablos en inglés: Procedure Qualification Record) y el procedimiento de calificación de las habilidades del soldador ó WPQ (sigla de los vocablos en inglés: Welder Performance Qualification), diseñados para la Estación de Recolección Campo Escuela Colorado, los cuales obtuvieron resultados satisfactorios mediante ensayos destructivos como tensión, dobléz y ensayos no destructivos como inspección visual, líquidos penetrantes y radiografía, bajo los criterios de aceptación de la norma API 1104 (Soldadura de ductos e instalaciones afines), edición 20, publicada en 2005.

Para la calificación del WPS se empleó el proceso de soldadura SMAW, en una probeta de acero API 5L X42 de la cual se concluyó su buena soldabilidad operativa. Se deduce que el éxito en la implementación de los procedimientos y la seguridad de las uniones en condiciones de servicio dependerá en gran parte de las habilidades del soldador y del cumplimiento de los lineamientos del WPS y el PQR, los cuales son un valioso aporte para la estación.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingeniería Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Director PhD Orlando José Gómez Moreno.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND QUALIFICATION OF WELDING'S WPS, PQR AND WPQ ACCORDING TO THE API STANDARD 1104 FOR "CAMPO ESCUELA COLORADO" COLLECTING STATION.*

AUTHORS: RAMÍREZ CELIS, Sergio y SÁENZ GONZÁLEZ, Jorge Gustavo**

KEYWORDS: Welding, Procedure, Welder, Record, Qualification, Weldability.

In the field of welding there are several international standards to ensure the quality and functionality of the final product. This variety increases the complexity of the selection and application of welding; for this reason, the companies that require these processes, should design and maintain their own procedures to facilitate the fulfillment of the existing parameters, minimizing the probability of failure.

This document presents the Welding Procedure Specification (WPS), the Procedure Qualification Record (PQR) and the Welder Performance Qualification (WPQ), designed for the "CAMPO ESCUELA COLORADO" collecting station, which obtained satisfactory results through destructive testing such as tension and bending, as well as non-destructive testing such as visual inspection, penetrating liquids and radiography, under the acceptance criteria of API Standard 1104 (Welding of pipelines and related facilities), 20th edition (2005).

For the WPS qualifying, the SMAW welding process was used in an API 5L X42 steel test tube from which it was ascertained its good operational weldability. The success of procedure implementation and the security of joints in service conditions will depend largely on the welder skills, as well as the WPS and PQR guidelines compliance, all which represent a valuable contribution to the station.

* Work Degree

** Faculty of Physiochemical engineering. School of Metallurgical Engineering and Science of Materials. Director PhD. Orlando José Gómez Moreno.

INTRODUCCIÓN

EL CAMPO ESCUELA COLORADO lleva a cabo diferentes actividades para cumplir con eficacia y eficiencia los objetivos del campo petrolero, para lo cual requiere de la articulación entre las diferentes disciplinas de la ingeniería; considerando que EL CAMPO ESCUELA COLORADO ha manifestado su deseo de desarrollar un material técnico vigente que respalde y apoye las actividades en el diseño y construcción de sus instalaciones, la Escuela de Ingeniería Metalúrgica ha querido vincularse de manera significativa con la elaboración de documentos para estandarizar los procesos y operaciones relacionados con la calificación de procedimientos establecidos, enmarcados bajo los parámetros y especificaciones dictados en la normatividad vigente, para lograr una adecuada aplicación del conocimiento y de las experiencias adquiridas entre el personal del CAMPO ESCUELA COLORADO.

Por tal motivo, se pone a disposición el presente documento de referencia, cuyo propósito es establecer los lineamientos y especificaciones a través de los procedimientos WPS, PQR y WPQ para la estación de recolección Campo escuela Colorado; en este texto se compila el marco teórico, aspectos técnicos relacionados con las soldaduras, materiales, electrodos y equipos a utilizar y por último, se plantean los documentos WPS, PQR y WPQ, junto con los resultados obtenidos en las pruebas para lograr la calificación de dichos procedimientos

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La estación de recolección CAMPO ESCUELA COLORADO representa para la Universidad Industrial de Santander uno de sus sectores de desarrollo de investigación más importantes, allí mismo los estudiantes pueden ser involucrados transversalmente desde el área administrativa hasta el área de producción para optimizar las condiciones de funcionamiento a través de los diferentes tipos de proyectos e iniciativas allí emprendidos, manteniendo un compromiso de los estudiantes con la universidad y por ende de la Universidad con el país.

Sin embargo, a pesar que a nivel internacional se mantienen procesos y procedimientos de soldaduras calificados bajo estándares reconocidos, el poco trabajo que se ha realizado en la estructura del campo escuela no había permitido poner a consideración los beneficios que se generarían al implementar un WPS, como el mejor control de los procesos a través del aseguramiento de las variables PQR (Procedure Qualification Record) para garantizar la obtención de los resultados deseados.

Es por esto, que se ve la necesidad vital de diseñar un WPS (Welding Procedure Specification) conjuntamente con un WPQ (Welder Performance Qualification) para calificar el procedimiento y la persona que realiza el trabajo de soldadura, debido a que de ellos también dependen las condiciones resultantes y el cumplimiento de las especificaciones dadas, para lo cual se toma como base la norma "API STANDARD 1104 Welding Of pipelines and related facilities" (Soldadura de ductos e instalaciones afines), Edición 20 de Noviembre de 2005, la cual busca minimizar las probabilidades de falla de las líneas de flujo obteniendo una soldadura de buena calidad.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Elaboración y calificación del procedimiento de soldadura, WPS, y la calificación de soldadores para la estación de recolección CAMPO ESCUELA COLORADO, según la norma API 1104.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar el procedimiento de soldadura, WPS que contemple los criterios de soldabilidad del acero API 5L GRADO X42, la selección del material de aporte para el mismo y la realización de las pruebas correspondientes según API 1104.
- Elaborar el procedimiento para la calificación del soldador, WPQ de acuerdo a la norma API 1104 y su evaluación mediante ensayos e inspecciones destructivas y no destructivas que se describen en la norma API 1104.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Los términos de soldadura usados en este documento, son los definidos en la publicación “Standard Welding Terms and Definitions, AWS A3.0¹, con las adiciones y modificaciones dadas. Ver anexo 1

3.2 DEFINICIÓN DE ACERO API 5L

Los aceros comúnmente empleados para soldar oleoductos son los de la serie API 5L y el grado se designa según el servicio a ser empleado por ejemplo X60 (Estos últimos dos dígitos son el mínimo de fluencia. 60.000 Psi, 404 N/mm²).

3.3 REQUERIMIENTOS DEL MATERIAL

3.3.1 Propiedades Químicas

3.3.1.1 Composición Química

La composición de la tubería destinada a esta especificación, como fue determinado por el análisis químico para tubería diferente del Grado X80, debe obedecer a los requerimientos químicos especificados en la Tabla 1.

3.3.1.2 Elementos Analizados

Como mínimo, cada uno de los análisis requeridos debe determinar lo siguiente:

- a) Carbono, manganeso, fósforo, azufre, y silicio.
- b) Columbio, vanadio, titanio ó las combinaciones de estos, si son adicionados durante la fabricación del acero.
- c) Cualquier otro elemento de aleación adicionado durante la fabricación del acero para propósitos diferentes de la desoxidación.

¹ ICONTEC, dentro de sus proyectos tiene programado la actualización de la NTC 2229, que es la homologación de la norma AWS A3.0.

En la tabla 1 se hace referencia al metal base utilizado en el procedimiento de soldadura y se encuentra resaltado.

Tabla 1. Requerimientos Químicos para Análisis de Colada por Porcentaje de Peso

COMPOSICION QUIMICA PSL1						
SPECIFICATION FOR LINE PIPE						
PSL 1 Chemical Requirements for Heat and Product Analyses by Percentage of Weight						
GRADE & CLASS	CARBON MAXIMUN a	MANANESE MAXIMUN a	PHOSPHORUS		SULFUR MAXIMUN	OTHER
			MINIMUN	MAXIMUN		
			Seamless			
A 25. C1 I	0.21	0.60		0.030	0.030	
A 25. C1 II	0.21	0.60	0.045	0.080	0.030	
A	0.22	0.90		0.030	0.030	
B	0.28	1.20		0.030	0.030	b.c
X42	0.28	1.30		0.030	0.030	c.d
X46, X52, X56	0.28	1.40		0.030	0.030	c.d
X60e, X60e	0.28	1.40		0.030	0.030	c.d
X70e						

Fuente API 5L, Specification For Line Pipe, April 1, 1995

- c) Se pueden utilizar Columbio (Niobio), Vanadio o una combinación de éstos.
- d) La suma de Columbio (Niobio), Vanadio y Titanio no debe exceder de 0,15%.

3.3.2 Propiedades Mecánicas

3.3.2.1 Propiedades de Tracción

El Grado X 42, deberá obedecer a los requerimientos de tracción especificados en la Tabla 2. Los otros grados intermedios a los grados listados entre X42 y X80, deben obedecer a los requerimientos de tracción acordados entre el Campo Escuela Colorado y el fabricante, y los requerimientos deben ser coherentes con aquellos resaltados y especificados en la Tabla 2.

Tabla 2 Requerimientos de Tracción

PROPIEDADES MECANICAS Tensile Requirements for PSL 1					
GRADE	YIELD STRENGTH MINIMUM		ULTIMATE TENSILE STRENGTH MINIMUM		ELONGATION in 2 in (50.8 mm). MINIMUM. PERCENT
	psi	MPa	psi	MPa	
A25	25.0000	(172)	45.000	(310)	a
A	30.000	(207)	48.000	(331)	a
B	35.000	(241)	60.000	(414)	a
X42	42.000	(290)	60.000	(414)	a
X46	46.000	(317)	63.000	(434)	a
X52	52.000	(359)	66.000	(455)	a
X56	56.000	(386)	71.000	(490)	a
X60	60.000	(414)	75.000	(517)	a
X65	65.000	(448)	77.000	(531)	a
X70	70.000	(483)	82.000	(565)	a

Fuente API 5L, Specification For Line Pipe, April 1, 1995

(a) El alargamiento mínimo en 2" (50.80 mm) debe ser aquel determinado por la siguiente ecuación:

Ecuación acostumbrada en USA

Ecuación Métrica

$$e = 625,000 \frac{A^{0.2}}{U^{0.9}}$$

$$e = 1945.57 \frac{A^{0.2}}{U^{0.9}}$$

Donde:

e= Alargamiento mínimo en 2" (50.80 mm) en porcentaje cercano a ½ %

A= Área de sección transversal del espécimen de prueba de tracción en pulgada² (mm²) basada o especificada en el diámetro exterior especificado ó ancho nominal del espécimen y espesor de pared especificado redondeado a los más cercano a 0.01 pulgada² (6.5 mm²) o 0.75 pulgada² (484 mm²), cualquiera que sea el más pequeño.

U= Resistencia última a la tracción especificada, psi (MPa)

3.4 METALURGIA DE LA SOLDADURA

La metalurgia de la soldadura estudia el comportamiento de un metal durante el proceso de soldadura y los efectos sobre las propiedades de los metales.

Todos los metales tienen propiedades específicas las cuales se pueden considerar cuidadosamente antes de la soldadura. Si estas no son tenidas en cuenta, el resultado pueden ser grietas, porosidades o soldaduras con propiedades deficientes. Por estas y otras razones es cada vez mas importante tener un entendimiento básico de la naturaleza de los metales, su comportamiento propiedades y particularidades.

3.4.1 Soldabilidad

La American Welding Society define la soldabilidad como “la facilidad de un material para ser soldado sin dificultades en las condiciones de fabricación para obtener un rendimiento correcto en el servicio deseado. Este criterio de soldabilidad se puede analizar desde tres puntos de vista:

- Soldabilidad estructural
- Soldabilidad operativa
- Soldabilidad metalúrgica

3.4.1.1 Factores que influyen en la soldabilidad

La soldabilidad no solo es una propiedad del material, también depende de los cambios estructurales originados por cambios de composición durante el proceso de soldadura que trae variaciones en las propiedades mecánicas.

En este caso la soldabilidad depende del contenido de carbono y los elementos de aleación que se comportan similar ya que este determina la posibilidad de

endurecimiento de la zona adyacente al cordón de soldadura el cual se debe al temple o al crecimiento de grano.

- Carbono equivalente: El contenido de carbono equivalente es por lo tanto una expresión empírica que se usa para determinar cuál es el efecto combinado que los elementos de aleación tienen en el endurecimiento del acero, siendo esta una indicación de cómo la soldadura afectará la zona adyacente (HAZ).

Ecuación 1 Carbono Equivalente

$$C_{eq} = \%C + \frac{Mn}{6} + \% \frac{Cu}{40} + \% \frac{Ni}{20} + \% \frac{Cr}{10} - \% \frac{Mo}{50} - \% \frac{V}{10}$$

Fuente GOMEZ MORENO, O. J. Soldadura de metales. Bucaramanga, Colombia. Publicaciones UIS. (1993).

