

**DISEÑO DE UN WPS Y UN PQR DE SOLDADURA, BAJO LA NORMA AWS  
D1.1 APLICADO A LOS PROCEDIMIENTOS DE LA COMPAÑÍA PRECISIÓN  
LTDA.**

**MARÍA ALEJANDRA SANABRIA BARRERA  
MARLON ANDERSON BECERRA PÉREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
BUCARAMANGA**

**2014**

**DISEÑO DE UN WPS Y UN PQR DE SOLDADURA, BAJO LA NORMA AWS  
D1.1 APLICADO A LOS PROCEDIMIENTOS DE LA COMPAÑÍA PRECISIÓN  
LTDA.**

**MARÍA ALEJANDRA SANABRIA BARRERA  
MARLON ANDERSON BECERRA PÉREZ**

**TRABAJO DE GRADO, PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE INGENIERO METALÚRGICO**

**DIRECTOR  
PHD. ORLANDO JOSÉ GOMEZ MORENO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
BUCARAMANGA**

**2014**

## AGRADECIMIENTOS

*Los autores de este proyecto desean expresar lo más sinceros agradecimientos a las personas que con su apoyo e incondicionalidad nos aportaron de una u otra forma.*

*A Dios por darnos la vida, permitiendo la realización de este proyecto, porque nunca nos faltaste y fuiste nuestro guía en el camino.*

*A ti familia sin duda alguna el mayor precursor de éste logro, gracias a su entrega, dedicación, amor, sacrificio y formación en cada uno de nosotros.*

*Al Dr Orlando José Gómez Moreno, director de nuestro proyecto de grado , por compartirnos sus conocimientos, experiencia y consejos.*

*A nuestros calificadores de proyecto Mauricio Rincón Ortiz y Afranio Cardona Granados por su tiempo, dedicación y conocimiento transmitidos.*

*A la Universidad Industrial de Santander , por hacernos parte activa de la academia, por su formación integral en cada uno de nosotros.*

*A la escuela de Ingeniería Metalúrgica por brindarnos la oportunidad de hacer parte de ésta, por su apoyo incondicional y enseñanzas del cada día.*

*A todos los integrantes de la escuela, profesores, técnicos, compañeros de clase por su apoyo, colaboración y amistad.*

## DEDICATORIA

*A mis papitos, Tito Sanabria y Ana Barrera  
por su confianza, amor, paciencia, entrega y sacrificio  
A mis hermanas, Daniela Sanabria, Tita Sanabria y  
Valentina Sanabria por su compañía,  
complicidad , peleas, tristezas y amor en cada momento vivido.*

*A mis amigos Jose Villamizar, Tatiana Tibaduiza, Marleny  
Benavides, Diana Romero y Heilyn Torres  
por su amistad y confianza, por sus consejos , secretos y  
experiencias vividos conmigo.*

*A mi novio Marlon Becerra,  
por su apoyo constante, comprensión y paciencia en cada momento  
compartido.*

MARIA ALEJANDRA SANABRIA

## DEDICATORIA

*Dedicado a Dios, que nos ha brindado a mi familia y a mi los medios, la fortaleza y la sabiduría para llegar a este logro.*

*A mis amados padres Henry Jose Becerra Pirazan y Mary Luz Pérez Avellaneda, por su amor, su apoyo incondicional, sus invaluable aportes en cada uno de los aspectos de mi vida.*

*A mi hermano Geson Becerra Perez por estar siempre a mi lado respaldándome y contibuyendo para lograr este objetivo.*

*A mi amigo y hermanno Holman Sua Gomez compañero incanzable de batalla,  
A la memoria de mi tio Orlando Becerra Pirazan, gran amigo y consejero a quien siempre tendre presente.*

*A mis tias Marina Pérez Avellaneda y Edilma Pérez Avellaneda, por su amor y grandes aportes a mi formación personal.*

*A mi novia Maria Alejandra Sanabria quien con su llegada le dio un gran giro a mi vida.*

*A mis demás familiares y amigos quienes de una u otra forma han contribuido con mi proceso de formacion*

*MARLON BECERRA PÉREZ*

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	19
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA. ....	20
2. ANTECEDENTES .....	21
3. OBJETIVOS.....	22
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	22
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
4. MARCO TEÓRICO .....	23
4.1 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS EMPLEADOS .....	23
4.2 SOLDADURA.....	23
4.2.1 Proceso de soldadura por arco con electrodo revestido SMAW.....	23
4.3 METAL BASE .....	24
4.3.1 Acero API 5L.....	25
4.4 METAL DE APORTE .....	25
4.4.1 Electrodo para soldar acero API 5L X42 por proceso SMAW.....	25
4.5 METALURGIA DE LA SOLDADURA .....	26
4.5.1 Soldabilidad. ....	26
4.6 CÓDIGOS, NORMAS Y ESPECIFICACIONES .....	27
4.6.1 Código.....	27
4.6.1.1 Código AWS D1.1:2010 Soldadura de acero estructural. ....	27
4.6.2 Norma o estándar. ....	28
4.7 DOCUMENTOS QUE VALIDAN EL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA ....	28
4.7.1 Especificación del procedimiento de soldadura WPS.....	28
4.7.1.1. Contenido de un WPS.....	29
4.7.2 Registro de calificación del procedimiento PQR .....	30
4.7.2.1 Contenido de un PQR.....	30
4.8 VARIABLES DE SOLDADURA.....	31
4.8.1 Variables esenciales .....	32

4.8.2 Variables no esenciales.....	32
4.8.3 Variables suplementarias.....	32
4.9 ESPECIFICACIONES.....	33
4.9.1 Especificaciones generales.....	33
4.10 REQUERIMIENTOS .....	34
4.10.1 Ensayos destructivos .....	34
4.10.1.1 Ensayo de resistencia a la tracción.....	34
4.10.1.2 Ensayo de doblez de raíz y de cara.....	35
4.11 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS .....	37
4.11.1 Ensayo de gammagrafía industrial.....	37
4.12 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN .....	38
4.13 DISEÑO DE CONEXIONES SOLDADAS.....	38
4.13.1 Configuración y detalles de las juntas para soldadura.....	38
4.13.1.1 Alineamiento de las juntas.....	39
4.13.1.2 Abertura de raíz.....	39
4.13.1.3 Limpieza de soldadura.....	39
4.13.2 Preparación de las juntas para soldadura.....	39
4.14 INSPECCIÓN.....	39
4.14.1 Inspección de materiales y equipos .....	39
4.14.2 Inspección de la soldadura.....	39
4.14.3 Requisitos para el personal de inspección.....	40
5. MATERIALES Y EQUIPOS.....	41
5.1 MATERIALES .....	41
5.1.1 Selección del acero API 5L X42.....	41
5.1.2 Selección del metal de aporte.....	42
5.1.3 Probetas para calificación .....	45
5.1.4 Corte de probetas para ensayos mecánicos.....	45
5.2 EQUIPOS UTILIZADOS .....	46
5.2.1 Preparación de cupones para procedimiento de soldadura.....	46
5.2.2 Equipo de soldadura .....	46

5.2.3 Equipo de Ensayos Mecánicos .....	47
5.2.4 Equipo de gammagrafía industrial .....	48
6. DISEÑO METODOLÓGICO.....	49
6.1 REVISIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO.....	50
6.2. DISEÑO DEL WPS Y EL FORMATO PQR.....	50
6.3. CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO.....	50
6.3.1 Elaboración de probetas y aplicación de soldadura.....	50
6.3.1.1 Selección del proceso de soldadura. ....	50
6.3.1.2 Selección del Metal base. ....	51
6.3.1.3 Selección del metal de aporte:.....	51
6.3.1.4 Diseño de la junta. ....	51
6.3.1.5 Posición de soldadura.....	51
6.3.1.6 Soldadura de las probetas. ....	52
6.3.2.1 Preparación de probetas.....	52
6.3.2.2 Probetas para ensayo de resistencia a la tracción.....	52
6.3.2.3 Probetas para ensayo de doblez de cara.....	53
6.3.2.4 Probetas para ensayo de doblez de raíz.....	53
6.3.2.5 Probeta Prueba radiográfica. ....	53
6.3.3 Evaluación y análisis de resultados de los ensayos practicados. ....	53
6.3.3.1 Ensayo de resistencia a la tracción.....	53
6.3.3.2 Ensayos de doblez guiado. ....	53
6.3.3.3 Ensayo de gammagrafía industrial.....	53
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	54
7.1 RESULTADOS.....	54
7.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	55
7.2.1 Ensayo de doblez de cara y raíz.....	55
7.2.2 Ensayo de Tracción. ....	55
7.2.3 Ensayo de gammagrafía industrial.....	56
7.3 ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS .....	58
7.4 REGISTRO DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO PQR .....	61

8. CONCLUSIONES .....	64
9. RECOMENDACIONES .....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
BIBLIOGRAFÍA .....	70
ANEXOS .....	73

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las probetas para ensayos de tracción y dobléz. ....	34
Figura 2. Espécimen para el ensayo de tracción.....	35
Figura 3. Espécimen para el ensayo de dobléz de raíz y cara. ....	35
Figura 4. Plantilla para el ensayo de doblado de raíz y cara [16]. ....	36
Figura 5. Foto de cupones para calificación .....	45
Figura 6. Foto de probetas para ensayos mecánicos.....	45
Figura 7. Foto de esmeril para limpieza entre pases de soldadura .....	46
Figura 8. Equipo de soldadura SMAW.....	46
Figura 9. Máquina Universal de ensayos.....	47
Figura 10. Matriz ASME Doblez guiado .....	47
Figura 11. Equipo de gammagrafía Industrial.....	48
Figura 12. Diagrama de flujo de la metodología utilizada en la investigación. ....	49
Figura 13. Foto de soldadura con proceso SMAW en posición 6G ascendente..	52
Figura 14. Imágenes de las placas radiográficas .....	56

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición química para acero 5LX42 .....	41
Tabla 2. Propiedades mecánicas de acero 5LX42.....	41
Tabla 3. Composición química de electrodo E6010 (%) .....	43
Tabla 4. Propiedades mecánicas de electrodo E6010.....	43
Tabla 5. Amperajes recomendados para electrodo E6010 .....	43
Tabla 6. Composición química de electrodo E 7018 (%) .....	44
Tabla 7. Propiedades mecánicas del electrodo E 7018.....	44
Tabla 8. Amperajes recomendados para el electrodo E7018 .....	44
Tabla 9. Resultados de los ensayos de tracción .....	55

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. EJEMPLO DE WPS DADO POR EL CÓDIGO AWS D1.1 .....	73
ANEXO B. EJEMPLO DE PQR DADO POR EL CÓDIGO AWS D1.1 .....	74
ANEXO C. SELECCIÓN DEL METAL DE APORTE NORMA AWS D1.1.....	75
ANEXO D. RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN .....	76
ANEXO E. RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN .....	77
ANEXO D. RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN .....	78
ANEXO E. RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN .....	79
ANEXO F. RESULTADOS DE ENSAYO DE DOBLEZ.....	80
ANEXO G. RESULTADOS DE ENSAYO DE DOBLEZ .....	81
ANEXO H. RESULTADO DE RADIOGRAFIA .....	82
ANEXO I. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE MÀQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS MECÀNICOS.....	83
ANEXO J CERTIFICADO DE MAQUINA DE ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO.....	84
ANEXO K. CERTIFICADO DE MAQUINA DE ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO...85	85
ANEXO L. FICHA TÉCNICA EQUIPO DE SOLDADURA SMAW.....	86

## RESUMEN

**TITULO: DISEÑO DE UN WPS Y UN PQR DE SOLDADURA, BAJO LA NORMA AWS D1.1 APLICADO A LOS PROCEDIMIENTOS DE MECANIZADOS INDUSTRIALES PRECISIÓN LTDA.\***

**AUTORES: BECERRA PEREZ, Marlon y SANABRIA BARRERA, María\*\***

**PALABRAS CLAVES:** Soldadura, Procedimiento, Registro, Calificación, Especificación, PQR, WPS.

La compañía PRECISION LTDA dedicada a la industria metalmeccánica no cuenta con procedimientos de soldadura estandarizados bajo un código técnico, para la compañía es importante desarrollar una metodología en sus procesos de fabricación que garantice la obtención de productos confiables con un alto grado de calidad. Para cumplir con el propósito anterior se hace indispensable estandarizar sus procedimientos siguiendo los lineamientos descritos en el código de soldadura estructural AWS D1.1

El proyecto describe cuatro partes, que son, la elaboración del procedimiento de soldadura WPS, la obtención de una junta soldada siguiendo los parámetros del WPS, la realización de los ensayos de tensión, radiografía industrial, dobléz de cara-raíz y finalmente la elaboración del registro de calificación de procedimiento PQR. Todo esto teniendo en cuenta los criterios de aceptación AWS D1.1 (Structural Welding Code- Steel), Edición 22<sup>da</sup>, publicado en 2010.