3.5 METALES DE APORTE PARA LA SOLDADURA DE ACEROS API 5L X 42

3.5.1 Soldadura manual con electrodo recubierto – SMAW

El proceso, se utiliza principalmente en aleaciones ferrosas para unir estructuras de acero, en construcción naval y en general en trabajos de fabricación metálica. A pesar de ser un proceso relativamente lento, debido a los cambios del electrodo y a tener que eliminar la escoria, aún sigue siendo una de las técnicas más flexibles y se utiliza con ventaja en zonas de difícil acceso.

3.5.2 Electrodo para el proceso SMAW

Cuando se utiliza el proceso de soldadura manual con electrodo revestido, los metales de aporte para la unión de aceros API deben cumplir los requisitos de la norma AWS A5.1 y AWS A5.5

3.5.2.1 Revestimiento celulósico

Son electrodos de alta penetración, excelente fusión, fácil remoción de escoria, buena calidad radiográfica, arco suave, fácil de operar en todas las posiciones, buena resistencia y ductilidad. A esta familia pertenecen los electrodos del tipo E-7010 A1- ZIP710 A1, diseñados para trabajos en oleoductos, calderas, termoeléctricas, petroquímicas etc.

3.5.2.2 Revestimiento básico²

Los componentes principales son el carburo cálcico y el fluoruro cálcico. El revestimiento no contiene celulosa ni arcilla, proporciona un gas protector a base de CO₂ y del fluoruro de silicio formado a partir de la fluorita, en reacción con el SiO₂. Funden a temperaturas muy elevadas (aprox. 2.000 °C), por esta razón necesitan un fundente en su composición, como el espato flúor.

La elevada proporción de TiO₂ y de silicato potásico, permiten su uso en corriente alterna. Son higroscópicos y necesitan precauciones para evitar la humedad para evitar que una retención de humedad origine porosidades en el metal depositado. A esta familia pertenecen los electrodos del tipo E-7018 WIZ 718 A1.

3.6 CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Antes de iniciar una soldadura de producción será establecido y calificado un documento detallado del procedimiento para garantizar que la soldadura presente adecuadas propiedades. La calidad de la soldadura debe ser probada por ensayos destructivos y no destructivos.

3.6.1 Especificación del procedimiento de soldadura (WPS)

Un WPS es un documento preparado y calificado por un departamento técnico o de ingeniería, para dar instrucciones al personal que realiza e inspecciona las soldaduras de producción.

² Ver anexo 2 de otros electrodos

3.6.2 Registro de calificación del procedimiento (PQR)

Documento que valida y respalda el WPS. EL PQR contiene las variables reales de soldadura utilizadas en la prueba y los resultados del ensayo realizado sobre la soldadura para propósitos de calificar las especificaciones del procedimiento de soldadura. El PQR es el registro que documenta los resultados de soldar y ensayar las probetas.

3.6.3 Calificación de soldadores (WPQ)

Documento que registra los ensayos de calificación de desempeño requeridos por el código, para determinar la habilidad de los soldadores, para producir soldaduras sanas (ver tabla 3).

Tabla 3 Tipo y número de especímenes para la prueba de soldadura a tope para calificar al soldador y para la prueba destructiva de soldaduras de producción

Diámetro externo del tubo		Numero de probetas					
Pulgadas	Milímetros	Resistencia a la tensión	Rotura con entalla	Doblado de raíz	Doblado de cara	Doblado Lateral	Total
Espesor de pared $\leq 0.5^*$ (12.7 mm)							
< 2.375*	< 60.3	0 (b)	2	2	0	0	4 (a)
2.375*-4.5"	60.3 - 114.3	0 (b)	2	2	0	0	4
>4.5 - 12.75"	> 114.3 - 323.9	2	2	2	2	0	8
> 12.75"	> 323.9	4	4	4	4	0	16
Espesor de pared $> 0.5^*$ (12.7 mm)							
$\leq 4.5^*$	≤ 114.3	0 (b)	2	0	0	2	4
>4.5 - 12.75"	> 114.3 - 323.9	2	2	0	0	2	6
> 12.75"	> 323.9	4	4	0	0	8	16

Fuente: API STANDARD 1104, TWENTIETH EDITION, Welding of Pipelines and Related Facilities. Noviembre 2005

(a) Para tuberías de diámetros menores o iguales a 1 5/16" (33.4 mm), una probeta de sección completa debe ser tomada para resistencia a la tensión.

3.6.4 Variables esenciales

Las variables esenciales de un procedimiento de soldadura son aquellas en las que un cambio con respecto a lo descrito específicamente en el código afectan las

propiedades mecánicas de la soldadura obtenida y por lo tanto requiere recalificación.

Dentro del ellas se destacan:

- Material Base³
- Diseño de la junta
- Posición
- Espesor de pared
- Metal de aporte
- Características eléctricas
- Tiempo entre pases
- Dirección de la soldadura
- Gas protector y rata de flujo
- Fundente de protección
- Velocidad de avance
- Precalentamiento
- Tratamiento térmico posterior a la soldadura (PWHT)

3.6.5 Variables no esenciales

Las variables no esenciales de un procedimiento de soldadura son las que al cambiarse no ocasionan efectos apreciables en las soldaduras. Estas variables se pueden cambiar sin necesidad de recalificar el procedimiento de soldadura.

³ Las especificaciones dadas en 5.4.2.2 de la norma API 1104, no implican que el material base o el metal de aporte se sustituyan por un material que fue usado en la prueba de calificación, sin consideración de la compatibilidad del material base y el metal de aporte desde el punto de vista de las propiedades metalúrgicas, mecánicas y los requisitos de precalentamiento y PWHT.

3.7 ESPECIFICACIONES

3.7.1 Equipo⁴

El equipo de soldadura por arco eléctrico, debe ser de un tamaño y tipo apropiado para el trabajo y será mantenido en condiciones tales que asegure soldaduras aceptables, continuidad de operación y seguridad del personal. El equipo de soldadura por arco eléctrico será operado dentro de los rangos de voltaje y amperaje dados en el procedimiento calificado de soldadura.

3.7.2 Requisitos Generales

Hace referencia a todos a los aspectos relacionados con el control y aseguramiento de la calidad antes, durante y después de las operaciones de soldadura.

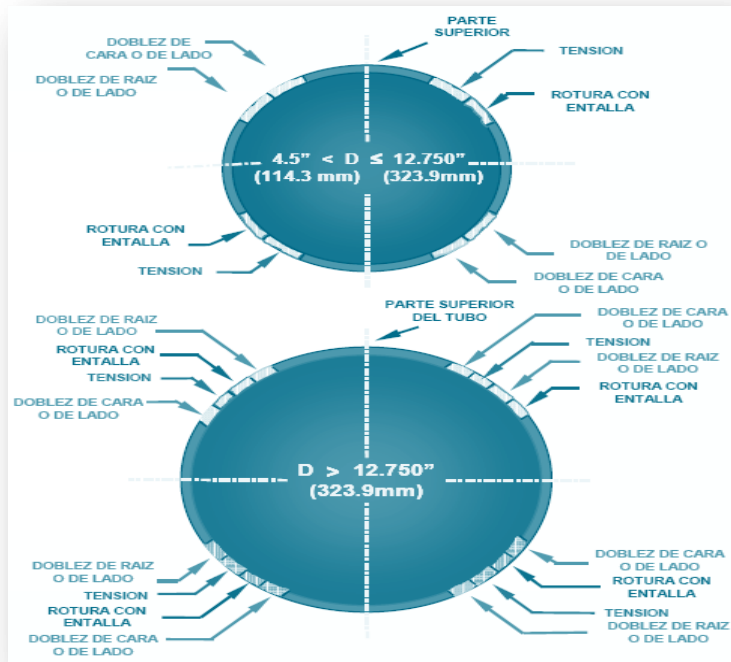
3.7.3 Ensayos de juntas soldadas. Soldaduras a tope

Para ensayar la unión soldada a tope, las probetas de prueba deben ser cortadas de la unión en los lugares mostrados en la Figura 1. El número mínimo de probetas y los ensayos a los cuales ellas deben ser sometidas, se detallan en la tabla 3. Las probetas deben prepararse como se muestran en la Figuras 2 y 3.

Para tubos de diámetro menor a 2 3/8 pulgadas (60,3mm) de diámetro exterior, se deben realizar dos soldaduras de prueba de ensayo. Las probetas deben ser enfriadas al aire hasta temperatura ambiente, antes de ser ensayadas. Para tuberías de diámetro exterior menor o igual a 1 5/16 pulgadas (33,4mm), puede ser sustituida una probeta de sección reducida para prueba de sanidad y de raíz.

⁴ ICONTEC cuenta con la NTC 4278, "Reglas de seguridad relativas a la utilización de los equipos para soldar por arco eléctrico y procesos afines".

Figura 1 Localización de probetas de ensayo para calificación del procedimiento



Fuente: API STANDARD 1104, TWENTIETH EDITION, Welding of Pipelines and Related Facilities. Noviembre 2005

Tabla 4 Tipo y número de especímenes para la prueba de calificación del procedimiento⁵

Diámetro externo del tubo		Numero de probetas					
Pulgadas	Milímetros	Resistencia a la tensión	Rotura con entalla	Doblado de raíz	Doblado de cara	Doblado Lateral	Total
Espesor de pared ≤ 0.5* (12.7 mm)							
< 2.375*	< 60.3	0 (b)	2	2	0	0	4 (a)
2.375*-4.5"	60.3 - 114.3	0 (b)	2	2	0	0	4
> 4.5 - 12.75"	> 114.3 - 323.9	2	2	2	2	0	8
> 12.75"	> 323.9	4	4	4	4	0	16
Espesor de pared > 0.5* (12.7 mm)							
≤ 4.5*	≤ 114.3	0 (b)	2	0	0	2	4
> 4.5 - 12.75"	> 114.3 - 323.9	2	2	0	0	2	6
> 12.75"	> 323.9	4	4	0	0	8	16

Fuente: API STANDARD 1104, TWENTIETH EDITION, Welding of Pipelines and Related Facilities. Noviembre 2005

⁵ **Nota:** Las probetas deben ser enfriadas al aire hasta temperatura ambiente antes de ser ensayadas.

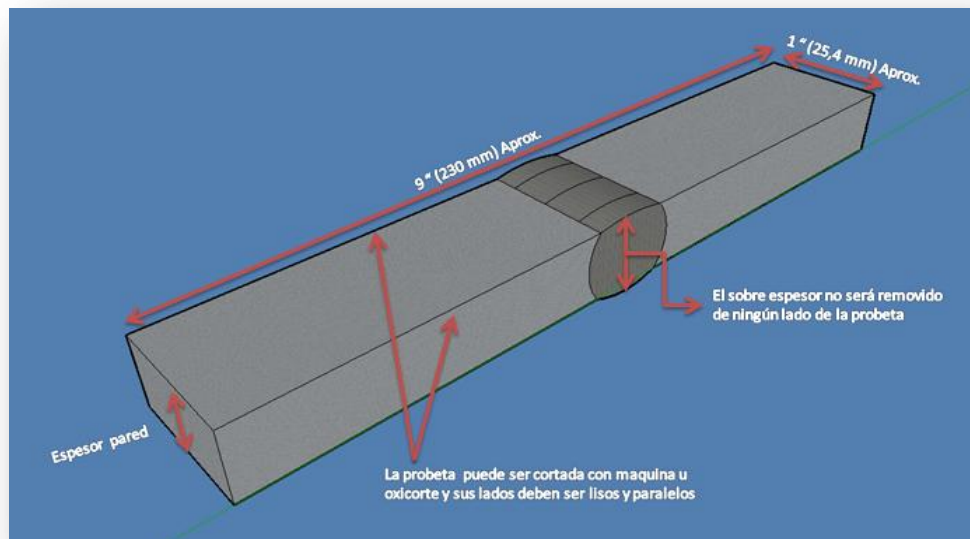
- (a) Un espécimen de sanidad y uno para doblez de raíz deben tomarse de cada una de las dos soldaduras de prueba, o para tuberías de diámetros menores o iguales a 1 5/16" (33.4 mm) debe tomarse un espécimen de sección completa para la prueba de resistencia a la tracción.
- (b) Para materiales con resistencia mínima a la fluencia especificada mayor a 42 Ksi (290 MPa), debe requerirse como mínimo una prueba de tracción.

3.7.4 Ensayo de la Resistencia a la Tracción

Las probetas para el ensayo a la tracción deben ser rotas bajo carga de tracción, usando un equipo capaz de medir la carga a la cual ocurre la falla. La resistencia a la tracción debe ser calculada dividiendo la carga máxima de falla por el área transversal mínima de la probeta, tal como fue medida antes de la aplicación de la carga.

En la figura 2 se ilustra las dimensiones para el ensayo de tracción.

Figura 2 Probetas para ensayo de tracción

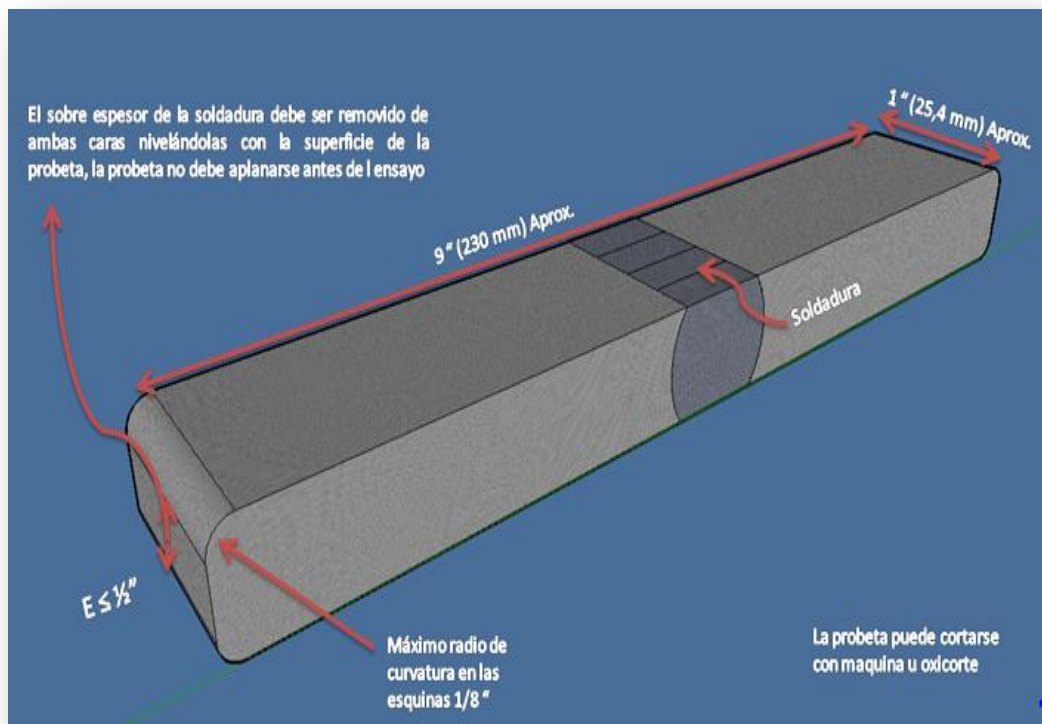


Fuente: Los autores

3.7.5 Ensayo de doblado de raíz y de cara ⁶

Los cupones de doblado de cara y de raíz deben doblarse en una matriz para doblado guiado, similar a aquella mostrada en la figura 4. Cada espécimen debe colocarse sobre la matriz con la soldadura al centro de la matriz. Los especímenes para doblado de cara deben colocarse con la cara de la soldadura hacia la garganta y los de doblado de raíz con la raíz de la soldadura hacia esa garganta. El émbolo o macho debe forzarse hacia la garganta hasta que la curvatura del espécimen tenga un perfil aproximadamente en forma de U.

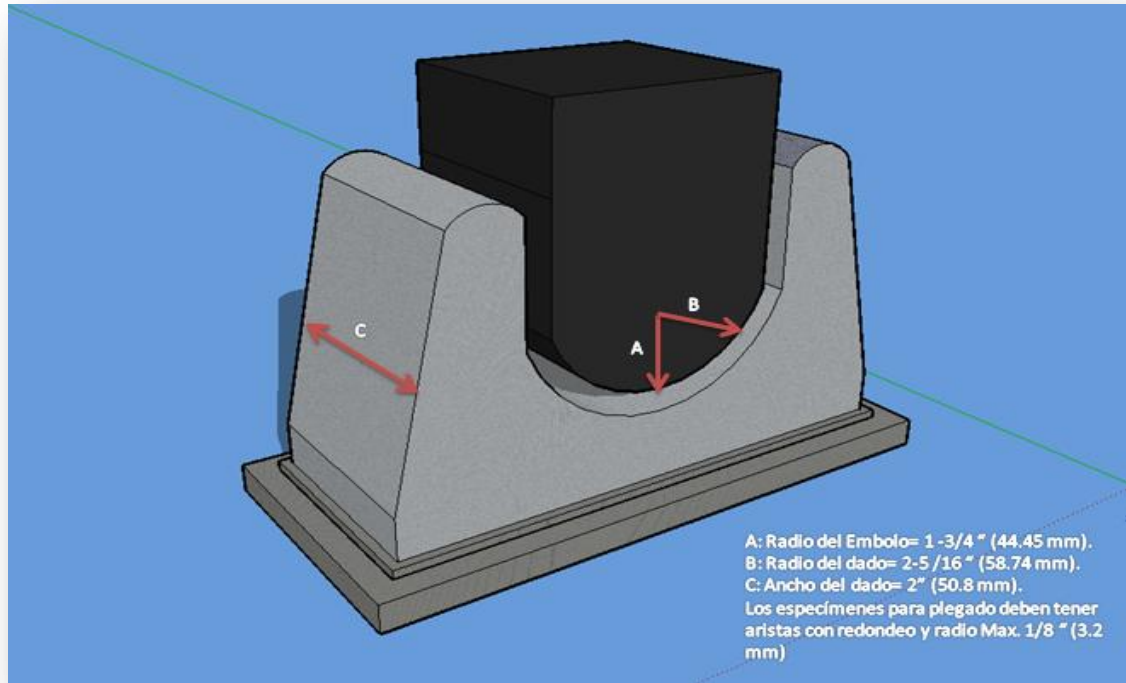
Figura 3 Probeta para ensayo de doblado de raíz y de cara



Fuente: Los autores

⁶ Nota: El refuerzo de soldadura debe removerse de ambas caras para que quede a ras con la superficie del espécimen. Este no debe ser aplanado antes de la prueba.

Figura 4 La matriz para el ensayo de doblé



Fuente: Los autores

3.7.6 Inspección Visual⁷

Para que una prueba de calificación de soldadura cumpla los requisitos de la norma, la soldadura debe estar libre de grietas, penetración inadecuada y quemones y debe presentar apariencia de limpieza y destreza en su ejecución. La profundidad del socavado adyacente al cordón final en el exterior de la tubería no debe ser mayor a 0.79 mm (1/32") de profundidad o al 12.5% del espesor de pared de la tubería, cualquiera que sea la más pequeña de las dos y no debe haber más de 2" (50.8 mm) de socavado en cualquier longitud de soldadura continua de 304.8 mm (12").

⁷ ICONTEC cuenta con NTC 3569 "Inspección Visual de Soldaduras" que orienta sobre el manejo de galgas y otros instrumentos. Su lectura y aplicación complementarán el ensayo de inspección visual.

No cumplir con los requisitos de esta subsección debe ser causa suficiente para eliminar pruebas adicionales.

3.7.7 Ensayo de tintas penetrantes

En la inspección por tintas penetrantes se debe especificar, un documento escrito y detallado para la inspección por líquidos penetrantes (LP), debe establecerse, que cumpla los requerimientos de la norma ASTM E 165⁸. El campo escuela y el contratista de END, deben acordar sobre el procedimiento de inspección por tintas penetrantes antes de realizar las inspecciones de producción.

Se debe exigir al contratista verificar que los procedimientos propuestos producirán resultados aceptables.

3.7.8 Ensayo de gammagrafía industrial

Un procedimiento detallado para la producción de imágenes debe establecerse y registrarse. Las películas radiográficas producidas mediante el uso de este procedimiento deben tener la densidad, claridad y contraste requeridos para su aceptación. Los siguientes criterios deben observarse para evaluar las imágenes:

- a) Una calidad de imagen aceptable que esté libre de niebla y de irregularidades de procesamiento que pudieran enmascarar la imagen de imperfecciones reales.
- b) Un sistema de identificación aceptable.
- c) Una técnica y montaje adecuados.
- d) Compatibilidad con los estándares de aceptación.

⁸ ASTM E165 - 09 Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry

3.8 DISEÑO Y PREPARACIÓN DE JUNTAS PARA SOLDADURA DE PRODUCCIÓN

3.8.1 Alineamiento⁹

El desalineamiento no debe exceder de 1/16”.

3.8.2 Abrazaderas para Alineación

Deben usarse si el procedimiento de soldadura lo indica, cuando es permitido usarla, se puede remover antes de completar el cordón de raíz, la parte terminada del cordón deben estar en segmentos iguales con espacios iguales alrededor de la circunferencia de la tubería, el cordón debe tener una longitud acumulada no inferior al 50% de la circunferencia del tubo.

3.8.3 Espacio Libre

Cuando el tubo es soldado sobre la tierra, el espacio de trabajo alrededor del tubo para la soldadura no debe ser menor de 16” (40 cm). Cuando el tubo es soldado en una zanja, el hueco tipo campana será suficiente para proveer a los soldadores el acceso fácil a la junta.

3.8.4 Limpieza entre cordones

La cascarilla y la escoria deben removerse de cada ranura y cordón. Deben utilizarse las herramientas (grata ó pulidora) como lo estipula el WPS; de otra manera, la limpieza puede realizarse de forma manual.

⁹ Véase la NTC 3569 para el manejo de galgas e instrumentos empleados para verificar el desalineamiento

Figura 5 Limpieza con pulidora



Fuente: Los autores

3.9 MÉTODOS DE INSPECCIÓN

- Pruebas Destructivas
- Pruebas No destructivas

3.10 CALIFICACIÓN DEL PERSONAL DE INSPECCIÓN

El personal de inspección de soldadura debe calificarse por experiencia y entrenamiento para la tarea específica de inspección que realiza. Su calificación debe aceptarse por la compañía. La documentación de estas calificaciones debe conservarse por la compañía e incluir, aunque no está limitada a, lo siguiente:

- a) Educación y experiencia.
- b) Entrenamiento.
- c) Resultados de algunos exámenes de calificación.

3.10.1 Certificación del personal

- La certificación del personal de ensayos no destructivos se hará según SNT-TC-1A, ACCP.
- Solo el nivel II y III podrán interpretar resultados.

- Personal nivel I y II debe re-certificarse cada 3 años y Nivel III cada 5 años.

3.10.2 Estándar de aceptación de pruebas no destructivas

El ensayo no destructivo puede consistir en inspección radiográfica u otro método especificado por el Campo Escuela Colorado que produzca indicaciones de defectos que puedan ser interpretados y evaluados con precisión.

Estos estándares de aceptabilidad son aplicados a la determinación del tamaño y tipo de defectos localizados por radiografía y otros métodos de prueba no destructiva como:

- Tintas Penetrantes

También pueden ser aplicados a la inspección visual. Los ensayos no destructivos no deben aplicarse a las probetas que fueron utilizadas para ensayos destructivos.

3.11 REPARACIÓN Y REMOCIÓN DE DEFECTOS

3.11.1 Autorización para reparaciones

Las soldaduras agrietadas deben ser removidas, pero si están por debajo de los criterios de aceptación en la sección 9.3.10 de la norma API 1104 estas no afectarán el funcionamiento de la soldadura.

3.11.2 Procedimiento de reparación

Este se determinará mediante ensayos destructivos y el número de probetas deberá ser determinado por el Campo Escuela Colorado de acuerdo a lo establecido en la norma API 1104, el procedimiento de reparación como mínimo debe incluir:

- Método de exploración del defecto.
- Método de remoción del defecto.
- La ranura a reparar será examinada para confirmar la completa remoción del defecto.
- Requerimientos de precalentamiento y temperatura entre pases.

- Procesos de soldadura y otros especificados en 5.3.2. de la Norma API 1104
- Requerimientos para ensayos no destructivos entre pases.

3.11.3 Criterios de Aceptación

Para la inspección de las soldaduras de producción ver 8.1 y 8.2 norma API 1104 y tomar como referencia los criterios de aceptabilidad de reparaciones expuestos en la norma API 1104 en la sección 9.

- La reparación será hecha bajo supervisión de un técnico experto reparación de soldaduras.
- La soldadura debe ser hecha por un soldador calificado.

4. MATERIALES Y EQUIPOS

4.1 MATERIALES

4.1.1 Selección del acero API

Para seleccionar el acero a soldar se tuvo en cuenta las líneas de transporte de la Estación de Recolección Campo Escuela Colorado. En este se considera el acero API 5L X42.

Este acero tiene un límite de fluencia nominal de 42000 psi (289 MPa). La composición química de los aceros usados se muestra en el anexo 3.