Se utilizó el proceso de soldadura SMAW soldando una probeta tubular de acero API 5L X42 para la calificación del WPS, la junta soldada no registra discontinuidades y a la vez presenta una resistencia ideal, lo cual permite dar una valoración aceptable al cordón de soldadura. Así mismo la destreza y la experiencia del soldador conducen al éxito del procedimiento de soldadura empleado, la implementación del mismo en la fabricación de componentes soldados por parte de la compañía, se traduce en la obtención de productos de calidad, brindando confiabilidad a sus clientes.

---

\*Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica. Director Orlando José Gómez Moreno

## ABSTRACT

**TITLE: DESIGN OF WELDING'S WPS AND PQR ACCORDING TO AWS D1.1 STANDARD PROCEDURES APPLIED TO INDUSTRIAL MACHINING PRECISION LTD**

**AUTHORS:** BECERRA PEREZ, Marlon y SANABRIA BARRERA, María\*\*

**KEYWORDS:** Welding Procedure, Record, qualification, specification, PQR, WPS.

The company **PRECISION LTDA**, dedicated to the metal mechanic industry, hasn't standardized welding procedures under a technical code, and is important for the company to develop a methodology in its manufacturing processes to ensure the production of reliable products with a high quality level. To accomplish this purpose, the company must standardize its procedures according to the guidelines described in the code of AWS D1.1 (Structural Welding Code-Steel, 22th edition -2010).

The project describes four parts: The developing WPS welding procedure, the obtaining of a welded joint following the WPS parameters, conducting tension tests, industrial radiography, root and face bend tests, and finally the development of a procedure qualification record (PQR). All this, considering the AWS acceptance criteria D1.1 (Structural Welding Code- Steel, 22th edition – 2010)

SMAW welding process was used in a steel tubular API 5L X42 test tube for qualification of the WPS. The welded joint does not register discontinuities, and it shows an ideal resistance, allowing assessment to give an acceptable weld. Also the skill and experience of the welder, lead to success of a welding process which provides reliability and quality at the time of purchasing products from the company. Design of welding's wps and pqr according to aws d1.1 standard procedures applied to industrial machining precision ltd.

---

\*Work degree

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

## INTRODUCCIÓN

La compañía PRECISION LTDA, ofrece una amplia gama de servicios, productos en el sector metalmecánico y de soldadura, en los que se encuentra mantenimiento industrial, estructuras y montajes. Para esta empresa surge la necesidad de estandarizar principalmente los procedimientos de soldadura de algunos productos como lo son los aceros estructurales API 5LX42, con el propósito de preservar el uso y mantener la calidad de sus estructuras el mayor tiempo posible logrando de esta manera mayor competitividad en el mercado.

La estandarización de procedimientos se rige bajo códigos o normas ya establecidas, es por eso que en este proyecto se plantea el diseño de un WPS (Especificación del procedimiento de soldadura) y un PQR (Registro de calificación del procedimiento) bajo la norma AWS D1.1 .

El diseño de los formatos WPS y PQR presenta los parámetros dados por el código AWS D1.1 que se deben tener en cuenta para la calificación de los procedimientos, como lo son material base, material de aporte, posición de soldadura, diseño de la junta y el tipo de proceso de soldadura . El trabajo contiene un marco teórico, aspectos técnicos relacionados con las soldaduras, selección del electrodo, materiales, equipos y se plantean los documentos WPS y PQR con sus respectivos ensayos tanto destructivos como no destructivos realizados en las pruebas.

# **DISEÑO DE UN WPS Y UN PQR DE SOLDADURA, BAJO LA NORMA AWS D1.1 APLICADO A LOS PROCEDIMIENTOS DE LA COMPAÑÍA PRECISIÓN LTDA.**

## **1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.**

El buen momento que atraviesa la economía nacional genera en los inversionistas extranjeros altas expectativas, lo cual se ve reflejado en la creciente llegada al país de grandes multinacionales, en especial del sector minero-energético. Estas compañías generalmente contratan empresas nacionales para realizar el montaje y mantenimiento de sus plantas de producción, exigiendo altos estándares de calidad en cada uno de los servicios que requieren.

En el desarrollo de grandes montajes estructurales la soldadura por fusión juega un importante papel, a pesar de esto la mayoría de la industria nacional dedicada a este campo, no cuenta con procedimientos estandarizados, ni sistemas de control sobre los mismos que permitan tener un mayor grado de confiabilidad en el producto terminado. Éste es el principal motivo por el cual las empresas nacionales pierden competitividad frente a empresas extranjeras que prestan los mismos servicios.

Por lo tanto en Precisión LTDA, empresa local del sector metalmecánico, crece la necesidad de estandarizar sus procesos de soldadura bajo una norma internacional con el fin de adquirir mayor competitividad en el mercado nacional, para este propósito es preciso diseñar un WPS (Welding Procedure Specification) seguido de un PQR (Procedure Qualification Record) basados en la norma AWS D1.1/D1.1M:2010 STRUCTURAL WELDING CODE-STEEL 2010 (Código de Soldadura estructural de Acero). Lo cual permite tener control sobre los procedimientos de soldadura y sus variables, que garantice la calidad y confiabilidad en los productos fabricados por Precisión LTDA.

## 2. ANTECEDENTES

La unión de metales tuvo sus orígenes hace bastantes siglos, las técnicas empleadas para este fin han ido evolucionando a través de la historia gracias a los aportes de varias civilizaciones que a partir de estas técnicas han construido grandes imperios. Sin embargo fue en el siglo XIX cuando la soldadura adopta una transformación radical con la implementación del arco eléctrico en estos procesos. En el transcurso del último siglo se han desarrollado nuevos procesos de soldadura más sofisticados que han contribuido a la creación de modernas aeronaves, embarcaciones, edificaciones, plantas de procesos, plataformas marinas, etc. Como lo mencionamos anteriormente, la soldadura juega un importante papel en la revolución tecnológica que vivimos actualmente, destacándose los procesos de soldadura por arco eléctrico, con haz de electrones y con plasma, siendo el arco eléctrico el más usado.

La soldadura con arco eléctrico mediante el proceso SMAW de aceros estructurales, es el método de soldadura más empleado en los proyectos desarrollados por Precisión LTDA, para estos trabajos la empresa cuenta con mano de obra calificada como no calificada. Sin embargo no tienen un manual de procedimientos que defina un lineamiento técnico a seguir en cada uno de sus proyectos, lo cual hace sus trabajos susceptibles a posibles fallas de procedimiento.

Cada vez que la empresa desarrolla un proyecto donde el contrato exige el uso de un WPS y un PQR bajo norma técnica, la compañía emplea formatos preestablecidos los cuales generan dificultades con los rangos de las variables al intentar adaptarlas al procedimiento llevado a cabo por la empresa. Para solucionar los anteriores inconvenientes se busca implementar el WPS Y PQR para procesos de soldadura SMAW, bajo la norma AWS D1.1 código de soldadura de acero estructural, que se adapte totalmente a los procedimientos de soldadura llevados a cabo por la empresa.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y calificar un WPS (especificaciones del procedimiento de soldadura) y un PQR (registro de calificación de procedimiento) para la compañía Precisión LTDA, basado en la norma AWS D1.1/D1.1M:2010 (Código de soldadura estructural de acero).

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elaborar las especificaciones del procedimiento de soldadura WPS, estableciendo los valores precisos o los rangos aceptables para cada una de las variables a ser utilizadas en los procedimientos de soldadura de aceros estructurales por medio del proceso SMAW, siguiendo los parámetros estipulados por la norma AWS D1.1
- Diseñar las juntas de prueba para ser soldadas según los parámetros del WPS.
- Realizar los correspondientes ensayos de tensión, doblez de cara, doblez de raíz y radiografía Industrial a las juntas de prueba soldadas, aplicando los parámetros de aceptación y rechazo establecidos por la norma AWS D1.1.
- Elaborar el Registro de calificación de procedimiento PQR, con el propósito de validar y respaldar el WPS.

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS EMPLEADOS**

Los terminología empleada en el desarrollo de este proyecto ha sido tomada en su totalidad del código AWS A3.0 standard welding terms and definitions.

### **4.2 SOLDADURA**

La soldadura se refiere a los procesos de unión de metales que se realizan por fusión localizada de las partes a unir, donde ésta es producida por calentamiento a una temperatura superior al punto de fusión de los metales involucrados. El metal de aporte tiene un punto de fusión aproximadamente igual o por debajo del metal base. Es necesario el uso de una fuente de energía que genere el calor suficiente y en algunas ocasiones se requiere el uso de presión o de un metal de aporte para que la soldadura tenga lugar [2].

Diferentes fuentes de energía pueden ser usadas para la soldadura, incluyendo una llama de gas, un arco eléctrico, un láser, un rayo de electrones, procesos de fricción o ultrasonido. Pero desde el punto de vista industrial es el arco eléctrico una de las fuentes de energía más empleadas hoy en día para formar la unión entre dos piezas de metal. Durante el procedimiento hay que proteger al metal fundido contra gases nocivos de la atmósfera, como lo son el oxígeno y el nitrógeno, entre otros [3].

#### **4.2.1 Proceso de soldadura por arco con electrodo revestido SMAW.**

La soldadura por arco de metal protegido (shielded metal arc welding “SMAW”), es un proceso de soldadura por arco en el que se produce coalescencia de metales por medio del calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta

de un electrodo cubierto y la superficie del metal base en la unión que se está soldando [4].

El núcleo del electrodo cubierto consiste de una varilla de metal sólida de material colado. La varilla conduce la corriente eléctrica al arco y suministra metal de aporte a la unión. Tanto el electrodo cubierto como el metal base hacen parte del circuito eléctrico.

Con el calor producido por el arco, se funde el extremo del electrodo y se quema el revestimiento, produciéndose la atmosfera adecuada para que se produzca la transferencia de las gotas del metal fundido desde la parte central del electrodo hasta el baño de fusión en el material base.

La protección del cordón de soldadura es proporcionada por el fundente localizado en el recubrimiento del electrodo. Controlando las propiedades mecánicas, la composición química y la estructura del metal de soldadura, así como de las características de arco del electrodo.

Entre las ventajas más relevantes del proceso SMAW encontramos, un equipo relativamente sencillo, no se requiere de protección adicional con gas o fundente granular, es menos sensible al viento en comparación de los procesos protegidos con gas y se puede utilizar en áreas de acceso limitado.

### **4.3 METAL BASE**

Se refiere al metal a ser soldado, de acuerdo a sus propiedades químicas y mecánicas se escoge el metal de aporte y el proceso de soldadura, dado que en función de estos se modifican algunas propiedades físicas y químicas del material [1].