4.1.2 Metal de aporte.

Para seleccionar el metal de aporte se tuvo en cuenta las recomendaciones del código, los requisitos del procedimiento del metal base en cuanto a resistencia a la tracción, límite de fluencia, composición química. El metal de aporte utilizado en esta investigación es fabricado por la West Arco.

4.1.2.1 Composición química del metal de aporte

Tabla 5 Análisis químico del metal de aporte depositado E 7010-A1

C	Mn	Si	Mo	P	S
0,05 - 0,09	0,42 - 0,70	0,30 máx	0,20 mín	0,1	0,025 máx

Fuente: Los autores

Tabla 6 Análisis químico del metal de aporte depositado E 7018

C	Mn	Si
0.08	1.20	0.50

Fuente: Los autores

4.1.2.2 Características sobresalientes E 7010-A1

- Electrodo especialmente fabricado para depositar capa de relleno y acabado en soldaduras de oleoductos.

- La fuerza del arco mantiene la escoria del cráter, permitiendo al operador observar su trabajo.
- Es un electrodo adecuado para toda posición de trabajo.

4.1.2.3 Características sobresalientes E 7018

- Electrodo básico con bajo Hidrogeno tipo E 7018.
- Electrodo que otorga buenas propiedades mecánicas y buena penetración.
- Tiene una alta rata de deposición y bajas pérdidas por salpicaduras.
- Diseñado para soldadura en distintas posiciones.
- Rendimiento del 98%.
- Es utilizado con corriente directa, polaridad positiva (+) ó con corriente alterna
- Muy buena estabilidad del arco.
- Capaz de producir depósitos de buena calidad radiográfica.

4.1.2.4 Aplicaciones típicas E 7010-A1

- Para tubería de acero al molibdeno (0,5% Mo)
- Para tubería de pozos petroleros.
- Para aceros API 5L X42, X46, X52. En pase de relleno y acabado.

4.1.2.5 Aplicaciones típicas E 7018

- Se utiliza para soldaduras de acero al carbono de hasta 70.000 lbs/pulg² de resistencia a la tensión en aplicaciones en estructuras, tuberías y tanques a presión, calderas, vagones de ferrocarril.
- Grados API 5L X42, 5L X46, 5L X52.
- Puede ser usado en pases de raíz en tuberías de grado mayor en algunas circunstancias.
- Soldadura de reparación.

4.1.2.6 Propiedades típicas del metal depositado¹⁰

Tabla 7 Propiedades de material depositado E 7010-A1

Resistencia a la traccion	Limete Elastico	Ch V +29°C	Elongacion de 2"
500 N/mm2	> 400 N/mm2	> 40 J	>29%
70000 a 79000 Lb/pul2	> 58000 Lb/pug2		

Fuente: Los autores

Tabla 8 Propiedades de material depositado E 7018

Tratamiento termico	Resistencia a la traccion	Limete Elastico	Ch V - 20°C	Elongacion de 2"
Sin	510-610 N/mm2	> 380 N/mm2	> 140 J	24%
	74000 a 88000 Lb/pul2	> 55000 Lb/pug2		24%
Alivio de Tensiones	480 - 520 N/mm2	> 380 N/mm2	> 140 J	24%
Normalizado	420 - 520 N/mm2	> 380 N/mm2	> 140 J	24%

Fuente: Los autores

4.1.2.7 Características eléctricas

Tabla 9 Amperajes recomendados según tamaño del electrodo E 7010-A1

Para corriente - Electrodo al polo positivo		
Ø	5/32"	3/16"
	4,0 mm	5,0 mm
Amp. Min	100	140
Amp. Máx	190	230

Fuente: Los autores

Tabla 10 Amperajes recomendados según tamaño del electrodo E 7018

Para corriente alterna o continua-Electrodo al polo positivo						
Ø	5/64"	3/32"	1/8"	5/32"	3/16"	1/4
	2,0 mm	2,5 mm	3,25 mm	4,0 mm	5,0 mm	6,30 mm
Amp mín.	45	70	100	140	190	260
Amp máx.	60	90	140	200	250	340

Fuente: Los autores

¹⁰ Fuente: Manual de soldadura & Catálogo de productos de EXSA

4.1.3 Probetas para calificación

Figura 6 Cupones para calificación



Fuente: Los autores

4.1.4 Corte de probetas para ensayos mecánicos

Figura 7 Cortes de probetas para ensayos mecánicos



Fuente: West Arco, Cursos institucionales, Bogotá 2008.

4.2 EQUIPOS UTILIZADOS

4.2.1 Preparación de cupones para procedimiento de soldadura.

Equipo de mecanizado. Indetro Ingeniería LTDA

Figura 8 Equipo de Biselado.



Fuente: Los autores

4.2.2 Equipo de soldadura

Equipo SMAW: Marca Thermal Arc, tipo transformador rectificador, tipo de corriente continua y alterna. Indetro Ingeniería LTDA.

Figura 9 Equipo de soldadura SMAW



Figura 10 Equipo de soldadura SMAW



Fuente: Los autores

4.2.3 Equipos de ensayos mecánicos

Equipo universal de ensayo de Dobleza, Tensión, marca Sabin ST. Germain y asociaten, INC, New York USA (Carga máxima 60000 lb). Indetro Ingeniería LTDA. Y Laboratorio de ensayos mecánicos SENA (Distrito Capital)

Figura 11 Ensayo de Dobleza guiado.



Figura 12 Equipo de ensayo de doblez y tensión.



Fuente: West Arco, Cursos institucionales, Bogotá 2008.

4.2.4 Equipo de gammagrafía industrial.

Empresa Inspección de Tanques y Tuberías (ITT)

Figura 13 Equipo de gammagrafía industrial

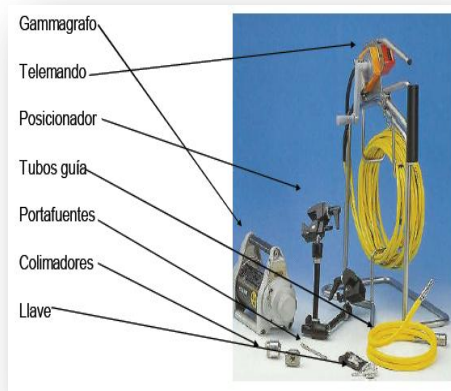


Figura 14 Equipo de gammagrafía industrial



Fuente: http://www.csn.es/images/stories/canal_saber/materiales_de_cursos/foro_indus_tema_3_2_pdf.pdf

4.2.5 Kit para líquidos penetrantes.

Removedor, líquido coloreado (penetrante) y revelador. Inspección de tanques y tubería (ITT) (departamento de ensayos no destructivos)

Figura 15 Kit líquidos penetrantes



Fuente: <http://estructurasacero.blogspot.com/2007/06/mtodos-de-inspeccin-de-soldaduras-en.html>

5. METODOLOGÍA

En esta investigación se realizó un estudio sobre el diseño y la calificación de un WPS, PQR y WPQ de un acero API 5L X42 teniendo en cuenta los parámetros establecidos por la norma API 1104. La figura 16 muestra a continuación la metodología que se siguió en esta investigación:

Figura 16 Diagrama metodológico para el desarrollo de la investigación.



Fuente: Los autores

5.1 ELABORACIÓN Y CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

La elaboración de los procedimientos de soldadura (WPS) por los autores del proyecto, se realizó teniendo en cuenta lo establecido en la norma API 1104.

5.1.1 Elaboración del procedimiento de soldadura WPS



Para la elaboración de los procedimientos de soldadura, se establecieron los parámetros según la tabla y el formato presentado a continuación:

Tabla 11 Selección de procedimiento de soldadura

SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	
TIPO	SMAW
TIPO DE UNIÓN	A tope directo en V sencilla
ESPESOR DE PARED METAL BASE	9/32"
POSICIÓN DE SOLDADURA	45° (Ascendente)
METAL DE APORTE	E 7010 A1; E 7018
CRITERIO DE ACEPTACIÓN	API 1104

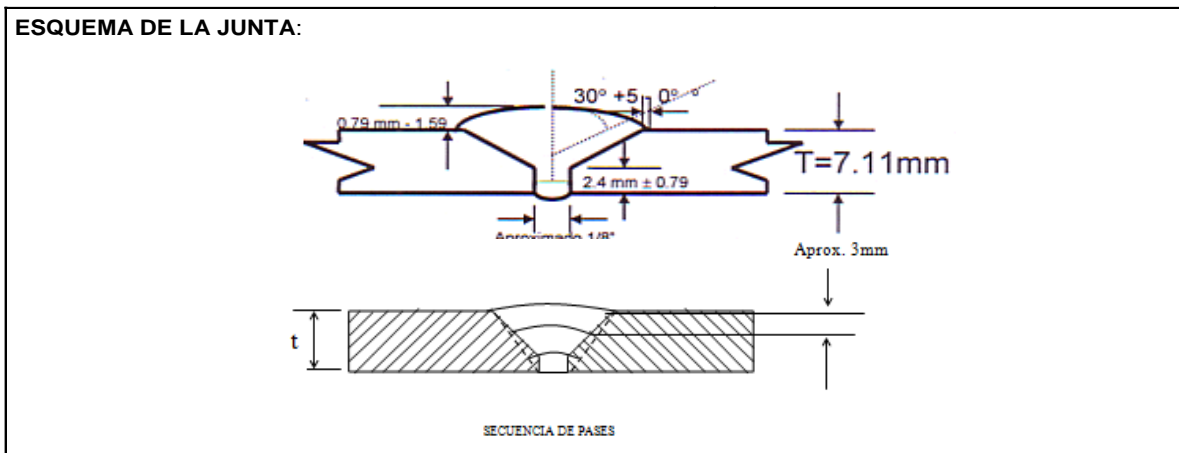
Fuente: Los autores

5.1.1.1 Formato de Especificación de Procedimiento de Soldadura según Norma API 1104

		ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA API 1104
---	---	--

REFERENCIA: API STANDARD 1104, 5.2	FECHA:
---	---------------

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA N°: CEC-API1104-01	
COMPAÑÍA: CAMPO ESCUELA COLORADO "UIS"	SOLDADURA DE: TUBERÍA
PROCESO:	
MATERIAL:	YIELD SGTRENGHT:
DIÁMETRO:	SCH: DIÁMETRO (6.2.2.)
ESPEOR DE PARED:	ESPEOR DE PARED (6.2.2)
DISEÑO DE LA JUNTA:	
METAL DE APORTE (TABLA 1):	NÚMERO DE PASES:
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS:	
POSICIÓN:	
DIRECCIÓN DE SOLDEO:	
NUMERO DE SOLDADORES:	
TIEMPO ENTRE PASES:	
TIPO DE ALINEADORES:	REMOCIÓN ALINEADORES
LIMPIEZA Y/O PULIMENTO:	
PRECALENTAMIENTO/PWHT:	
FUNDENTE DE RESPALDO:	
VELOCIDAD DE AVANCE:	



TAMAÑO DEL ELECTRODO Y NÚMERO DE PASES						
PASE N°	ELECTRODO	DIÁMETRO	VOLTAJE	AMPERAJE	POLARIDAD	VELOCIDAD

Elaboró:	Sergio Ramírez Celis Jorge G. Sáenz González	Revisó:		Aprobó:	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

Fuente: API STANDARD 1104, TWENTIETH EDITION, Welding of Pipelines and Related Facilities. Noviembre 2005

5.1.1.2 Selección del proceso de soldadura

Se seleccionó el proceso por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW) teniendo en cuenta algunos factores como: disposición de los equipos a nivel nacional, electrodos disponibles en el mercado, su adaptabilidad en el campo de la construcción petrolera.

5.1.1.3 Diseño de la junta

Se puede soldar tubería API con uniones a tope directo teniendo en cuenta el espesor de la pared de 9/32" del tubo para el diseño de la misma.

De acuerdo con los objetivos se diseñó un documento para la estación Campo Escuela Colorado realizándose uniones a tope directo en V sencilla garantizando penetración completa, las dimensiones se muestran en el WPS.

5.1.1.4 Posiciones de soldadura

Se empleó la posición a 45° de forma ascendente. La calificación en la posición a 45° se diseñó para calificar uniones a tope directo para el proceso SMAW como se muestra en las figuras 17 y 18.

Figura 17 Posición de soldadura a 45°



Figura 18 Posición de soldadura a 45°



Fuente: Los autores

5.1.1.5 Metal de aporte

La selección del material de aporte (electrodo) se basó en la resistencia mecánica del metal base, composición química, disponibilidad, posición de soldadura, espesor y forma del metal base, diseño de la junta, especificaciones o condiciones de servicio requeridas para el trabajo, eficiencia y rapidez requeridas en la operación.

Los electrodos para soldadura con arco eléctrico deben cumplir con los requisitos de la norma NTC 2191¹¹ (AWS A5.5 y AWS A5.1) para este procedimiento se utilizó el electrodo E-7010 A1 y E-7018.

5.2 CALIFICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS

Las pruebas de calificación de los procedimientos fueron desarrollados en los laboratorios de Indetro Ingeniería LTDA en la ciudad de Bogotá con electrodos consumibles de la empresa West arco, los ensayos destructivos (Doble de raíz y de cara) fueron ejecutadas en los laboratorios de Indetro Ingeniería LTDA, el ensayo de tracción fue realizado en los laboratorios del SENA, seccional D.C, las pruebas de los ensayos no destructivos (Radiografía y Tintas penetrantes) fueron ejecutadas en los laboratorios de Inspección de Tanques y Tuberías (ITT).

5.2.1 Corte y preparación de cupones

El corte y mecanizado de las probetas se hizo de acuerdo a lo especificado en el WPS.

¹¹ Electrodo revestidos para soldadura para aceros al carbono

Figura 19 Cupones biselados



Figura 20 Cupones soldados en posición a 45°



Fuente: Los autores

5.2.2 Aplicación y limpieza de la soldadura.

Se desarrolló según lo establecido en el WPS respectivo y con el personal calificado.

Figura 21 Limpieza del cordón de soldadura.



Fuente: Los autores

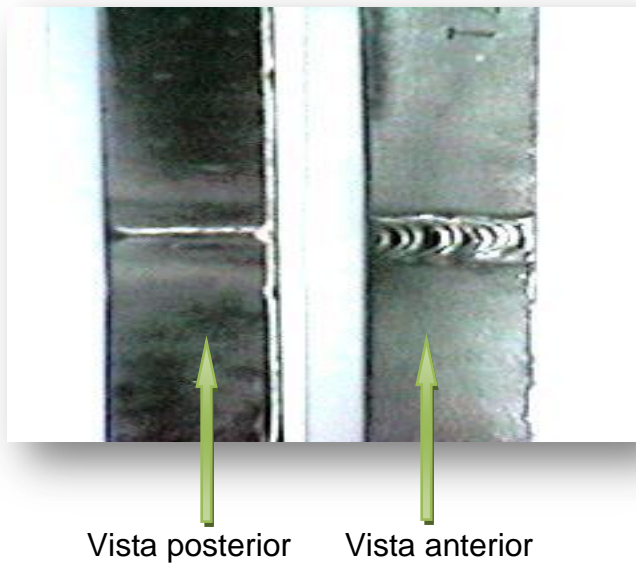
5.2.3 Ensayos mecánicos

Según la norma API 1104 se requieren dos probetas para el ensayo de tensión, dos probetas para el ensayo de doblez de cara y dos para el ensayo de doblez de raíz.

5.2.3.1 Probetas para el ensayo de tensión.

Esta prueba tiene como finalidad determinar la resistencia a la tracción de la unión soldada evaluando así la soldabilidad operativa.

Figura 22 Probeta para ensayo de Tensión

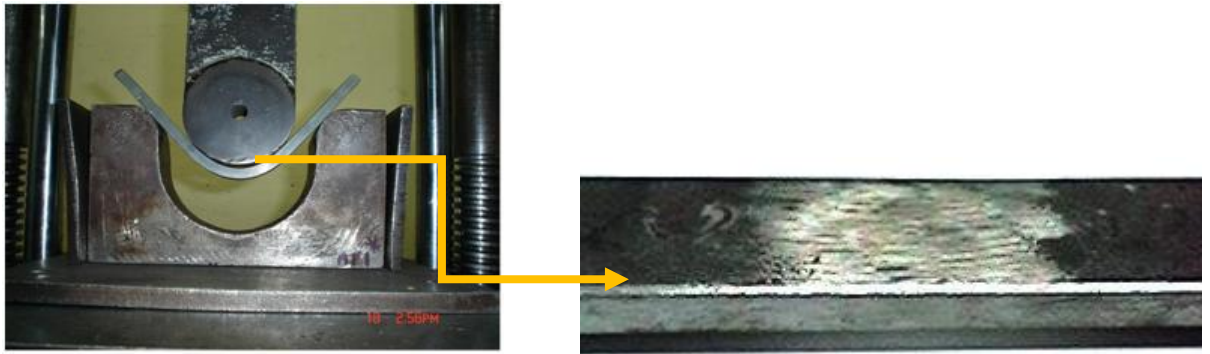


Fuente: West Arco, Cursos institucionales, Bogotá 2008.

5.2.3.2 Probetas para el ensayo de doblez

Esta prueba tiene como finalidad determinar la sanidad y ductilidad de la unión soldada mediante el análisis de discontinuidades.

Figura 23 Probeta ensayo de doblé



Fuente: West Arco, Cursos institucionales, Bogotá 2008.

5.2.4 Pruebas No Destructivas

5.2.4.1 Inspección visual

Se realizó bajo la supervisión del Inspector, para caracterizar los posibles defectos presentes detectables a simple vista en la probeta.

5.2.4.2 Ensayo de gammagrafía industrial

Este ensayo fue realizado por ITT bajo la norma API 1104, utilizando un equipo de gammagrafía industrial, isótopo de Ir 192 y actividad 15 Ci, técnica de exposición doble pared e interpretación una cara, tipo de película ST D7 indicador de calidad ASTM-E-747¹² Hilos SET B y norma de interpretación API 1104, buscando descartar defectos internos, evaluarlos con los criterios de aceptación del código. Imperfecciones detectadas por ensayo radiográfico en la tubería o los accesorios deben reportarse a la compañía. La decisión para repararlas o removerlas debe tomarla el Campo Escuela Colorado.

¹² ASTM E747 - 04 Standard Practice for Design, Manufacture and Material Grouping Classification of Wire Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology

5.2.4.3 Ensayo de tintas penetrantes

Las indicaciones encontradas mediante este ensayo deben considerarse defectos si existiera cualquiera de las siguientes condiciones:

- a) Las indicaciones lineales son evaluadas como grietas de cráter o grietas estrella si exceden de 3.96 mm (5/32") en longitud.
- b) Las indicaciones lineales son evaluadas como otras grietas, diferentes de cómo grietas de cráter o grietas estrella.
- c) Las indicaciones lineales son evaluadas como una fusión incompleta, si la longitud total de la indicación excede 25.4 mm (1") en una longitud continua de 304.8 mm (12") de soldadura o el 8% de la longitud soldada.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Resultados

Los resultados obtenidos mediante el desarrollo experimental expuesto a lo largo de esta investigación permiten determinar si se aprueba los procedimientos elaborados para la Estación de Recolección Campo Escuela Colorado.

Dichos resultados están dispuestos de la siguiente forma:



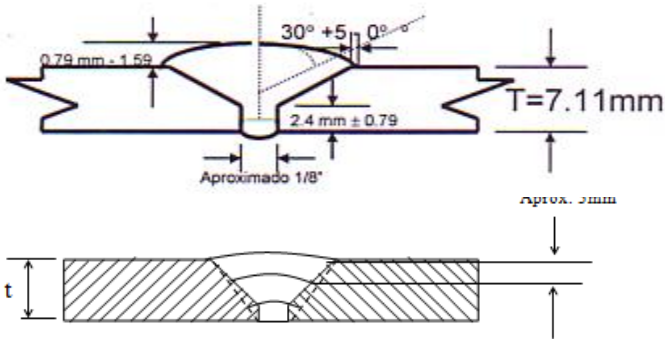
- Especificación del procedimiento de Soldadura (WPS).
- Calificación de las habilidades del soldador (WPQ)

Documento en el que se encuentran registrados los resultados de los ensayos no destructivos



- Registro de calificación del procedimiento (PQR).

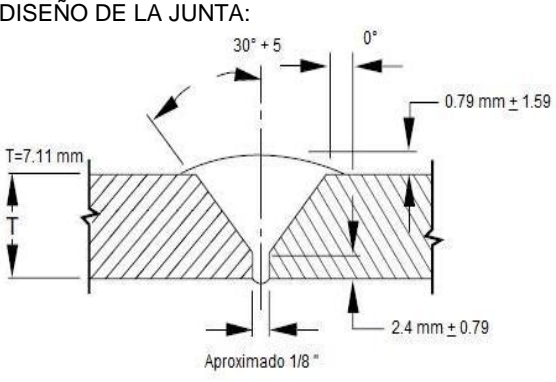
Los reportes de los ensayos de dobléz, ensayo de tracción y de radiografía se presentan en los anexos 4, 5 y 6.



6.1.1 Especificación del procedimiento de Soldadura (WPS)

 		ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA API 1104				
REFERENCIA:	API STANDARD 1104, 5.2	FECHA:	Abril de 2010			
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA N°:	CEC-API1104-01					
COMPAÑÍA: CAMPO ESCUELA COLORADO "UIS"	SOLDADURA DE: TUBERÍA					
PROCESO: SMAW						
MATERIAL: API 5L X42	YIELD STRENGTH: 42.000 PSI					
DIÁMETRO: 6"	SCH: 40	DIÁMETRO (6.2.2): >2 3/8", <12 3/4"				
ESPESOR DE PARED: 7.11 MM		ESPESOR DE PARED (6.2.2): >4.8 MM, <19.1 MM				
DISEÑO DE LA JUNTA: BISEL EN "V"						
METAL DE APORTE A5.5, A5.1	E 7010-A1, E7018	NUMERO DE PASES: 3				
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS: DC (-) PARA E7010-A1, DC (+) PARA E7018						
POSICIÓN: 45°						
DIRECCIÓN DE SOLDEO: Vertical Ascendente						
NUMERO DE SOLDADORES: 1						
TIEMPO ENTRE PASES: 1 Minuto						
TIPO DE ALINEADORES:	Puntos de soldadura, platinas	REMOCIÓN ALINEADORES: Pulidora				
LIMPIEZA Y/O PULIMENTO: Pulidora y grata						
PRECALENTAMIENTO/PWHT: N. A.						
FUNDENTE DE RESPALDO: N. A.						
VELOCIDAD DE AVANCE: 9-11 inch/min pase 1, 9-10 inch/min pase 2, 10-12 inch/min pase 3						
ESQUEMA DE LA JUNTA:						
						
TAMAÑO DEL ELECTRODO Y NUMERO DE PASES						
PASE N°	ELECTRODO	DIÁMETRO	VOLTAJE	AMPERAJE	POLARIDAD	VELOCIDAD
1	E 7010	1/8"	25-35	130-140	NEGATIVA	9-11 Inch/Min
2	E 7018	1/8"	25-30	135-150	POSITIVA	9-10 Inch/Min
3	E 7018	1/8"	20-30	140-160	POSITIVA	10-12 Inch/Min
Elaboró:	Sergio Ramírez Celis Jorge G. Sáenz González	Revisó:	Ing. Edgar Becerra CWI N°07071711	Aprobó:	Edgar Becerra	
Fecha:	Abril de 2010	Firma:		Fecha:		



6.1.2 Registro de calificación del procedimiento (PQR)

		REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) CÓDIGO API 1104	DOC N:1
			FECHA:10/05/10

REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA		ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	
PQR-CEC-API1104-01		CEC-API1104-01	
COMPañÍA: Universidad Industrial Santander (UIS) Campo Escuela Colorado			
PROYECTO: N. 1 "DISEÑO Y CALIFICACIÓN DE UN WPS, PQR Y WPQ DE SOLDADURA SEGUN NORMA API 1104 PARA LA ESTACIÓN DE RECOLECCIÓN CAMPO ESCUELA COLORADO"			
1. PROCESO DE SOLDADURA: SMAW		TIPO: MANUAL	
2. JUNTA:		CÓDIGO APLICADO: API 1104	
2.1 DISEÑO DE LA JUNTA:	Ver figura		
2.2 RESPALDO:	No aplica		
2.3 MATERIAL PLATINA	No aplica		
2.4 MÉTODO DE OPERACIÓN DE BISEL:	Disco abrasivo		
2.5 ORDEN Y SECUENCIA DE PASES:	Ver figura esquema de la junta en el WPS		
3. METAL BASE:			
3.1 ESPECIFICACIÓN	API	TIPO	5L GRADO: X42
A ESPECIFICACIÓN	API	TIPO	5L GRADO: X42
3.2 PROPIEDADES QUÍMICAS Y MECÁNICAS		(C) 42 KSI	A (C) 42 KSI
3.3 RANGO DE ESPESORES			
ESPESOR UTILIZADO:		9/32 (7.11 mm)	
METAL BASE:	A TOPE:	0.188" (4.8 mm)	MÁX 0.750" (19.1 mm) EN FILETE NA
RANGO DIÁM. TUBERÍA	A TOPE:	MIN 2.375" (60.3mm)	MÁX 12.750" (323.9mm) EN FILETE NA
4. METAL DE RELLENO			
4.1 N. DE PASE		1	2 y 3
4.2 ESPECIFICACIÓN SFA N.		5.5	5.1
4.3 CLASE AWS N.		E-7010-A1	E-7018
4.4 DIÁMETRO METAL DE APORTE		1/8"	1/8"

		REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) CÓDIGO API 1104	DOC N:1
			FECHA:10/05/10



4.5 ESPESOR METAL SOLDADURA	1.753 mm	2.752 mm
4.6 FUNDENTE (CLASE)	NO APLICA	NO APLICA
4.7 NOMBRE COMERCIAL FUNDENTE	NO APLICA	NO APLICA
4.8 FABRICANTE METAL DE APORTE	WEST ARCO	WEST ARCO
4.9 NOMBRE COMERCIAL METAL DE APORTE	ZIP 710 A1	WIZ 718 A1
4.10 INSERTO DE CONSUMIBLE	NO APLICA	NO APLICA
4.12 ESPESOR MÁXIMO DE PASES	1-2 mm	1-3 mm
4.13 MÉTODO DE PRESERVACIÓN DEL ELECTRODO	CAJA	HORNO
5. POSICIÓN:		
5.1 A TOPE:	ALL	
5.2 EN FILETE	NO APLICA	
5.3 PROGRESIÓN DE LA SOLDADURA	DESCENDENTE	ASCENDENTE <u>X</u>
6. PRECALENTAMIENTO:		
6.1 TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO	MÍNIMA: N.A.	MÁXIMA: N.A.
6.2 TEMPERATURA ENTRE PASES	MÍNIMA: 150°C	MÁXIMA: <300°C
6.3 MÉTODO DE PRECALENTAMIENTO	NO APLICA	
6.4 MANTENIMIENTO DEL RECALENTAMIENTO	NO APLICA	
7. TRATAMIENTO POST-CALENTAMIENTO		
7.1 CALENTAMIENTO LIBRE HASTA:	NO APLICA	
7.2 DIFERENCIA DE CALENTAMIENTO:	NO APLICA	
7.3 TEMPERATURA DE MANTENIMIENTO:	MÍNIMA: N.A.	MÁXIMA: N.A.
7.4 TIEMPO DE SOSTENIMIENTO	NO APLICA	
7.5 DIFERENCIAL DE ENFRIAMIENTO	NO APLICA	
7.6 ENFRIAMIENTO LIBRE A PARTIR DE	NO APLICA	
7.7 MÉTODO DE CALENTAMIENTO	NO APLICA	
8. GAS		
8.1 GAS DE PROTECCIÓN:	NO APLICA	
8.2 COMPOSICIÓN DE MEZCLA:	NO APLICA	
8.3 GRADIENTE DE FLUJO:	MÍNIMA: N.A.	MÁXIMA: N.A.
8.4 GAS DE RESPALDO	NO APLICA	
8.5 COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA	NO APLICA	
8.6 GRADIENTE DE FLUJO:	MÍNIMA: N.A.	MÁXIMA: N.A.
8.7 VOLÚMEN NECESARIO LIMPIEZA DE OXÍGENO:	NO APLICA	
8.8 MÉTODO GAS DE ARRASTRE	NO APLICA	

		REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR) CÓDIGO API 1104	DOC N:1
			FECHA:10/05/10

9. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS									
9.1 ELECTRODO DE TUNGSTENO:					TIPO	N.A.	TAMAÑO:	N.A.	
9.2 MÉTODO DE TRANSFERENCIA A GMAW:					N.A.				
9.3 RANGO DE VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN ALAMBRE					N.A.				
PASE N.	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE		VOLTAJE	VELOCIDAD (inch / min)	PRECAL. °C	NOTAS
		CLASE	DIAM.	POLARIDAD	AMPS. RANGO				
1	SMAW	E-7010	1/8"	DC-	130-140	25-35	9 - 11	AMBIENTE	
2	SMAW	E-7018	1/8"	DC+	135-150	25-30	9 - 10	<300°C	
3	SMAW	E-7018	1/8"	DC+	140-160	20-30	10 - 12	<300°C	
10. TÉCNICA OPERACIONAL									
10.1 PASADA RECTA U OSCILANTE					<u>RECTA Y OSCILANTE</u>				
10.2 OSCILACIÓN MÁXIMA:					<u>3 VECES EL DIÁMETRO DEL ELECTRODO</u>				
10.3 TAMAÑO BOQUILLA U ORIFICIOS:					<u>NO APLICA</u>				
10.4 MÉTODO DE LIMPIEZA INICIAL E INTERPASES:					<u>GRATA Y/O PULIDORA</u>				
10.5 MÉTODO DE DESCARBONADO:					<u>NO APLICA</u>				
10.6 DISTANCIA CONTACTO BOQUILLA - PIEZA:					<u>NO APLICA</u>				
10.7 PASE SIMPLE O MÚLTIPLE:					<u>PASE MÚLTIPLE</u>				
10.8 ELECTRODO SIMPLE O MÚLTIPLE:					<u>SIMPLE</u>				
10.9 RANGO DE VELOCIDAD:					<u>VARIABLE</u>				
10.10 MARTILLADO:					<u>NO PERMITIDO</u>				
10.11 MÁQUINA MANUAL O SEMIAUTOMÁTICA:					<u>MANUAL</u>				
13.INSPECCIÓN VISUAL									
Pase de Raíz: <u>Aceptable</u>			Pase de Presentación: <u>Aceptable</u>			Socavado: <u>Ninguno</u>			
Porosidad: <u>Ninguno</u>		Grieta: <u>Ninguno</u>		Inclusión de Escoria: <u>Ninguno</u>		Fusión Incompleta: <u>Ninguno</u>			
Observaciones: _____									
14.RADIOGRAFÍA									
Pase de Raíz: <u>OK</u>			Pase de Presentación: <u>OK</u>			Socavado: <u>NO</u>			
Porosidad: <u>NO</u>		Grieta: <u>NO</u>		Inclusión de Escoria: <u>NO</u>		Fusión Incompleta: <u>NO</u>			
Observaciones: _____									
15. TINTAS PENETRANTES									
Grieta: <u>Ninguno</u>			Fusión incompleta: <u>Ninguno</u>			Socavado: <u>NO</u>			
Porosidad: <u>NO</u>		Pase de presentación: <u>OK</u>			Quemones: <u>NO</u>		Pase de raíz: <u>OK</u>		
Observaciones: _____									

Elaboró:	Sergio Ramírez Celis Jorge G. Sáenz González	Revisó:	Ing. Edgar Becerra CWI N°07071711	Aprobó:	Edgar Becerra
Fecha:	Abril de 2010	Firma:		Fecha:	

6.1.3 Calificación de las habilidades del soldador (WPQ)

						REPORTE DE CALIFICACIÓN DEL SOLDADOR (WPQ) CÓDIGO API 1104	
WPQ N°: WPQ-CEC-API1104-01					FECHA: 10/05/10		
NOMBRE DEL SOLDADOR: LUCIANO MOSQUERA VIVEROS				IDENTIFICACIÓN: 17'411.634			
WPS N°: CEC-API1104-01			REV:		FECHA: 10/05/10		
PQR N°: PQR-CEC-API1104-01					FECHA: 10/05/10		
VARIABLES		REGISTRO DE LOS VALORES UTILIZADOS EN LA CALIFICACIÓN		RANGO DE VALORES CALIFICADOS			
Proceso de soldadura		SMAW		SMAW			
Metal base		API 5L X42		API 5L X42			
Tipo de recubrimiento		N/A		N/A			
Metal de aporte		E-7010 A1, E-7018		E-7010 A1, E-7018			
Polaridad		DC(-) PARA E-7010 A1, DC(+) PARA E-7018		DC(-) PARA E-7010 A1, DC(+) PARA E-7018			
Corriente		130-180		130-180			
Tipo de soldadura		MANUAL					
Posición		45°		45°			
Progresión de la soldadura		ASCENDENTE					
Con respaldo		N/A		N/A			
Material de respaldo		N/A		N/A			
Diámetro de la tubería		6"		6"			
Tipo de gas		N/A		N/A			
Flujo de gas		N/A		N/A			
INSPECCIÓN VISUAL							
Pase de Raíz: <u>Aceptable</u>		Pase de Presentación: <u>Aceptable</u>			Socavado: <u>Ninguno</u>		
Porosidad: <u>Ninguno</u>		Grieta: <u>Ninguno</u>		Fusión Incompleta: <u>Ninguno</u>		Grietas: <u>Ninguno</u>	
Observaciones:							
PRUEBA DE TENSIÓN							
ESPECÍMEN N.	CARGA MÁXIMA LBF	ESFUERZO MÁXIMO PSI	CARGA DE ROTURA LBF	ESFUERZO DE ROTURA	TIPO DE FALLA Y LOCALIZACIÓN		
T1	15187,8	65323,7	12366,2	53188,1	RFS		
T2	16995,3	73098,1	16896,1	72671,4	RFS		
PROM	16091,55	69210,9	14631,15	62929,75	APROBADO		
ANEXO CERTIFICADO DEL SENA ORDEN T10-104							
ENSAYO DE DOBLEZ							
TIPO DOBLEZ DE CARA DC1 DOBLEZ DE CARA DC2 DOBLEZ DE RAÍZ DR1 DOBLEZ DE RAÍZ DR2			RESULTADOS OK SIN DEFECTOS, RESULTADO SATISFACTORIO OK SIN DEFECTOS, RESULTADO SATISFACTORIO OK SIN DEFECTOS, RESULTADO SATISFACTORIO OK SIN DEFECTOS, RESULTADO SATISFACTORIO				
Elaboró:	Sergio Ramírez Celis Jorge G. Sáenz González		Revisó:	Ing. Edgar Becerra CWI N°07071711	Aprobó:	Edgar Becerra	
Fecha:	Abril de 2010		Firma:		Fecha:		

6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente análisis tiene como objeto valorar e interpretar los resultados del estudio realizado a través del desarrollo experimental para evaluar características mecánicas y sanidad del material base y el material depositado en la junta.

Inicialmente se ejecutó el análisis con los resultados consignados en el registro de calificación del procedimiento (PQR), basados en los criterios de aceptación de las pruebas no destructivas descritos en la sección (9) de la norma API 1104 y los criterios de aceptación de los ensayos mecánicos según la sección (5.6) de la norma API 1104.

6.2.1 Inspección Visual

En el procedimiento de soldadura CEC API 1104-01 se realizó una inspección visual a la probeta identificada como 01, sin encontrarse indicaciones superficiales relevantes que afecten el buen funcionamiento en servicio de la soldadura, estando dentro de los criterios de aceptación para el ensayo de inspección visual según la norma API 1104, numeral 6.4.

No se observó penetración incompleta sin desalineación ya que se alcanzó la temperatura adecuada de fusión para una completa penetración.

Se observó un cordón homogéneo gracias al control que se tuvo en las condiciones eléctricas aplicadas y con un manejo del electrodo apropiado.

No se presentó falta de fusión entre el metal base y el metal de soldadura abierta a la superficie debido a que la temperatura alcanzada en el metal base fue la apropiada para llegar al punto de fusión.

La probeta no mostró ningún tipo de distorsión debido a la aplicación de calor y la fusión de metal de soldadura en el metal base.



Presentó unas pocas salpicaduras que son glóbulos de metal de aporte adheridos al metal base producto del proceso, las cuales se eliminaron con grata porque estas pueden producir microfisuras.

6.2.2 Líquidos Penetrantes

Se evidenciaron rayaduras que no se consideran por la norma como una imperfección y no son relevantes para su aceptabilidad.

Se observó varias indicaciones superficiales que no excedían 1/16” como límite de aceptación de la norma para líquidos penetrantes

Tabla 12 Reporte ensayo de líquidos penetrantes

 		REPORTE POR ENSAYO DE LIQUIDOS PENETRANTES			
COMPAÑÍA	CAMPO ESCUELA COLORADO	WPS CEC-API-1104-01	DOC 01		
	FECHA:	10 de mayo de 2010	INFORME N°:	1	
TAG EQUIPO:	SERVICIO:	Linea de flujo	SECCION EVALUADA:	Junta circuferencial	
MATERIAL:	Acero al Carbono API 5L X42	TIPO DE JUNTA:	A tope	BISEL: V Sencilla	
SECCIONES INSPECCIONADAS:	Cordón de soldadura				
PREPARACIÓN DE SUPERFICIE:	Lija				
TIEMPO DE PENETRANTE (Minutos):	15	TIEMPO DE REVELADO (Minutos):	10		
Criterio de Aceptación:	API 1104 sección 9.5.1.2 y 9.5.1.3				
MATERIALES UTILIZADOS					
DETALLE	FABRICANTE	REF. COMERCIAL	LOTE No.		
LIMPIADOR	Magnaflux	Spotcheck SKC-S	09F21K		
PENETRANTE	Magnaflux	Spotcheck SLK-SP1	05F01K		
REVELADOR	Magnaflux	Spotcheck SKD-S2	09L01K		
EVALUACIÓN Y CALIFICACIÓN					
DESCRIPCIÓN DE LA ZONA INSPECCIONADA	TIPO DE INDICACIÓN ENCONTRADA	LONGITUD DE LA INDICACION (mm)	ACEPTADO	RECHAZADO	
100% de La junta a tope del acero API 5L X42 de la probeta 1	Ninguna	-----	X		

Fuente: Los autores

6.2.3 Gammagrafía Industrial

Se realizó el ensayo de gammagrafía industrial presentando la película radiográfica una calidad alta, libre de sombreado y de irregularidades del revelado, obteniendo mediante este ensayo la última decisión de aceptación ó rechazo en los ensayos no destructivos debido a que el ensayo de gammagrafía brinda información de cualquier tipo de defecto superficial ó estructural.