**4.3.1 Acero API 5L.** Los aceros API 5L son comunes para el diseño de oleoductos, dependiendo de los requerimientos de servicio, se les asigna una codificación representada por la letra equis (X) y dos números que la acompañan (ejemplo X42, donde el número representa el punto mínimo de resistencia a la cedencia, en este caso 42.000 Psi [6].

Las propiedades mecánicas y químicas dependiendo de la aplicación, deben ajustarse a los requerimientos de cada tipo y grado de acero, como lo especifica la norma API para líneas de tubería 5L [7]. Algunos valores de resistencia a la tensión para los aceros API 5L son presentados en la tabla 2, mientras que requerimientos en la composición son presentados en la tabla 1. Por otra parte el código AWS D1.1 en su tabla 3.1 nos muestra las combinaciones del metal de aporte para la resistencia calificada de un metal base precalificado, indicándonos los tipos de electrodos que deben usarse para soldar un acero API 5L X 42.

#### **4.4 METAL DE APORTE**

El metal de aporte debe presentar una composición química similar al acero API 5L X42 para asegurar una fusión homogénea, buenas propiedades mecánicas y así obtener un cordón de soldadura de calidad.

**4.4.1 Electrodo para soldar acero API 5L X42 por proceso SMAW.** Los metales de aporte para la soldadura de aceros API permitidos son especificados en las normas AWS A5.1 y AWS A5.5. Encontramos dos tipos de electrodos cubiertos, uno celulósico los cuales son empleados para alta penetración, excelente fusión, fácil remoción de escoria, arco suave, fácil de operar en todas las posiciones, buena resistencia y ductilidad (electrodos de la familia E-60XX) . El otro tipo de electrodo cubierto es de revestimiento básico compuesto por carburo cálcico y fluoruro cálcico, no contiene celulosa, ni arcilla, proporciona un gas protector de CO<sub>2</sub> y de fluoruro de silicio. Su temperatura de

fusión es alta, por lo que se hace necesario un fundente en su composición, ejemplo de esto es la presencia en su contenido de espato flúor (electrodos de la familia E-70XX) [6].

#### **4.5 METALURGIA DE LA SOLDADURA**

La metalurgia de la soldadura se refiere a las propiedades físicas y térmicas involucradas en el proceso de soldadura con el objeto de validar la aplicación de las mismas al material utilizado en la fabricación de los elementos estructurales. Las propiedades mecánicas evaluadas son la resistencia mecánica, ductilidad, elasticidad, fragilidad, tenacidad y dureza. Mientras que las propiedades térmicas de importancia en la soldadura son la conductividad térmica, el coeficiente de dilatación térmica, la fusibilidad y el calor de fusión [19].

**4.5.1 Soldabilidad.** La sociedad Americana de soldadura define la soldabilidad como “ La capacidad de un material para ser soldado bajo condiciones de fabricación impuestas dentro de una estructura específica y convenientemente diseñada para tener un rendimiento satisfactorio en el servicio que se pretende”. Sin embargo una definición más práctica podría ser “la facilidad con la cual se puede soldar satisfactoriamente dos materiales consiguiendo una unión con propiedades similares a las del metal base”. En cualquiera de estas dos definiciones es importante saber todo lo relacionado con el metal a soldar, el diseño de la soldadura, los requerimientos del servicio (tales como las cargas y el ambiente en el cual estará en operación la pieza soldada). [4].

La soldabilidad es analizada desde tres puntos de vista importantes en la obtención de un producto soldado; soldabilidad operativa, soldabilidad estructural y soldabilidad metalúrgica, siendo éste último el de mayor relevancia.

## 4.6 CÓDIGOS, NORMAS Y ESPECIFICACIONES

Son documentos que rigen y regulan actividades industriales. Permiten seguir lineamientos para el cumplimiento de las actividades relacionadas con la industria de la soldadura, teniendo como propósito asegurar que sólo se producirán bienes soldados seguros y confiables, y que esta actividad se realizará bajo condiciones de seguridad. [8].

**4.6.1 Código.** Son los requisitos y/o condiciones que deben cumplirse para que un procedimiento sea llevado a cabo de forma adecuada. Los códigos especifican características que debe llevar el diseño, el tipo de material, la forma de fabricación, el método de construcción, los montajes, las instalaciones, las inspecciones pertinentes, las pruebas necesarias, las reparaciones, operaciones y todas aquellas condiciones de las instalaciones como equipos, estructuras y componentes específicos [8].

4.6.1.1 Código AWS D1.1:2010 Soldadura de acero estructural. El código AWS D1.1 especifica los requisitos para fabricar y armar estructuras soldadas de acero. A continuación se hace una breve descripción de cada sección del código D1.1, con un resumen de cada uno [13].

- Sección 1 (Requisitos generales): contiene la información básica sobre el alcance y limitaciones del código.
- Sección 2 (Diseño de conexiones soldadas): contiene los requisitos para el diseño de conexiones soldadas compuestas por perfiles tubulares y no tubulares.
- Sección 3 (Precalificación): cubre los requisitos para poder excluir a las especificaciones de procedimiento de soldadura de las exigencias de calificación propias del código.

- Sección 4 (Calificación): contiene los requisitos de calificación para las especificaciones de los procedimientos y personal (soldadores, operadores de equipo para soldar y “punteadores”) de soldadura necesarios para realizar trabajos de código.
- Sección 5 (Fabricación): cubre los requisitos para la preparación, ensamble y mano de obra de las estructuras de acero soldadas.
- Sección 6 (Inspección): contiene los criterios para la calificación y las responsabilidades de inspectores, los criterios de aceptación para las soldaduras de producción y los procedimientos estándar para realizar la inspección visual y las pruebas no destructivas.
- Sección 7 (Soldadura de pernos): esta sección contiene los requisitos aplicables a la soldadura de pernos a acero estructural.
- Sección 8 (Reforzamiento y reparación de estructuras existentes): Contiene la información básica relacionada con la modificación o reparación de estructuras de acero ya existentes.

**4.6.2 Norma o estándar.** El término norma tal y como es empleado por la AWS, la ASTM, el ASME y el ANSI, se aplica de manera distinta para referirse a los códigos, que han sido aprobados por un comité patrocinador (vigilante) de cierta sociedad técnica y adoptados por esta. [8].

## **4.7 DOCUMENTOS QUE VALIDAN EL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

**4.7.1 Especificación del procedimiento de soldadura WPS.** Los procedimientos de soldadura deben ser validados por una serie de pruebas de conocimiento del ingeniero de soldadura y de la habilidad del soldador. Toda esta información está contenida en un documento conocido como Especificación del procedimiento de soldadura (Welding Procedure Specification “WPS”), como también en el registro de calificación del procedimiento (Procedure Qualification Record “PQR”) [9].

4.7.1.1. Contenido de un WPS. Un WPS es un documento que describe cómo la soldadura debe ser llevada a cabo en la producción. Su propósito es ayudar a la planificación y control de calidad de la operación de soldadura. Se recomiendan para todas las operaciones de soldadura y en la mayoría de los códigos y normas su aplicación es obligatoria [9]. Los estándares ASME IX, ISO 15609-1, AWS D1.1 definen el contenido de un WPS, a través de una lista detallada de cada parámetro. A manera de ejemplo se presenta en el anexo 1 un formato guía de un WPS según el código AWS D1.1 [13].

El contenido típico de WPS presenta la siguiente información [10,14]:

- Alcances
- Características del metal base
- Proceso de soldadura
- Metal de aporte
- Tipo de corriente y rango
- Voltaje
- Numero de pases
- Velocidad de avance
- Calentamiento de entrada
- Preparación de la unión
- Protección de la soldadura
- Posición del soldador
- Precalentamiento y temperatura entre pasadas
- Post calentamiento y finalización
- La persona que la elaboró la soldadura
- La persona que la aprobó la soldadura
- Fecha de elaboración

Un procedimiento de soldadura debe ser calificado de acuerdo con los requisitos de una norma de soldadura apropiada. [9]:

La soldadura y el examen visual de la soldadura terminada deben ser evaluados por un inspector de soldadura certificado según norma CWI, AWS o un organismo de inspección. Los detalles de la prueba, como el tipo soldadura, precalentamiento de soldadura, posición de la soldadura, etc., deben ser registrados durante la prueba.

Una vez que la soldadura se ha completado la probeta deberá ser objeto de un examen destructivo y no destructivo, tales como pruebas de radiografía y mecánicas como se define en el código. Este trabajo debe ser realizado en un laboratorio calificado, pero en algunas ocasiones el organismo de control pide la supervisión de un inspector si este lo desea.

Si la prueba tiene éxito cumpliendo con los requerimientos del código guía, el procedimiento de soldadura será aprobado por el inspector de la prueba.

**4.7.2 Registro de calificación del procedimiento PQR.** Se requiere un PQR cuando es necesario demostrar que su compañía tiene la capacidad de producir soldaduras que poseen las propiedades mecánicas y metalúrgicas adecuadas, dando un alto grado de confiabilidad a los productos fabricados.

4.7.2.1 Contenido de un PQR. El PQR lleva definidos los valores reales de las variables (dentro de los rangos sugeridos por el WPS para cada variable) usadas para producir la junta soldada de prueba. Según el criterio de cada código se realizaran una serie de ensayos cuyo resultado también será consignado en el PQR. A manera de ejemplo se presenta en el anexo 2 un formato guía de un PQR según el código AWS D1.1. [14].

El contenido típico de PQR presenta la siguiente información [14]:

- Alcances
- Características del metal base
- Proceso de soldadura
- Metal de aporte
- Tipo de corriente y rango
- Voltaje
- Número de pases
- Velocidad de avance
- Calentamiento de entrada
- Preparación de la unión
- Protección de la soldadura
- Posición del soldador
- Precalentamiento y temperatura entre pasadas
- Post calentamiento y finalización
- Resultados de los ensayos de calificación
- La persona que la elaboró la soldadura
- La persona que aprobó la soldadura
- Fecha de elaboración

#### **4.8 VARIABLES DE SOLDADURA.**

Es vital la definición de variables que permitan asegurar la compatibilidad entre material base y depósito de soldadura, garantizando la calidad del producto de acuerdo a las especificaciones de diseño y ejecución de la soldadura, entre las

variables de soldadura se pueden identificar: las esenciales, las suplementarias y las no esenciales [11].

**4.8.1 Variables esenciales.** Variable esencial es aquella que influye en las propiedades metalúrgicas y mecánicas, así como en la geometría de la unión. En un procedimiento de soldadura aprobado, el cambio en alguna de estas variables esenciales obliga a realizar una nueva calificación del procedimiento, algunas de estas son [12]:

- Proceso de soldeo
- Tipo de producto (chapa o tubo)
- Tipo de soldadura (a tope o en ángulo)
- Grupo de materiales
- Consumibles de soldeo
- Medidas (espesor del material y diámetro exterior del tubo)
- Posición de soldeo
- Detalles de la soldadura (respaldo, soldeo por un solo lado, soldeo por ambos lados, pasada única, pasada múltiple)

**4.8.2 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 tienen que ser incluidas en todo WPS y se deben registrar. Las variables no esenciales se pueden cambiar, revisando el WPS, sin necesidad de recalificar el procedimiento de soldadura [13].

**4.8.3 Variables suplementarias.** Las variables suplementarias de un procedimiento de soldadura son las que al cambiarse afectan las propiedades de tenacidad de los materiales a bajas temperaturas, éstas variables deben tenerse en cuenta cuando alguna sección del código o de la especificación exija prueba de impacto de los materiales [13].