No se observó en las películas radiográficas ningún tipo de indicación (IP) “Penetración incompleta sin desalineación”.

No se encontró escoria atrapada entre pasadas debido a la limpieza que se realizó entre cada cordón de soldadura con la pulidora y la grata.

No se observó ningún tipo de agrietamiento interno y/o externo a causa de una junta con las dimensiones inadecuadas y un electrodo que no cumpliera con el diseño apropiado y fuese de bajo hidrógeno.

En el reporte radiográfico (Anexo 6) se encuentra consignado las variables determinadas por la norma para el ensayo de radiografía que contiene los criterios de aceptación en el numeral 9.3.1 al 9.3.13.

6.2.4 Ensayo de Doblez

Su análisis se realizó bajo el criterio de aceptación para los ensayos de doblez de la sección 5.6.4 de la norma API 1104.

El ensayo de doblado de cara y doblado de raíz se consideró aceptable debido a que no se encontró en la superficie grietas u otros defectos que superaran 1/8” (3 mm) y se pudo constatar que la ductilidad en la zona de soldadura se conserva.

6.2.5 Ensayo de Tensión

La tensión de ruptura de la soldadura debe ser superior o igual a la tensión de ruptura mínima especificada del material de la tubería, la prueba reveló que la resistencia a la tensión que presentó el cordón de soldadura fue la esperada, superó los 60000 PSI (414 MPa) que era la resistencia a la tracción del metal base, el esfuerzo máximo de tracción para cada probeta fue de 65323,7 PSI y 73098,1 PSI.

La fractura se presentó en el metal base y no sobre el cordón de soldadura, confirmando de esta manera que la resistencia del metal de soldadura presentó un buen comportamiento por lo cual podemos afirmar que el procedimiento elaborado es aprobado.

La resistencia a la tracción se calculó dividiendo la máxima carga de falla por la mínima área transversal de la probeta a ensayar antes de aplicarle la carga.

6.2.6 Calificación del Soldador

La calificación que se le realizó al soldador de acuerdo a la norma API 1104 fue calificación simple por los siguientes factores:

- Se calificó en posición fija ascendente con la probeta a un ángulo de 45° sobre el plano horizontal con el proceso de soldadura manual SMAW.
- El metal base de diámetro exterior de 6", se encuentra dentro de los rangos de calificación del grupo 2 de diámetros que comprende desde 2 3/8 pulgadas (60.3mm) hasta 12 3/4 pulgadas (323.9 mm).
- Con un espesor de 7,11 mm, se encuentra en el grupo 2 de espesor nominal de pared que va desde 3/16 pulgadas (4.8 mm) hasta 3/4 pulgadas (19.1mm).

- El diseño de la junta fue en V sencilla, de acuerdo a la norma se calificó al soldador mediante los ensayos no destructivos (Inspección visual, líquidos penetrantes y radiografía), también por los ensayos destructivos (doblez y tensión), cumpliéndolos satisfactoriamente.

Tabla 13 Resultados de los ensayos realizados a la probeta para calificación del soldador

RESULTADOS					
OPERADOR	INSPECCIÓN VISUAL	LIQUIDOS PENETRANTES	ENSAYO DE TRACCIÓN	ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO	GAMAGRAFIA
LUCIANO	Sin indicaciones (CWI Ing. Edgar Becerra)	El inspector autorizado teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la inspección visual y los ensayos de gamagrafia, tracción y dobléz guidado consideró irrelevante el ensayo	Resultado satisfactorio		

Fuente: Los autores

7. CONCLUSIONES

- En el presente trabajo de investigación se elaboró y calificó satisfactoriamente un WPS (Especificación de un Procedimiento de Soldadura), de acuerdo con los requerimientos de la estación de recolección Campo Escuela Colorado, basados en la norma API 1104.
- Se elaboró y calificó un WPQ (Calificación de las Habilidades del Soldador) mediante ensayos destructivos (pruebas de tensión y dobléz) y ensayos no destructivos (inspección visual, líquidos penetrantes y radiografía industrial), bajo los criterios de aceptación y rechazo de la norma API 1104.
- El acero API 5L X42 presentó buena soldabilidad operativa evidenciado por los resultados satisfactorios que arrojaron los ensayos destructivos y ensayos no destructivos
- Un aspecto importante en este trabajo es brindar seguridad con las uniones que se realizan resistiendo las condiciones en servicio que se presentan en la estación de recolección Campo Escuela Colorado aplicando el WPS.
- La probeta identificada como 1, soldador Luciano, no evidenció indicaciones relevantes durante la inspección visual; fueron realizadas las calificaciones del procedimiento con el aval de un Inspector Certificado CWI Ing. Edgar Becerra, con resultados aceptables según norma API 1104.
- Este WPS se debe emplear para las siguientes condiciones:
 - a) Pase de raíz: E7010 A1 de 1/8"
 - b) Pases de relleno y presentación: E7018 de 1/8" y 5/32"
 - c) Rango de diámetros: 2 3/8" (60,3 mm) hasta 12 3/4" (323.9 mm)
 - d) Rango de espesores: 3/16" (4,8 mm) hasta 3/4" (19.1mm)

- e) Punto de fluencia del material: 42000 PSI
- f) Especificación del material: Acero API 5L X42

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda aplicar el procedimiento de soldadura anteriormente expuesto considerando:
 1. La tubería debe ser soldada por una persona calificada utilizando el WPS calificado. Cuando se inicie la aplicación del procedimiento, la superficie del metal base a soldar debe ser pareja, uniforme, libre de óxidos, escoria, grasa ó pintura de manera que no afecten las propiedades de la soldadura. El diseño de unión y espacio entre las tuberías debe ser igual al del WPS.
 2. Para obtener mejores resultados el personal que realiza la soldadura debe tener una excelente habilidad, por tal motivo se recomienda que el soldador esté calificado de acuerdo al WPS a ejecutar.
 3. Cuando se aplique el primer cordón de soldadura la limpieza debe ser muy completa y se debe eliminar toda clase de óxidos y residuos que puedan afectar la soldadura, se debe usar herramientas eléctricas como se estipula en el procedimiento.
 4. El bisel debe ser idéntico al diseñado en el WPS, se deben maquinar con herramientas adecuadas ó con oxicorte.
 5. Es importante evitar el procedimiento de soldadura en condiciones climáticas de alta humedad del aire; en el caso de ventiscas de arena o vientos fuertes, el proceso se debe aislar para que no sea afectado.
 6. El espacio de trabajo alrededor de la tubería no debe ser menor a 16" y si se tiene que trabajar en zanja el hoyo debe ser lo suficientemente grande para que el soldador tenga un acceso fácil.

7. El ensayo destructivo se ejecuta con el retiro de soldaduras terminadas, el seccionamiento de ellas como muestras para su posterior evaluación. Las muestras deben prepararse según lo establecido en el documento y el Campo Escuela Colorado tiene el derecho de aceptar ó rechazar lo que no cumpla con los requisitos de la norma.

8. El personal de inspección de soldadura, también debe ser calificado para la tarea de inspección que realiza, bajo cualquiera de los siguientes requisitos:
 - a. Educación y experiencia.
 - b. Entrenamiento.
 - c. Resultados de cualquier examen de calificación.Adicionalmente, se debe comprobar que es nivel II ó III de la Sociedad Americana de Ensayos No Destructivos u otro organismo certificable.

- Tener en cuenta que garantizar la ejecución de una buena soldadura genera altos costos, reproceso, desperdicio de material, por lo tanto, aplicarla correctamente desde la primera vez optimiza los resultados.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE, Manuel José y DOMINGUEZ, Rafael Andrés y PINZÓN, Wilmer. Trabajo de grado. Aplicación del Código AASTO/ AWS D1.5 2002 en la Soldadura de Puentes Vehiculares. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Físico-química. Escuela de Ingeniería Metalúrgica. 2004. 176 p.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API STANDARD 1104. Welding of Pipelines and Related Facilities. Pipeline Segment. Twentieth edition, Washington, D.C. API Publishing Services, 1220 L Street, N.W. 2005. 82 p.
- CASERTA, Diana Yasmín y JAIMES, Leonardo y MARTINEZ, Lila Aryant y MARTINEZ, Oscar Alirio y PEÑARETE, Efrén. Trabajo de grado Evaluación de la Soldabilidad del Acero de refuerzo de Concreto NTC 2289 Varillas corrugadas de Aceros Microaleados y/o termotratados para Refuerzo de Concreto (ASTM A706/A706M). Aplicación bajo el Código AWS D1.4/NTC 4040 del 2001. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Físico-química. Escuela de Ingeniería Metalúrgica 2003. 237P
- ESAB. Soldadura y Corte México [artículo de internet]. <http://www.esab.com.mx/mx/sp/educacion/Procesos/Soldadura-Manual-con-electrodos-MMA.cfm> [Consulta: 23 de Febrero de 2009]
- EXSA, O. [artículo de internet]. http://www.syhrep.com/manual_catalogo_oerlikon.pdf [Consulta: 20 de enero de 2009]

- GARCIA NAVARRO, F. Clasificación de los electrodos para los procesos de soldadura eléctrica y oxicom bustible. En M. D. SENA. D.C. 2006. Pág. 12-13, 15.
- GIACHINO, J. W., & WEEKS, W. Técnica y Práctica de la Soldadura. Barcelona. Reverté S.A. 1998.
- GOMEZ MORENO, O. J. Metalurgia de la Soldadura. Bucaramanga, Colombia. Publicaciones UIS. 1989.
- HORWITZ, H. Soldadura: Aplicaciones y Práctica. México D.F. Alfaomega Grupo Editor S.A. 1976. Pág. 733, 738.
- LINCOLN, J. F. Metals and how to weld them. Cleveland, Ohio, E.E.U.U. Arc Welding Foundation. Pág 94
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC. Manejo y Aplicación de la nueva versión de la Norma API 1104/99. NTC 571/00. Bogotá. Pág. 6, 14-15, 18-23, 32, 34, 37, 39, 55-56.
- PENDER, J. A. Soldadura. Tercera Edición en Español. Edo. de México. Ed. McGRAW-HIL. 1989
- VILLANUEVA NUÑEZ, A. Soldadura Eléctrica de Arco. Madrid, España. Dossat S.A. 1950. Pág 44-46.

10. ANEXOS

Anexo 1 Definiciones

- **Compañía:** La empresa de propietario o la agencia de la ingeniería responsable de construcción. La empresa puede actuar por un inspector u otro representante autorizado.
- **Soldadura:** Se refiere a la soldadura completa en la unión de dos secciones de tubo, de una sección de tubo con un accesorio o de dos accesorios.
- **Procedimiento de Soldadura calificado:** Es un método que ha sido ensayado y probado detalladamente con el cual se produce soldadura sanas y con apropiadas propiedades mecánicas.
- **Soldador Calificado:** Es un soldador que ha demostrado su habilidad para producir soldaduras que cumplan los requisitos de la norma mediante ensayos no destructivos y destructivos.
- **Soldadura Girada:** Es la soldadura en la cual el tubo o el montaje son girados mientras el metal de aporte es depositado en ó cerca a la parte central superior.
- **Soldadura en Posición Fija:** Es la soldadura en la cual el tubo o el montaje son mantenidos estacionarios.
- **Contratista:** Incluye al contratista principal y cualquier subcontratista comprometido en los trabajos amparados por este código.

- **Soldador:** Persona que realiza la soldadura.
- **Radiólogo:** Una persona calificada y certificada que realiza ensayos radiográficos.
- **Reparación:** Cualquier modificación en una soldadura requiere ser corregida. Ya se haya descubierto por inspección visual o ensayos no destructivos y este más allá del límite de aceptabilidad de la norma.
- **Indicación:** Evidencia obtenida por un ensayo no destructivo.
- **Imperfección:** Una discontinuidad o irregularidad que es detectable por métodos que están por fuera de los lineamientos de la norma.
- **Defecto:** Una imperfección de magnitud que no cumple las tolerancia permitidas por una Norma que asegura el rechazo basado en las estipulaciones de la Norma.
- **Concavidad Interna:** Es un cordón que esta apropiadamente fundido y penetra completamente el espesor de la pared del tubo a lo largo de ambos lados del bisel, pero cuyo centro del cordón esta algo abajo de la superficie interna de la pared del tubo. La magnitud de la concavidad es la distancia perpendicular entre la extensión axial de la superficie de la pared del tubo al punto más abajo de la superficie del cordón de soldadura.
- **Cordón De Raíz:** Es el primer cordón recto que inicialmente une dos secciones del tubo, una sección de tubo a un accesorio o dos accesorios.