## 4.9 ESPECIFICACIONES

Las especificaciones establecen las diversas inspecciones y pruebas que se deben aplicar para asegurar el cumplimiento de los requisitos estipulados, quién debe realizar tales actividades y cuando, los criterios de aceptación y los requisitos de calificación y certificación del personal de inspección. En general, todas las normas hacen una distinción entre las actividades de inspección y control de calidad que deben ser realizadas por el fabricante o contratista y aquellas a ser llevadas a cabo por segundas o terceras partes [15].

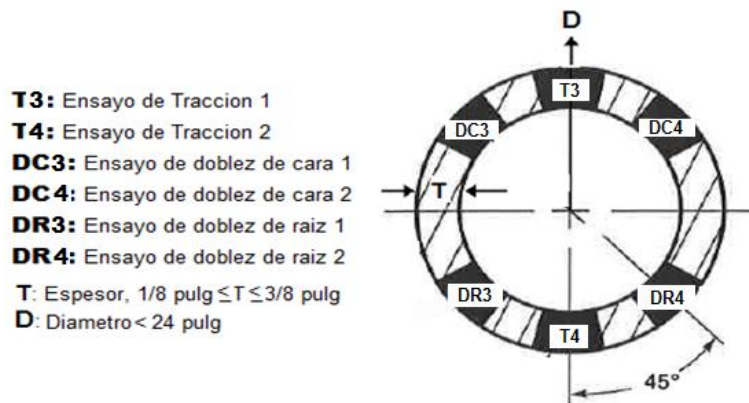
**4.9.1 Especificaciones generales.** Las especificaciones generales están reportadas en los códigos ASME B31.1, API 1104 y AWS D1.1, entre otras. Estas establecen los requisitos de calificación y/o certificación para el personal que realiza los exámenes y pruebas o inspecciones por parte del fabricante o contratista y por segundas o terceras partes. Los requisitos de calificación para este tipo de personal generalmente están fijados en términos de entrenamiento y experiencia, aunque algunas veces se hace referencia a esquemas más completos de calificación y certificación, los mismos que incluyen también requisitos de experiencia y de agudeza visual, entre otros [15].

La Asociación Americana para Ensayos y Materiales (ASTM) desarrolla y publica las especificaciones que se usan en la producción y pruebas de materiales. Estas especificaciones cubren virtualmente todas las características de los materiales que se emplean en la industria y el comercio, con excepción de los consumibles de la soldadura que son especificados por la AWS. Mientras que los códigos como el D1.1 y API 1104 indican las especificaciones tanto de los materiales como las habilidades de los soldadores [15].

## 4.10 REQUERIMIENTOS

**4.10.1 Ensayos destructivos** Las propiedades mecánicas tanto de metales base como de uniones soldadas deben ser verificadas con el objeto de asegurar la calidad del conjunto respecto a su diseño, en la figura 1 se observa la localización de las probetas para cada uno de los ensayos mecánicos para un tubo con un espesor de pared  $T$  y un diámetro  $D$ . Los ensayos a efectuar dependerán de cada caso particular. Cada ensayo aportara al supervisor en soldadura las características pertinentes para definir el cumplimiento de un sistema respecto a lo especificado [3].

Figura 1. Localización de las probetas para ensayos de tracción y dobléz.

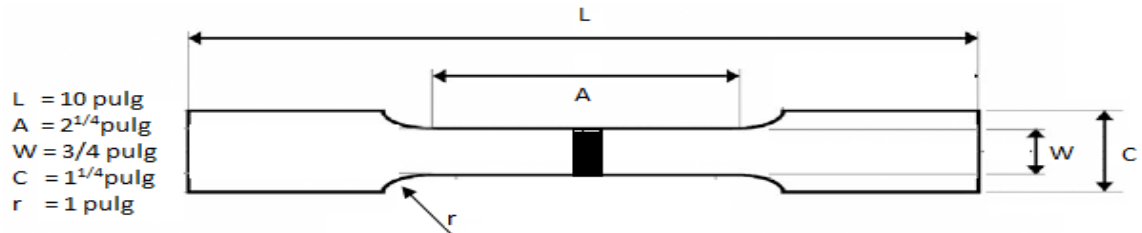


Fuente: Los autores

4.10.1.1 Ensayo de resistencia a la tracción. Según el código AWS D1.1 las probetas para el ensayo de tracción presentan las dimensiones mostradas en la figura 2. Los especímenes pueden ser obtenidos por corte mecánico refrigerado. Si es necesario el espécimen puede ser maquinado para obtener una superficie suave y paralela. Las muestras se romperán bajo tensión en un equipo que es capaz de medir la carga a la que falla el material. La resistencia a la tracción se calcula dividiendo la carga máxima en la rotura por el área de sección transversal más pequeña de la muestra, tal como se mide antes de que se aplique la carga.

En cuanto a los criterios de aceptación para el ensayo de tracción el código AWS D1.1 nos pide lo siguiente, el esfuerzo de tensión no deberá ser menor que el mínimo del rango de tensión especificado del metal base utilizado.

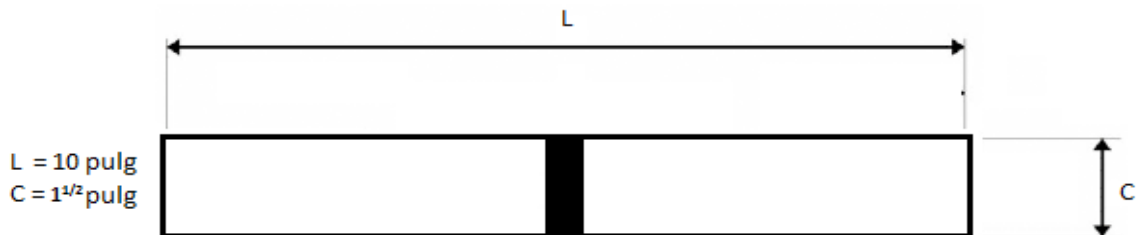
**Figura 2.** Espécimen para el ensayo de tracción.



Fuente los autores

4.10.1.2 Ensayo de doblez de raíz y de cara. Las muestras del ensayo de doblado de raíz y de cara tendrán las dimensiones estipuladas en la figura 3. Pueden ser cortadas con una máquina de corte o de oxígeno. Los refuerzos de las caras y de la raíz doblada deben estar a ras con las superficies de la muestra. Estas superficies deben ser lisas, y cualquier rasguño que exista debe ser ligero y transversal a la soldadura [16].

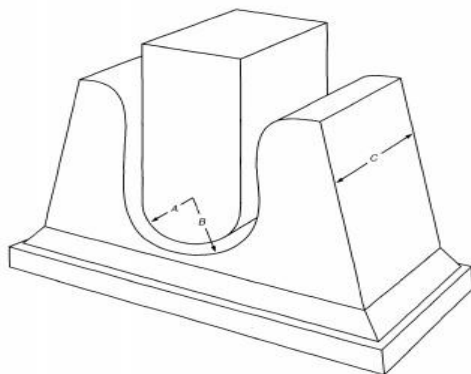
**Figura 3.** Espécimen para el ensayo de doblez de raíz y cara.



Fuente los autores

Las muestras para el ensayo de doblado de caras y de raíz, serán dobladas en una plantilla (ver figura 4). Cada muestra se colocará en el dado con la soldadura a mitad de tramo. Los especímenes de doblado de cara se colocarán con la cara de la soldadura hacia la brecha, y los especímenes de doblado de raíz se colocarán con la raíz de la soldadura hacia la brecha. El émbolo es empujado hacia la concavidad hasta que la curvatura de la muestra es aproximadamente en forma de U [16].

**Figura 4.** Plantilla para el ensayo de doblado de raíz y cara [16].



**A:** Radio del émbolo:  $1\frac{3}{4}$ " (44,45 mm)  
**B:** Radio del dado:  $2 - \frac{5}{16}$ " (58,74 mm)  
**C:** Ancho del dado: 2" (50,8 mm)

Los especímenes para plegado deben tener aristas con redondeo y radio Max  $\frac{1}{8}$ " (3,2 mm)

El código AWS D1.1 pide revisar visualmente la superficie convexa de las probetas a las que se le practica ensayo de doblez guiado, para la aprobación la superficie no debe presentar discontinuidades que superen los siguientes criterios de aceptación: [13]

- $\frac{1}{8}$  pulgada [3 mm] medida en cualquier dirección sobre la superficie.
- $\frac{3}{8}$  pulgada [10 mm]- la suma de las dimensiones mayores de todas las discontinuidades que excedan  $\frac{1}{32}$  pulgadas [1mm], pero, menores que o iguales a  $\frac{1}{8}$  pulgada [3mm]

- 1/4 pulgada [6 mm] – el máximo agrietamiento de esquina, excepto cuando este fuera el resultado de la acumulación visible de escoria o de otro tipo de discontinuidad de fusión; entonces deberá aplicarse el máximo de 1/8 pulgada [3mm].

Los especímenes con agrietamiento de esquina que excedan 1/4 pulgada [6mm] que no presenten evidencias de acumulación de escoria u otros tipos de discontinuidades de fusión deberán descartarse, y deberá someterse a prueba un espécimen de reemplazo para ensayo de la soldadura original.

#### **4.11 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

Los ensayos no destructivos son una técnica usada para la inspección y control de calidad de un producto terminado, sin necesidad de destruir, alterar o cambiar su estructura y configuración física, tampoco su micro estructura y composición química. Siendo este tipo de ensayos una herramienta muy útil para inspeccionar la integridad del elemento al que se le practica el ensayo, dando un criterio acerca de su aptitud para el servicio. [17].

**4.11.1 Ensayo de gammagrafía industrial.** Ensayo no destructivo en el que se utiliza la radiación ionizante de los rayos gamma para obtener imágenes radiográficas en materiales sólidos, sin destruirlos. Los rayos gamma se producen por desintegración atómica espontánea de un radioisótopo. Es apto para detectar discontinuidades internas permitiendo además la caracterización de las mismas.

Se debe desarrollar un procedimiento detallado para la producción de imágenes, en el cual las películas radiográficas deberán tener la densidad, claridad y contraste necesarios para su aceptación, en relación con los siguientes criterios:

una imagen sin niebla, sin irregularidades de procesado que enmascaren la imagen y un sistema de identificación aceptable.

Deberá utilizarse el ensayo radiográfico a lo largo de la circunferencia total de la soldadura, en conformidad con la sección 6, parte C, del código AWS D1.1, cumpliendo los requerimientos de esta misma sección para aprobar los criterios de aceptación de la prueba, los cuales se encuentran disponibles en el numeral 6.12.1 del código AWS D1,1.

#### **4.12 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN**

Las normas definen los límites máximos de discontinuidades que pueden estar presentes en la soldadura, si este límite máximo es excedido, se rechaza la soldadura y se recomienda la reparación o corte de la misma. Luego que la soldadura ha sido reparada o cortada se realiza una nueva inspección por una técnica no destructiva como la radiografía industrial, para verificar que la soldadura cumpla con los parámetros de aceptabilidad. Los criterios de aceptación o rechazo están claramente definidos en la norma o código guía y el inspector en soldadura será quien interprete los resultados para realizar las recomendaciones adecuadas [13].

Los criterios de aceptación de las muestras soldadas y de los ensayos realizados, están consignados en el código AWS D1.1. [13].

#### **4.13 DISEÑO DE CONEXIONES SOLDADAS**

**4.13.1 Configuración y detalles de las juntas para soldadura** Las juntas se deben preparar de acuerdo a lo estipulado en el WPS, teniendo en cuenta todas las indicaciones que dispone el código AWS D1.1 para éste propósito.

4.13.1.1 Alineamiento de las juntas. El alineamiento para soldaduras tubulares se hace en conformidad con las indicaciones del código AWS D1.1, consignadas en las secciones; 5.22.3.1 Alineación de soldadura circunferencial y 5.22.6 Métodos de alineamiento.

4.13.1.2 Abertura de raíz. La máxima distancia permitida entre las juntas, para soldadura a tope es 3/16",

4.13.1.3 Limpieza de soldadura. Antes de soldar sobre un cordón de soldadura depositado con anterioridad, se deberá remover la escoria, limpiando el metal base adyacente y la soldadura mediante cepillado u otro medio apropiado, de igual manera se deberá proceder una vez terminada la soldadura en su totalidad.

**4.13.2 Preparación de las juntas para soldadura.** Los tamaños y longitudes de las soldaduras no deben ser menores a los especificados por los requerimientos de diseño, las dimensiones de las juntas deben estar conforme a los valores especificados en el WPS.

#### **4.14 INSPECCIÓN.**

**4.14.1 Inspección de materiales y equipos.** Con el propósito de asegurar una buena unión soldada es preciso usar materiales de calidad, que cumplan con los requerimientos del código AWS D1.1, asegurando buenas condiciones de almacenamiento en caso de ser requerido. Los equipos empleados para realizar la soldadura deben inspeccionarse, de modo que se garantice un óptimo desempeño de los mismos en cada una de las etapas del procedimiento.

**4.14.2 Inspección de la soldadura.** Las Uniones son inspeccionadas por dos razones, la primera para determinar la calidad de las uniones y garantizar que se ajusta a la aplicación de las especificaciones, los defectos de la soldadura son

detectados y localizados en su lugar, así la parte inaceptable puede ser removida y reemplazada con un metal de buena calidad. La segunda es tan importante, pero frecuentemente menos reconocida, la inspección sirve como un control de calidad de los soldadores o de los procedimientos de la soldadura, registrando como ocurren los diversos tipos de defectos, denotando cuando es necesario cambiar los procedimientos de la soldadura, cuando se utiliza en la práctica una soldadura pobre o cuando los soldadores u operarios deberían ser recalificados.

La inspección a la soldadura se realiza a través de métodos destructivos y métodos no destructivos, los mismos se definen de acuerdo al tipo de juntas, posición y proceso de soldadura entre otros, según lo defina el código guía.

**4.14.3 Requisitos para el personal de inspección.** El personal que realiza los ensayos no destructivos deberá estar calificado en conformidad con la edición actual de la American Society for Nondestructive Testing Recommended Practice N° SNT-TC-1<sup>a</sup>. Los individuos que realicen NDT deberán estar calificados por

- (1) NDT Nivel II, o
- (2) NDT Nivel I trabajando bajo un NDT Nivel II.

La certificación de individuos del Nivel I y Nivel II deberán realizarse por un individuo de Nivel III que haya sido certificado por (1) The American Society for Nondestructive Testing, o (2) tiene la educación, entrenamiento, experiencia y ha pasado con éxito la evaluación escrita y descrita en SNT- TC-1.[13]

## 5. MATERIALES Y EQUIPOS

### 5.1 MATERIALES

**5.1.1 Selección del acero API 5L X42.** Se selecciona un acero tubular API 5L X42 Schedule 40 de 6 pulgadas de diámetro fabricado por TENARIS, su elección se hace teniendo en cuenta las necesidades comerciales de la compañía Mecanizados Industriales Precisión LTDA.

Tabla 1. Composición química para acero 5LX42

Grado y clase	Carbono máximo	Manganeso máximo	Fósforo		Sulfuro máximo	otros
			mínimo	máximo		
X42	0,28	1,20		0,030	0,030	b.d

Fuente API 5L, Specification for Line Pipe, Julio 1, 2000. Tabla 2<sup>a</sup>

(b) Se pueden utilizar Columbium (Niobio), Vanadio o una combinación de estos.

(d) La suma de Columbium (Niobio), Vanadio y Titanio no debe exceder de 0,15%.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de acero 5LX42

Grado	Mínima Resistencia a la fluencia		Mínima resistencia a la tracción		Elongación (50,8 mm) 2 in Porcentaje mínimo
	Psi	Mpa	Psi	Mpa	
X42	42000	(290)	(60000)	(414)	a

Fuente API 5L, Specification for line pipe, April 1, 1995. Tabla 3<sup>a</sup>

(a) El alargamiento mínimo en 2" (50,8 mm) debe ser aquel determinado por la siguiente ecuación:

Ecuación acostumbrada en USA

$$e = 625,000 \frac{A^{0,2}}{U^{0,9}}$$

Ecuación métrica

$$e = 1945,57 \frac{A^{0,2}}{U^{0,9}}$$

Donde:

$e$  = Alargamiento mínimo en 2" (50,8 mm) en porcentaje cercano a 1/2 %

$A$  = Área de sección transversal del espécimen de prueba de tracción en pulgada<sup>2</sup> (mm<sup>2</sup>) basada o especificada en el diámetro exterior especificado ó ancho nominal del espécimen y espesor de pared especificado redondeado a lo más cercano a 0,01 pulgada<sup>2</sup> (6,5 mm<sup>2</sup>) o 0,75 pulgada<sup>2</sup> (484 mm<sup>2</sup>), cualquiera que sea el más pequeño.

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

**5.1.2 Selección del metal de aporte.** La selección del metal de aporte se hizo teniendo en cuenta las características del metal de base y las referencias de metal de aporte sugeridas por el código AWS D1.1 (Structural Welding Code Steel) ver anexo 3.

Los electrodos son fabricados por la empresa LINCOLN ELECTRIC de la clase E6010 y E7018, su selección se hizo teniendo en cuenta el tipo de junta, el cordón de soldadura que se requiere y la resistencia del material. Así para el pase de raíz se seleccionó el electrodo 6010 por tener alta penetración y para los pases de relleno el electrodo 7018 por su presentación.

✓ Electrodo E6010

Se caracteriza por ser un electrodo de revestimiento celulósico que genera alta energía en el arco, lo cual asegura una profunda penetración en todas las posiciones, sus depósitos están libres de poros e inclusiones de escoria, lo cual proporciona seguridad en la inspección radiográfica. Este tipo de electrodo es adecuado para cordones de raíz en estructuras, tanques, fabricación de recipientes y principalmente para la soldadura en campo de varios tipos de tuberías tales como: API 5L Grado X42, entre otros. Algunas de las propiedades típicas del metal depositado son:

Tabla 3. **Composición química de electrodo E6010 (%)**

C	Mn	Si	P	S
0,100	0,470	0,200	0,014	0,012

Fuente Catálogo Electrodo Revestidos LINCOLN ELECTRIC

Tabla 4. Propiedades mecánicas de electrodo E6010

<b>Resistencia a la tracción</b>	(510 – 580) N/mm <sup>2</sup>
<b>Límite elástico</b>	(430 – 490) N/mm <sup>2</sup>
<b>Alargamiento (L = 5d)</b>	(24 – 28) %
<b>Resistencia al impacto</b>	(40 – 60) Nm a -30°C

Fuente Catálogo Electrodo Revestidos LINCOLN ELECTRIC

Tabla 5. Amperajes recomendados para electrodo E6010

Diámetro (mm)	Diámetro (pulg)	Longitud (mm)	Intensidad (amp)	Peso paq (kg)
3,25	1/8	350	75 - 120	10

Fuente Catálogo Electrodo Revestidos LINCOLN ELECTRIC

✓ Electrodo 7018

Electrodo de revestimiento básico con alto contenido de hierro en polvo que genera un rendimiento de 120%, sus depósitos son de bajo hidrógeno, tenaces

resistentes al agrietamiento, libres de poros e inclusiones de escoria. Presenta arco estable de poca salpicadura con cordones de apariencia uniforme con fácil remoción de escoria. Es utilizado con corriente directa, polaridad positiva (+) o con corriente alterna.

Este tipo de electrodo es ideal para soldadura de los aceros de bajo y medio carbono hasta 0,45% de C, aceros al carbono- manganeso. Su campo de aplicación abarca temperaturas de trabajo desde -30°C hasta 350°C.

Tabla 6. Composición química de electrodo E 7018 (%)

<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>P</b>	<b>S</b>
0,070	0,970	0,570	0,012	0,011

Fuente Catálogo Electrodo Revestidos LINCOLN ELECTRIC

Tabla 7. Propiedades mecánicas del electrodo E 7018

<b>Resistencia a la tracción</b>	(540 – 610) N/mm <sup>2</sup>
<b>Límite elástico</b>	(450 – 510) N/mm <sup>2</sup>
<b>Alargamiento (L = 5d)</b>	(25 – 29) %
<b>Resistencia al impacto</b>	(120 – 160) Nm a -35°C

Fuente Catálogo Electrodo Revestidos LINCOLN ELECTRIC

Tabla 8. Amperajes recomendados para el electrodo E7018

<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Diámetro (pulg)</b>	<b>Longitud (mm)</b>	<b>Intensidad (amp)</b>	<b>Peso paq (kg)</b>
3,25	1/8	350/450	90 -140	10/12

Fuente Catálogo Electrodo Revestidos LINCOLN ELECTRIC

### 5.1.3 Probetas para calificación

Figura 5. Foto de cupones para calificación



Fuente: Mecanizados Industriales PRECISION LTDA, Duitama 2014.

### 5.1.4 Corte de probetas para ensayos mecánicos

Figura 6. Foto de probetas para ensayos mecánicos



Fuente: Instalaciones de Compañía PRECISIÓN LTA, Duitama, 2014

## 5.2 EQUIPOS UTILIZADOS

### 5.2.1 Preparación de cupones para procedimiento de soldadura

**Figura 7.** Foto de esmeril para limpieza entre pases de soldadura



Fuente: Instalaciones de Compañía PRECISIÓN LTA, Duitama, 2014

### 5.2.2 Equipo de soldadura

EQUIPO: Proceso SMAW MARCA: FRONIUS PESO: 4,7Kg FABRICANTE:  
Fronius INTERNATIONAL GMBH TENSION DE RED: 230 V

**Figura 8.** Equipo de soldadura SMAW



Fuente: Mecanizados Industriales PRECISION LTDA, Duitama,

### 5.2.3 Equipo de Ensayos Mecánicos

EQUIPO MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS, MARCA JINAN TESTING EQUIPMENT CO LTD SERIE 1112469 (Carga máxima 600 KN)

**Figura 9.** Máquina Universal de ensayos



**Figura 10.** Matriz ASME Doblez guiado



Fuente: Control Calidad y Montajes LTDA, Bogotá, 2014.