Anexo 2 Electrodo

Color de Revestimiento: Rosado	Celulósico de excelentes características mecánicas	Extremo : -- Punto : Azul Grupo : Blanco
-----------------------------------	--	--

Normas:

AWS/ASME: A5.5 - 96	ISO 2560
E 7010-A1	E 43 2 C 16

Análisis Químico
del Metal
Depositado (%):

C	Mn	Si	Mo	P	S
0,12	0,60	0,40	0,55	0,01	0,01

Características:

- Electrodo celulósico, cuyo depósito es una aleación de acero al molibdeno, lo que lo convierte en el tipo apropiado para realizar soldaduras en toda posición, especialmente en aceros de alta resistencia a la tracción.

Resecado:

Normalmente no requiere recado.

Propiedades Mecánicas:

Resistencia a la Tracción	Límite Elástico	Ch V + 20°C	Elongación en 2"
520 - 550 N/mm ²	> 400 N/mm ²	> 80 J	≥ 22 %
75 000 a 80 000 lb/pulg ²	> 58 000 lb/pulg ²		

Posiciones de Soldar:

P, H, Sc, Va.

Corriente y Polaridad:

Para corriente continua - Electrodo al polo positivo					
Ø	3/32"	1/8"	5/32"	3/16"	1/4"
	2,5 mm	3,25 mm	4,0 mm	5,0 mm	6,30 mm
Amp. mín.	60	75	90	140	190
Amp. máx.	90	130	180	220	325

Aplicaciones:

- Para soldar aceros al molibdeno, tipos SAE 4040, etc.
- Para Soldar aceros aleados de baja aleación con menos de 0,30% de C.
- Soldadura de oleoductos, gaseoductos, tanques.
- Fabricación de maquinarias, calderas, etc.

Normas:

AWS/ASME: A5.5 - 96	ISO 2560
E 7010 - G	E 413 C 16

Análisis Químico
del Metal
Depositado (%):

C	Mn	Si	Mo	Cu	S
0,05 - 0,09	0,42 - 0,70	0,45 máx	0,20 mín	0,10	0,025 máx.

Características:

- Electrodo especialmente fabricado para depositar capas de relleno y acabado en soldaduras de tuberías de oleoducto.
- La fuerza del arco mantiene la escoria alejada del cráter, permitiendo al operador observar su trabajo.
- Es un electrodo adecuado para toda posición de trabajo, en especial vertical descendente.

Resecado:

Normalmente no necesita ressecado.

Aprobaciones:

ABS, LRS, GL. Según A.W.S. A5.5 - 96

Propiedades Mecánicas:

Resistencia a la Tracción	Límite Elástico	Ch V - 29°C	Elongación en 2"
500 N/mm ²	> 400 N/mm ²	> 80 J	> 24%
70 000 a 79 000 lb/pulg ²	> 58 000 lb/pulg ²		

Posiciones de Soldar:

P, H, Sc, Vd.

Corriente y Polaridad:

Para corriente continua - Electrodo al polo positivo			
Ø	1/8"	5/32"	3/16"
	3,25 mm	4,0 mm	5,0 mm
Amp. mín.	90	100	145
Amp. máx.	150	200	230

Aplicaciones:

- Para tuberías de acero al molibdeno (0,5% Mo).
- Para tuberías de pozos petroleros.
- Para tuberías de dragado.
- Para aceros API 5L X 42, X 46, X 52. En pases de relleno y acabado.

Color de Revestimiento: Gris	Electrodo básico de bajo hidrógeno de extraordinarias características	Extremo : -- Punto : -- Grupo : --
---------------------------------	--	--

Normas:

AWS/ASME: A5.1 - 91	DIN 1913	ISO 3580
E 7018	E 51 55 B 10	E 51 4 B 26 (H)

Análisis Químico
del Metal
Depositado (%):

C	Mn	Si
0,08	1,20	0,50

Características:

- Electrodo básico con bajo tenor de hidrógeno, que otorga al material depositado buenas propiedades mecánicas.
- Su contenido de hierro en polvo mejora la soldabilidad, aumentando la penetración, deposición y mejorando al mismo tiempo su comportamiento en distintas posiciones.
- Rendimiento de 98%.

Resecado:

Cuando el electrodo ha estado expuesto excesivamente a la intemperie, resacar a 250 - 350°C durante 2 horas.

Aprobaciones:

ABS, LRS, GL (Grado 3Y)
ABS (Según AWS A5.1-91)

Propiedades Mecánicas:

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción	Límite Elástico	Ch V -20°C	Elongación en 2"
Sin	510-610 N/mm ²	> 380 N/mm ²	> 140 J	24%
	74 000 a 88 000 lb/pulg ²	> 55 000 lb/pulg ²		
Alivio de Tensiones	480-580 N/mm ²	> 380 N/mm ²	> 140 J	24%
Normalizado	420-520 N/mm ²	> 290 N/mm ²	> 140 J	26%

* Para la calificación ABS según AWS la prueba de impacto es a -29°C

Posiciones de Soldar:

P, H, Sc, Vd.

Corriente y Polaridad:

Para corriente alterna o continua - Electrodo al polo positivo						
Ø	5/64"	3/32"	1/8"	5/32"	3/16"	1/4"
	2,0 mm	2,5 mm	3,25 mm	4,0 mm	5,0 mm	6,30 mm
Amp. mín.	45	70	100	140	190	260
Amp. máx.	60	90	140	200	250	340

Aplicaciones:

- Para aceros de alto contenido de carbono, alta resistencia y baja aleación.
- Para aceros de alto contenido de azufre y fácil fresado.
- Para aceros laminados al frío.
- Por sus características de resistencia a la deformación a altas temperaturas y su fácil manejo, especialmente adecuado para:
 - Soldaduras de tuberías de vapor.
 - Calderas de alta presión.
 - Aceros aleados al molibdeno.
 - Instalaciones de la Industria Petrolera y Petroquímica.
 - Moldes de artículos de caucho con alto tenor de azufre.
 - Piezas de maquinaria pesada.
 - Aceros con resistencia a la tracción hasta 85 000 lb/pulg².

Anexo 3 Certificado de calidad tubería de diámetro 6" (Composición Química)

Cont. AN=6 TAN= 3088

March 23, 2010 09:15

Group: LA STEEL Common Group:

INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETRÓLEO ICP LAB. MATERIALES

Sample [200][1000 0910-217][[M2]AN[27]

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
N=1	.20856	.24950	1.0094	.00865	.00685	.11160	.07679
N=2	.20271	.24361	1.0076	.00827	.00656	.11243	.07626
N=3	.19666	.24160	1.0135	.00921	.00711	.11092	.07608
Ave.	.20264	.24490	1.0102	.00871R	.00684	.11165	.07638
STD	.00595	.00410	.00305	.00047	.00028	.00076	.00037

	Mo	Cu	Co	Al	Pb	W	Ti
N=1	.02548	.10381	.00754	.03987	.00000	.01841	.00332
N=2	.02016	.10290	.00121	.03409	.00000	.00961	.00328
N=3	.01727	.10678	.00703	.04762	.00000	.00292	.00370
Ave.	.02097R	.10450	.00526R	.04053R	.00000	.01031R	.00343R
STD	.00416	.00203	.00351	.00678	.00000	.00777	.00024

	V	Sn	Nb	B	Ca	As	Sb
N=1	.00716	.00911	.01374	.00000	.00229	.00727	.00000
N=2	.00613	.00838	.01051	.00000	.00192	.00532	.00000
N=3	.00736	.00929	.01415	.00000	.00273	.00678	.00000
Ave.	.00688R	.00893R	.01280R	.00000	.00232R	.00646R	.00000
STD	.00066	.00048	.00200	.00000	.00041	.00101	.00000

	N	Zr	Felnt	FE%
N=1	.00969	.00157	4.1048	98.079
N=2	.00579	.00000	4.2948	98.133
N=3	.00852	.00000	4.1235	98.111
Ave.	.00800R	.00052R	4.1744	98.108
STD	.00200	.00091	.10471	.02706

Anexo 5 Registro de prueba de tracción de tubería de 6"



Regional Distrito Capital
CENTRO DE MATERIALES Y ENSAYOS
LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA

CENTRO DE MATERIALES Y ENSAYOS-LAB. DE ENSAYOS

TIPO DE ENSAYO: TRACCIÓN.
FECHA: 2010-05-14.
EMPRESA: INDETRO INGENIERIA LTDA.
NORMA: API 1304
TIPO: PROBETA SOLDADA.
MATERIAL: GRUPO NUMERO UNO 7.11 mm.
IDENTIFICACIÓN: T1, T2.
ORDEN N°: T10-104.
REALIZADO POR: Andrés GIL.

	CARGA MAXIMA (lbf)	ESFUERZO MAXIMO (psi)	CARGA DE ROTURA (lbf)	ESFUERZO DE ROTURA (psi)
T1	15187.8	65323.7	12366.2	53188.1
T2	16995.3	73098.1	16896.1	72671.4

LAS PROBETAS PRESENTAN ROTURA FUERA DE LA SOLDADURA.

EQUIPO UTILIZADO: SHIMADZU UH-50 A. Certif. Calibrac. ICCLAB N° CFA-09-0836 de 2009-12-21.

FIRMA Y SELLO



Los resultados obtenidos se refieren a la muestra ensayada. Este informe no debe ser reproducido sin la autorización escrita del Laboratorio.

SENA: CONOCIMIENTO PARA TODOS LOS COLOMBIANOS
Ministerio de la Protección Social
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE
Avenida 30 No 175-25 sur P.O. Box 596 00 50 Fax 596 00 51 Bogotá, D.C. - Colombia

Anexo 6 Registro de prueba de radiografía de tubería de 6"

 DEPARTAMENTO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	INFORME DE INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA		REPORTE No. <u>RX-01-10</u> FECHA: <u>29/04/2010</u> HOJA No. <u>1</u> DE <u>1</u> PROCEDIMIENTO: <u>ITT-RX-005-10</u>				
	CLIENTE: <u>MONTAJES TÉCNICOS</u> LUGAR: <u>APIAY</u>						
PROYECTO: <u>CALIFICACION DE SOLDADORES</u>							
FRENTES O CORDON: <u>WPS</u>		MATERIAL: <u>ACERO AL CARBONO</u> DIÁMETRO (cm): <u>6"</u>					
FUENTE (ISOTOPO): <u>IRIDIO 192</u>		T. FOCAL: <u>2"3 mm</u> ESPESOR (mm): <u>SCH 40</u>					
TÉCNICA DE EXPOSICIÓN: <u>DOBLE PARED</u>		INTERPRETACIÓN: <u>UNA CARA</u> ACTIVIDAD (Ci): <u>15</u>					
INDICADOR: <u>HILOS SET B</u>		TIPO: <u>ASTM</u> DIST. FOCO PELÍCULA (pul): <u>8"</u>					
PELÍCULA TIPO: <u>II</u>		MARCA: <u>STRUCTUREX D7</u> TIEMPO EXPOSICIÓN (Seg): <u>35</u>					
TAMAÑO (cm): <u>70 mm</u>		No. DE PLACAS: <u>3</u> No. DE UNIONES: <u>1</u>					
CÓD. DE INTERPRETACIÓN: <u>API 1104</u>		No. DE EXPOSICIONES: <u>3</u> POSICION <u>6G</u>					
LISTA DE DEFECTOS DE SOLDADURA							
SP Penetración inadecuada en la raíz SF Fusión Incompleta en la Raíz HI Hi-Low Desalineamiento IC Concavidad Interna IPD Incompleta Fusión entre Pasos		BT Quemones o Cráteres ES: Inclusiones de Escoria Elongadas P: Porosidad Esférica CP: Porosidad Agrupada HB: Porosidad Alargada Vermicular C: Grietas IJ: Socavado Interno AD: Acumulación de Discontinuidades O: Otros Defectos T: Tomar por defecto Película					
	Ø	Junta	ESTAMPE	PLACA	INTERPRETACION	RESULTADO	OBSERVACIONES
	6"	PS	LM	AB		OK	LUCIANO MOSQUERA VIVEROS CC. 17.411.834
				BC		OK	
				CA		OK	
NIVEL II: MAURICIO ROMERO		APROBADO POR EL CLIENTE:		APROBADO POR INTERVENTORIA:			
 FECHA: ABRIL 29 DE 2010		 FECHA: <u>04-11-2010</u>		 FECHA:			