5.2.4 Equipo de gammagrafía industrial  
Radiografía con Iridio 192 Equipo TECK OPS 880

**Figura 11.** Equipo de gammagrafía Industrial

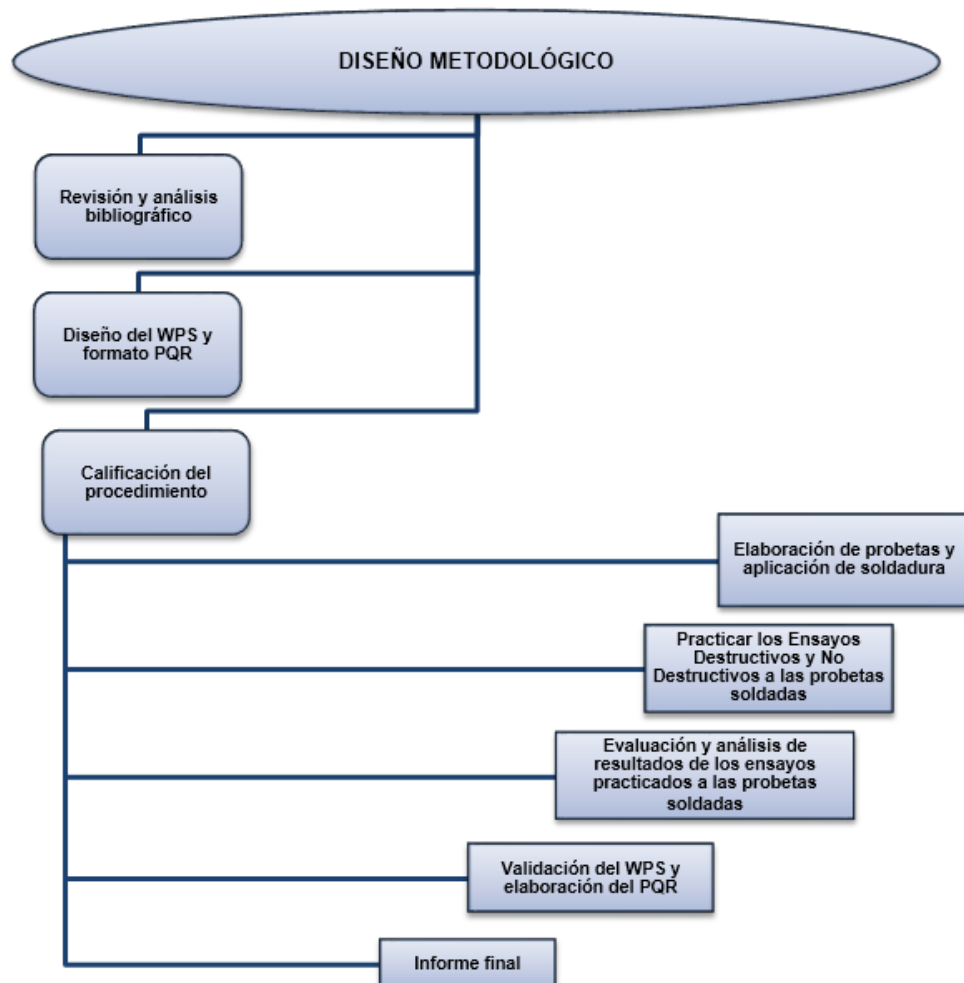


Fuente: Control Calidad y Montajes LTDA, Bogotá, 2014.

## 6. DISEÑO METODOLÓGICO

En el siguiente diagrama metodológico (figura 12) se encuentran plasmadas las etapas llevadas a cabo durante el proceso de elaboración y calificación del WPS y el PQR.

Figura 12. Diagrama de flujo de la metodología utilizada en la investigación.



Fuente los autores

## **6.1 REVISIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO**

Durante el proceso de investigación se compila información referente a: Normas, guías y especificaciones de soldadura, Procesos de soldadura, metalurgia de la soldadura, ensayos destructivos y no destructivos, fabricación de aceros y tratamientos térmicos, entre otros. El desarrollo de la investigación se hace basado en distintas fuentes de información como: Códigos y normas AWS, ANSI, ASME, ASNT, ISO, trabajos de grado, páginas web, material audiovisual, publicaciones acerca del tema y libros del área de interés.

## **6.2. DISEÑO DEL WPS Y EL FORMATO PQR**

El WPS y el formato del PQR se elaboraron siguiendo los lineamientos consignados en el Código AWS D1.1 y son ajustados a los requisitos comerciales de la empresa Precisión LTDA

## **6.3. CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO.**

Luego de diseñar las especificaciones del procedimiento de soldadura WPS se procede a calificar el mismo siguiendo el código AWS D1.1, para esto se llevaron a cabo las etapas descritas a continuación.

**6.3.1 Elaboración de probetas y aplicación de soldadura.** Se elaboran las probetas teniendo en cuenta los criterios de selección de materiales descritos en la tabla 3.1 del código AWS D1.1, para la aplicación de la soldadura se siguen las especificaciones presentes en el WPS elaborado.

6.3.1.1 Selección del proceso de soldadura. Los criterios de selección para este ítem se ajustan de acuerdo a la infraestructura operativa de la compañía

Mecanizados Industriales Precisión LTDA, se escoge el proceso SMAW debido a la mayor oferta de equipos y personal operativo de los mismos.

6.3.1.2 Selección del Metal base. Las secciones de tubería a soldar son de Acero API 5L X42, este grado de acero tomado es uno de los más utilizados en los productos fabricados por la empresa Mecanizados Industriales Precisión LTDA.

6.3.1.3 Selección del metal de aporte: Para unir las juntas se eligieron electrodos fabricados por Lincoln Electric, las referencias de cada electrodo se escogen de acuerdo con las propiedades mecánicas y composición química del metal base, tipo de junta, proceso de soldadura, entre otras.

- ✓ E 6010, se elige éste electrodo para el fondeo debido a la necesidad de proporcionar una mayor ductilidad en la raíz del cordón, haciendo posible absorber los esfuerzos de contracción presentes durante el enfriamiento.
- ✓ E 7018, se toma este electrodo para realizar el relleno, de este modo confiere al cordón una mayor resistencia al agrietamiento y alta tenacidad, sus depósitos se caracterizan por la baja tendencia a formar poros e inclusiones de escoria.

6.3.1.4 Diseño de la junta. Se realiza de acuerdo al espesor de la tubería (7.11 mm), teniendo en cuenta que garantice una buena penetración, se toma una junta en V sencilla con las dimensiones que se indican en el WPS elaborado.

6.3.1.5 Posición de soldadura. Se toma una posición de trabajo 6G, la cual se caracteriza por tener una inclinación de 45° con una tolerancia de  $\pm 5^\circ$ , y la progresión del pase se tomó de manera ascendente.

Figura 13. Foto de soldadura con proceso SMAW en posición 6G ascendente.



Fuente: Precisión, Duitama 2014

6.3.1.6 Soldadura de las probetas. Las probetas fueron soldadas en las instalaciones de la empresa Mecanizados Industriales Precisión LTDA, siguiendo el diseño de junta y especificaciones registradas en el formato WPS, la ejecución del procedimiento estuvo a cargo de personal calificado.

**6.3.2 Realizar ensayos destructivos y no destructivos a las probetas.** Todos los ensayos fueron llevados a cabo en los laboratorios de la empresa Control Calidad y Montajes. El ensayo de tracción se realizó a las probetas T3 y T4, la evaluación de los resultados estuvo a cargo de personal calificado, siguiendo los criterios de las normas ASTM E8 Standard test methods for tension testing of metallic materials y AWS B4.0 Standard method for mechanic testing Weld.

6.3.2.1 Preparación de probetas. A los cupones soldados se les practica un corte mecánico refrigerado, la localización de cada probeta se toma según la norma AWS D1.1 ver figura 1, posteriormente se pasa por un proceso de mecanizado para ser ajustadas a las medidas requeridas por cada ensayo.

6.3.2.2 Probetas para ensayo de resistencia a la tracción. Según la norma AWS D1.1 es necesario practicar el ensayo a dos probetas, las dimensiones y posiciones de las mismas están detalladas en figura 2.

6.3.2.3 Probetas para ensayo de doblez de cara. Para un espesor de tubería menor a 9 mm, se requiere practicar el ensayo de doblez de cara a dos probetas, las dimensiones y posiciones de las mismas se encuentran en la figura 3.

6.3.2.4 Probetas para ensayo de doblez de raíz. El ensayo de doblado de raíz se practica a dos probetas, siendo sus dimensiones y posiciones las establecidas ver anexo 5.

6.3.2.5 Probeta Prueba radiográfica. Para practicar este ensayo se toma la sección de la tubería soldada y se evalúa el cordón de soldadura junto a la ZAT.

6.3.3 Evaluación y análisis de resultados de los ensayos practicados. Se recopilaron los resultados de los ensayos practicados a la probeta soldada, y se evaluaron con el objetivo de validar el WPS y elaborar el PQR.

6.3.3.1 Ensayo de resistencia a la tracción. Este ensayo se realizó con la máquina universal de ensayos descrita en el numeral 5.2.3 Fig. 9, teniendo como referencia para su ejecución y calificación los códigos y normas AWS D1.1, AWSB4.0 y ASTM E8.

6.3.3.2 Ensayos de doblez guiado. Para el desarrollo de estos ensayos se usó una matriz ASME de doblez guiado descrita en el numeral 5.2.3 Fig. 10, siguiendo los lineamientos consignados en códigos y normas AWS D1.1, AWS B4.0 y ASTM E190, para su procedimiento y calificación.

6.3.3.3 Ensayo de gammagrafía industrial. Las radiografías se hicieron usando una fuente individual de radiación gamma, sin remover la sobremonta del cordón de soldadura, evaluando la sensibilidad radiográfica mediante indicadores de calidad de imagen tipo alambre y bajo todos los requerimientos de seguridad posibles. La metodología del ensayo, el control de calidad y la calificación entre otros aspectos, se hicieron de acuerdo a las recomendaciones de los códigos y normas AWS D1.1, ASTM e94, ASTM e142, ATM E747, ASTM E1032.

## 7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 7.1 RESULTADOS

Como resultado del desarrollo de este proyecto se obtienen los siguientes documentos:

- Especificaciones del procedimiento de soldadura WPS.
- Registro de calificación del procedimiento PQR.

Para la elaboración de los anteriores documentos fue necesario practicar las siguientes pruebas:

- 2 ensayos de tracción
- 2 ensayos de doblez de cara.
- 2 ensayos de doblez de raíz.
- Ensayo de radiografía industrial mediante gammagrafía.

El concepto emitido por los ensayos anteriores se encuentra consignado en el PQR, sin embargo el informe de cada uno de los ensayos está disponible en los anexos 4, 5 y 6.

Los certificados de calibración de cada uno de los equipos empleados para llevar a cabo dichas pruebas se pueden encontrar en los anexos 7 y 8, de igual manera se encuentra registrada la información acerca del personal que elaboró los ensayos e interpretó sus respectivos resultados.

En el anexo 9 también se podrá ver la ficha técnica del equipo de soldadura utilizado.

## 7.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

**7.2.1 Ensayo de doblez de cara y raíz.** Las probetas DC3, DC4 y DR3, DR4, fueron sometidas a ensayos de doblez de cara y raíz respectivamente, para el análisis y la evaluación de sus resultados se tuvieron en cuenta los criterios de aceptación y rechazo descritos en la sección 4.9.3.3 del código AWS D1.1.

Al realizar el análisis de los resultados de éste ensayo no se registra presencia de indicaciones que se ajusten a los criterios de rechazo propuestos por el código. Se da una valoración aceptable a la soldadura tanto en el pase de raíz como en el pase de relleno, en general se observa una soldadura dúctil con una buena penetración y una fusión adecuada, libre de defectos como poros, inclusiones, entre otros.

**7.2.2 Ensayo de Tracción.** Las probetas T3 y T4 fueron sometidas a pruebas de tensión, teniendo como criterio de aceptación para los especímenes soldados un esfuerzo de tensión cuyo valor no podrá ser inferior al valor mínimo del rango de tensión propio del metal base utilizado.

Tabla 9. Resultados de los ensayos de tracción

Probetas	Esfuerzo máximo de tensión de la probeta (Psi)	Esfuerzo mínimo de tensión para el acero API 5L X42 (Psi)	Criterio
T3	70198.24	60000	OK
T4	62366.21		OK

Como se puede observar en la tabla 9, los valores de los esfuerzos de tensión a los que se sometieron las probetas T3 y T4 fueron superiores al valor del esfuerzo mínimo de tensión propio del metal base.

En cuanto a la rotura en cada uno de los casos se presentó fuera del cordón de soldadura, dejando así evidencia de las buenas propiedades mecánicas y la alta resistencia que presenta la unión soldada. De acuerdo con los resultados arrojados por el ensayo de tensión se puede decir que la soldadura cumple con el criterio de aceptación exigido por la norma para este ensayo.

**7.2.3 Ensayo de gammagrafía industrial.** Este ensayo se realizó usando la técnica de exposición doble pared una imagen, ubicando el IQI en el mismo lado de la película, se realizaron tres tomas para captar todo el cordón de soldadura. Se obtuvo una película de alta calidad con una densidad medida de 2, la película structurix D7 no presentó ningún tipo de imperfecciones de revelado ni sombreado, permitiendo evaluar a cabalidad la calidad de la soldadura.

Figura 14. Imágenes de las placas radiográficas




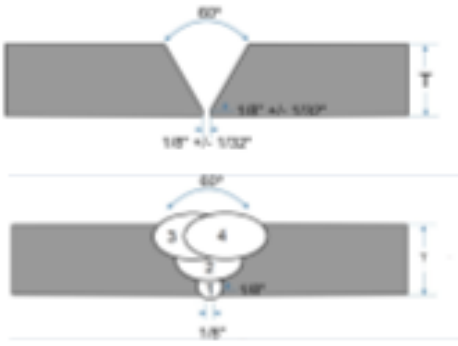
Fuente: Control Calidad y Montajes LTDA, Bogotá, 2014.

Luego de hacer la inspección de la totalidad del cordón de soldadura en las películas radiográficas no se observaron grietas ni fisuras, de modo que el cordón de soldadura tiene una alta resistencia capaz de soportar los esfuerzos residuales que se generan durante la solidificación del charco de metal fundido. Lo anterior se logra gracias a una acertada elección del tipo de junta y sus dimensiones, así como de los electrodos, las condiciones eléctricas de operación y la velocidad de avance.

No se registra evidencia de inclusiones no metálicas o porosidades, gracias a la acertada y exhausta limpieza que se le practicó a la soldadura en la raíz y entre pases eliminando la escoria producida, y al correcto almacenamiento de los electrodos, entre otros factores.

El cordón no presenta socavamiento, se observa una soldadura uniforme producto de una fusión completa en toda la extensión de la soldadura, tampoco se observa algún tipo de indicación que denote una penetración incompleta. En general la junta soldada se encuentra libre de defectos relevantes que puedan afectar negativamente las propiedades de la soldadura.

### 7.3 ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS

				
<b>ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS</b>				
WPS No: M.I PRECISIÓN 001 REVISIÓN: 0 FECHA: 25-08-14 POR: M.A.B.P PAG. 1 DE 3 PQR No: M.I PRECISIÓN 001R REVISION: 0 FECHA: 19-09-14 POR: M.A.B.P				
<b>NORMA DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA: AWS D1.1 Ed. 2010</b>				
<b>PROCESO DE SOLDADURA:</b> SMAW TIPO MANUAL <input checked="" type="checkbox"/> SEMIAUTOMÁTICO <input type="checkbox"/>				
<b>JUNTA</b>  TIPO DE BISEL: <u>En V</u> TIPO DE JUNTA: <u>A TOPE</u> APERTURA DE RAÍZ: <u>1/8" +/- 1/32</u> CARA DE RAÍZ: <u>1/8" +/- 1/32</u> ANGULO DEL BISEL: <u>30 GRADOS</u> ANGULO DE LA GARGANTA: <u>60 GRADOS</u> RESPALDO: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> MATERIAL DE RESPALDO: <u>N.A</u>	<b>ESQUEMA</b>  			
<b>METAL BASE</b>  ESPECIFICACION, TIPO Y GRADO: <u>API 5L X42</u> RESISTENCIA A LA TENSION: <u>60 000 Psi Min.</u> ESPESOR: <u>7.11 mm Schedule 40</u> DIÁMETRO: <u>6" Pulgadas</u> RANGO DE ESPESORES METAL BASE: DESDE: <u>1/8" HASTA 2T</u> RANGO DE DIÁMETRO: <u>6" Y MAYORES</u> EN FILETES: TODOS				
<b>METAL DE APORTE</b>				
NUMERO DEL PASE	1	2	3	N
ESPECIFICACION AWS No	5.1	5.1	5.1	5.1
CLASIFICACION AWS No	E 6010	E 7018	E 7018	E 7018
Ø METAL DE APORTE	1/8"	1/8"	1/8"	1/8"
FUNDENTE ( CLASE AWS)	NA	NA	NA	NA
NOMBRE COMERCIAL FUNDENTE	NA	NA	NA	NA
FABRICANTE METAL DE APORTE	LINCOLN E.	LINCOLN E.	LINCOLN E.	LINCOLN E.
NOMBRE COMERCIAL APORTE	GRICON 29	GRICON 15	GRICON 15	GRICON 15
ESPESOR DEPOSITADO	3.0 mm	3.0 mm	3.0 mm	3.0 mm



**ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA  
WPS**

WPS No: M.I PRECISIÓN 001 REVISIÓN: 0 FECHA: 25 - 08 - 14 POR: M.A.B.P PAG.2 DE 3  
 PQR No: M.I PRECISIÓN 001R REVISIÓN: 0 FECHA: 19 - 09 - 14 POR: M.A.B.P

**POSICIÓN:**  
 A TOPE: 6G  
 PROGRESION DE LA SOLDADURA: ASCENDENTE  DESCENDENTE \_\_\_\_\_

**PRECALENTAMIENTO:**  
 TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO: Mínima: NA  
 TEMPERATURA ENTRE PASES: Máxima: NA  
 METODO DE PRECALENTAMIENTO: NA

**TRATAMIENTO TERMICO PWHT**  
 TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO RANGO: NA  
 TIEMPO DE MANTENIMIENTO: NA  
 TIEMPO DE ENFRIAMIENTO: NA  
 METODO DE CALENTAMIENTO: NA

**GAS DE PROTECCIÓN**  
 GAS DE PROTECCIÓN: NA CAUDAL DE GAS: NA  
 GAS DE PROTECCIÓN DESPUÉS DE LA SOLDADURA: NA

**CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS**  
 TIPO CORRIENTE: AC \_\_\_\_\_ DC  POLARIDAD: POSITIVA  
 RANGO DE VOLTAJE: DESDE: 25 HASTA: 30 RANGO DE AMPERAJE: DESDE: 75 HASTA: 145  
 METODO DE TRANSFERENCIA: NA  
 ELECTRODO DE TUNGSTENO: TIPO: NA TAMAÑO: NA  
 RANGO DE VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN DEL ALAMBRE: NA

PASE	PROCESO	MATERIAL APORTE		CORRIENTE		VOLTAJE VOLTIOS	VELOCIDAD (Pulg/min)	PROGRESION
		CLASE	Ø	POLARIDAD	AMPERAJE			
1	SMAW	E 6010	1/8"	DC +	75 - 120	25 - 30	2.0 - 3.5	ASCENDENTE
2	SMAW	E 7018	1/8"	DC +	90 - 140	25 - 30	4.0 - 5.0	ASCENDENTE
3	SMAW	E 7018	1/8"	DC +	90 - 140	25 - 30	4.0 - 5.0	ASCENDENTE
N	SMAW	E 7018	1/8"	DC +	90 - 140	25 - 30	4.0 - 5.0	ASCENDENTE



### ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS

WPS No: M.I PRECISIÓN 001 REVISIÓN: 0 FECHA: 25 - 08 - 14 POR: M.A.B.P PAG. 3 DE 3  
PQR No: M.I PRECISIÓN 001R REVISIÓN: 0 FECHA: 19 - 09 - 14 POR: M.A.B.P

#### TÉCNICA



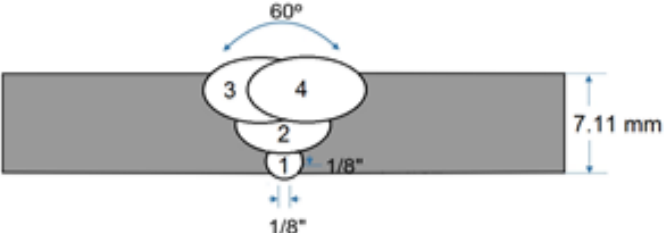
PASE RECTO U OSCILADO: AMBOS  
OSCILACIÓN MÁXIMA: 3 VECES EL DIÁMETRO  
TAMAÑO DE LA BOQUILLA: NA  
MÉTODO DE LIMPIEZA INICIAL Y ENTRE PASES: ESMERILADO Y GRATEADO  
MÉTODO DE DESCARBONADO: ESMERILADO  
ELECTRODO SIMPLE O MÚLTIPLE: MÚLTIPLE  
RANGO DE VELOCIDAD: 2.0 - 5.0 in/min

#### NOTAS:

- LIMPIEZA INICIAL Y ENTRE PASES: LA SUPERFICIE A SOLDAR Y DE LA SOLDADURA DEBE ESTAR LIBRE DE INCRUSTACIONES, ÓXIDOS, HUMEDAD, GRASA, ETC.
- REMOSION DE ESCORIAS Y OTROS CONTAMINANTES ANTES DEL SIGUIENTE PASE
- LA LIMPIEZA DEL PRIMER PASE REALIZA CON DISCO ABRASIVO, LA LIMPIEZA DE LOS PASES SIGUIENTES SE REALIZA CON GRATA
- SI EL MATERIAL BASE SE ENCUENTRA POR DEBAJO DE 50°F NO SE PODRÁ SOLDAR.
- LA SOLDADURA DE BAJO HIDRÓGENO DEBE SER MANTENIDA EN HORNO PARA SU APLICACIÓN A UNA TEMPERATURA NO MENOR DE 105°C.
- NR : No se requiere
- NA: No Aplica

	REALIZADO POR:	REVISADO POR	APROBADO POR:
FIRMA:			
NOMBRE:	MARLON BECERRA PÉREZ ALEJANDRA SANABRIA	FRANKLIN SANDOVAL INSPECTOR AWS - CWI	FRANKLIN SANDOVAL INSPECTOR AWS - CWI
CARGO:			

## 7.4 REGISTRO DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO PQR

 								
<b>REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PQR</b>								
PQR No: M.I PRECISION 001 REVISION: 0 FECHA: 19-08-14 POR: M.A.B.P PAG. 1 DE 3 WPS No: M.I PRECISION 001 REVISION: 0 FECHA: 25-08-14 POR: M.A.B.P								
<b>NORMA DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA: AWS D1.1 Ed. 2010</b>								
<b>SOLDADOR</b> NOMBRE: ALEXANDER KLINGER DIAZ C.C: 7.229.188 ESTAMPE: A.K.D								
<b>JUNTA</b> DISEÑO DE LA JUNTA: <u>A TOPE</u> TIPO DE BISEL: <u>En V</u> APERTURA DE RAIZ: <u>1/8"</u> CARA DE LA RAIZ: <u>1/8"</u> ANGULO DEL BISEL: <u>30 GRADOS</u> ANGULO DE LA GARGANTA: <u>60 GRADOS</u> POSICIÓN DE SOLDADURA: <u>6G</u>	<b>DISEÑO DE LA JUNTA</b> 							
<b>METAL BASE</b> ESPECIFICACIÓN, TIPO Y GRADO: <u>API 5L X42</u> RESISTENCIA A LA TENSIÓN: <u>60 000 Psi Min.</u> ESPESOR: <u>7.11 mm</u> DIÁMETRO: <u>6" Pulgadas</u> RANGO DE ESPESORES METAL BASE: DESDE : <u>1/8" HASTA 9/16"</u> RANGO DE DIÁMETRO CALIFICADO DESDE : <u>6" Pulgadas y Mayores</u>								
<b>METAL DE APORTE</b>								
PASE	PROCESO	MATERIAL APORTE		CORRIENTE		VOLTAJE	VELOCIDAD	PROGRESIÓN
No		CLASE	Ø	POLARIDAD	AMPERAJE		(Pulg/min)	
1	SMAW	E 6010	1/8"	DC +	76	28	2.5	ASCENDENTE
2	SMAW	E 7018	1/8"	DC +	93	28	4.0	ASCENDENTE
3	SMAW	E 7018	1/8"	DC +	105	28	4.0	ASCENDENTE
4	SMAW	E 7018	1/8"	DC +	105	28	4.0	ASCENDENTE



**REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO  
PQR**

PQR No: M.I PRECISION 001R REVISION: 0 FECHA: 19 - 09 - 14 POR: M.A.B.P PAG. 2 DE 3  
 WPS No: M.I PRECISION 001 REVISIÓN: 0 FECHA: 25 - 08 - 14 POR: M.A.B.P

**POSICIÓN:**

A TOPE: 6G

PROGRESIÓN DE LA SOLDADURA: ASCENDENTE X DESCENDENTE     

**PRECALENTAMIENTO:**

TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO: Mínima: NA  
 TEMPERATURA ENTRE PASES: Máxima: NA  
 METODO DE PRECALENTAMIENTO: NA

**TRATAMIENTO TÉRMICO PWHT**

TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO RANGO: NA  
 TIEMPO DE MANTENIMIENTO: NA  
 TIEMPO DE ENFRIAMIENTO: NA  
 METODO DE CALENTAMIENTO: NA

**GAS DE PROTECCIÓN**

GAS DE PROTECCIÓN: NA CAUDAL DE GAS: NA  
 GAS DE PROTECCIÓN DESPUÉS DE LA SOLDADURA: NA

**INSPECCIÓN VISUAL**

PRESENTACIÓN: BUENA  
 ALTURA SOBRE ESPESOR 1/16"  
 PENETRACION ADECUADA CON FUSION DE BISELES Y FONDEO UNIFORME  
 CONCEPTO ACEPTADO

**INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA**

JUNTA	TRAMO	DETALLE	CALIFICACIÓN
A.K.D	0 - 1		OK
	1 - 2		OK
	2 - 0		OK

Ver reporte No. 001



**REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO  
PQR**

PQR No: M.I PRECISIÓN 001R REVISIÓN: 0 FECHA: 19 - 09 - 14 POR: M.A.B.P PAG 3 DE 3  
WPS No: M.I PRECISIÓN 001 REVISIÓN: 0 FECHA: 25 - 08 - 14 POR: M.A.B.P

**RESULTADO ENSAYO DE DOBLEZ (CONTROL CALIDAD Y MONTAJES)**

LOS RESULTADOS DE ESTA PRUEBA SE ENCUENTRAN CONSIGNADOS EN EL REPORTE NÚMERO **D 111-14**  
EL CUAL SE ENCUENTRA EN EL AMEXO 5. SE REALIZÓ DOBLEZ DE CARA Y RAÍZ EN CUATRO PROBETAS

IDENTIFICACION	OBSERVACIONES	RESULTADO
DC3	SIN INDICACIONES	OK
DC4	SIN INDICACIONES	OK
DR3	SIN INDICACIONES	OK
DR4	SIN INDICACIONES	OK

CONCEPTO: ACEPTADA

**RESULTADO ENSAYO DE TENSIÓN (CONTROL CALIDAD Y MONTAJES)**

LOS RESULTADOS DE ESTA PRUEBA SE ENCUENTRAN CONSIGNADOS EN EL REPORTE NÚMERO **T 112-14**  
EL CUAL SE ENCUENTRA EN EL ANEXO 4

IDENTIFICACION DE LA PROBETA	CARGA MÁXIMA (lbf) / (KN)	ESFUERZO MÁXIMO (psi) / (Mpa)	CARGA DE ROTURA (lbf) / (KN)	ESFUERZO DE ROTURA (psi) / (Mpa)
T3	14284.36 / 63.54	70198.24 / 484	12144.17 / 54.02	59610.49 / 411
T4	13016.43 / 57.90	62366.21 / 430	12117.20 / 53.90	58160.11 / 401

CONCEPTO: ACEPTADA

NOSOTROS CERTIFICAMOS QUE EL PROCEDIMIENTO SE DESARROLLO SIGUIENDO LOS REQUERIMIENTOS DEL CÓDIGO AWS D1.1 ED 2010 Y QUE LOS CUPONES FUERON SOLDADOS, PREPARADOS Y PROBADOS SIGUIENDO LAS ESPECIFICACIONES DEL CÓDIGO.

	REALIZADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
FIRMA			
NOMBRE:	MARLON BECERRA PÉREZ ALEJANDRA SANABRIA	FRANKLIN SANDOVAL INSPECTOR AWS - CWI	FRANKLIN SANDOVAL INSPECTOR AWS - CWI
CARGO:			

## 8. CONCLUSIONES

El documento con las especificaciones del procedimiento de soldadura WPS diseñado durante el desarrollo de este proyecto, fue probado y calificado exitosamente de acuerdo a las necesidades comerciales de la compañía Precisión LTDA y basado en los lineamientos dispuestos por el código para soldadura de acero estructural AWS D1.1.

El procedimiento de soldadura realizado utilizando el proceso SMAW para obtener la probeta tubular soldada, aprobó satisfactoriamente todos los ensayos destructivos y no destructivos realizados para la calificación del mismo, como se evidencia en el registro de calificación del procedimiento PQR. De esta forma la compañía Precisión LTDA podrá implementar este procedimiento en sus procesos de fabricación siempre y cuando las variables dadas en el WPS sean las mismas, como el metal base, metal de aporte, diseño de junta y proceso de soldadura, entre otras. Garantizando la obtención de productos de calidad con un alto grado de confiabilidad para sus clientes.

Se logró elaborar un diseño acertado de la junta soldada tanto en sus dimensiones como en el tipo de materiales empleados para producir la misma, esto se evidencia en el buen comportamiento mecánico de las probetas luego de los ensayos destructivos, y en la uniformidad que presenta la soldadura con un cordón libre de irregularidades.

El PQR elaborado sirve como respaldo a las especificaciones del procedimiento de soldadura WPS, garantizando soldaduras de alta calidad siempre que se sigan las directrices plasmadas en éste documento. Cabe resaltar la gran importancia de una adecuada selección del personal operativo, puesto que la habilidad y experiencia del soldador influye en la calidad del producto terminado.

## 9. RECOMENDACIONES

Es importante llevar a cabo una inspección previa de los equipos utilizados para realizar la soldadura, con el propósito de verificar su correcto funcionamiento y su adecuada calibración, esto garantiza un buen desempeño de los mismos durante el proceso de fabricación del producto soldado.

Se recomienda realizar una estricta limpieza durante y después de la soldadura, con el fin de eliminar residuos del proceso, puesto que al no ser removidos en su totalidad pueden mezclarse con el metal fundido originando defectos que afectan la calidad de la soldadura.

Los electrodos empleados durante el proceso de fabricación deben estar almacenados siguiendo las recomendaciones del fabricante, de tal modo que se encuentren protegidos de la humedad del ambiente.

El personal operativo dispuesto para realizar la soldadura debe contar con experiencia y estar calificado según el proceso a ejecutar.

Se debe usar un tipo de junta idéntico al sugerido por el WPS, conservando las medidas sin exceder las tolerancias dimensionales en caso que las haya.

Durante el proceso de fabricación de productos soldados se deben seguir los parámetros del WPS aprobado, puesto que el cambio en alguna de las variables puede afectar significativamente las propiedades de la junta soldada.

El personal encargado de realizar e interpretar los resultados de los ensayos de calificación, debe contar con el nivel de formación exigido por el código de soldadura estructural AWS D1.1.

Se recomienda a la compañía Precisión LTDA, implementar la estandarización de procedimientos para la fabricación de componentes soldados, los cuales empleen procesos de soldadura diferentes al SMAW.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] José Martín, Tesis, Ingeniería Técnica Naval en Propulsión y Servicios del buque, Procesos de soldadura aplicados en la construcción naval. Barcelona, 2011.
- [2] Shiv Kumar, Welding Technique, Indian Railways Institute of Civil Engineering, USA, 2006.
- [3] María Fernández, Monografía, La importancia de la inspección de soldadura en la fabricación y montaje de estructuras metálicas, Coatzacoalcos, 2010.
- [4] Ciro Bazán, Tesis Pregrado, Determinación de electrodos y cálculo de costos de soldadura al arco asistido por computadora, Universidad de PIUR, Perú, 2002.
- [5] Bertín García, Tesis Pregrado, Caracterización microestructura, mecánica y electroquímica de un acero API 5LX52 expuesto a fuego directo, México, 2007.
- [6] Sáenz Jorge, Ramírez, Sergio, Tesis pregrado, Diseño y calificación de un WPS, PQR y WPQ de soldadura según norma API 1104 para la estación de recolección campo escuela colorado, Bucaramanga, 2010.
- [7] Specification for Line Pipe, API Specification 5L, Forty-Second, January 2000, pp 37-38.
- [8] Alcalá, Luis, Monografía, Elaboración de una guía de control de la calidad de soldaduras para la fabricación de puentes peatonales tipo I.D.U, basada en las especificaciones contractuales, Bogotá, 2011.

[9] AIES, [Boletín informativo en línea], <http://www.aeisndt.com/whitepaper/pdf/1%20Guide%20for%20WPS%20PQR%20WPQR.pdf>.

[10] ASME - Boiler and pressure vessel, section IX – Qualification standard for welding and brazing procedure, welders, brazers, and welding and brazing operator. 13-190. USA. (2004).

[11] Niebles, Enrique, Arnedo, William, Procedimientos de Soldadura y Calificación de Soldadores: una Propuesta de Enseñanza y Guía de Aplicación para la Industria, Información Tecnológica, Vol. 20(3), 19-30 (2009), doi:10.1612/inf.tecnol.4064it.08.

[12] Norma UNE-EN 2871, Homologación de soldadores, acero, [Boletín en línea], [http://www.femeval.es/informesycomunic/documentacionjornadas/Documents/Presentacion%20requisitos%20soldadura\\_JC%20FERRERO.pdf](http://www.femeval.es/informesycomunic/documentacionjornadas/Documents/Presentacion%20requisitos%20soldadura_JC%20FERRERO.pdf).

[13] AWS D1 COMMITTEE ON STRUCTURAL WELDING. AWS D1.1/D1.1M:2010. Structural welding code. American National Standards Institute. 18th Edition. 550 N.W. LeJeune Road, Miami, Florida. American Welding Society. Agosto 31, 2001. ISBN 0871717263.

[14] Chan, Angélica, Serrano, Omar, Tesis, Calificación de procedimientos de soldadura, operadores y soldadores en procesos SMAW y GMAW, de acuerdo al código AWS D1.1 para aceros estructurales, USA, 2005.

[15] Vargas, Gustavo, Tesis de Maestría, Inspección y control de calidad, en la aplicación de soldadura de elementos estructurales, México, 2009.

[16] Norma canadiense CSA\_Z662, Canadian Standards Association, Oil and Gas Pipeline System (1999 y 2007) disponible en: <https://standards.terasen.com/stnds/CON-03-02-04.htm>

[17] RUIZ, Alfonso, Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas, Edición URMO

[18] Maureira, Mauricio, Tesis, Aplicación de la soldadura en estructuras de aluminio, Chile, 2007.

[19] Gonzales, Ismael, Tesis, Estudio comparativo del proceso de soldadura MIG y TIG en un acero inoxidable 416 utilizado en la industria alimenticia y de generación de calor, México, 2011.

## BIBLIOGRAFÍA

AIES, [Boletín informativo en línea], <http://www.aeisndt.com/whitepaper/pdf/1%20Guide%20for%20WPS%20PQR%20WPQR.pdf>.

Alcalá, Luis, Monografía, Elaboración de una guía de control de la calidad de soldaduras para la fabricación de puentes peatonales tipo I.D.U, basada en las especificaciones contractuales, Bogotá, 2011.

ASME - Boiler and pressure vessel, section IX – Qualification standard for welding and brazing procedure, welders, brazers, and welding and brazing operator. 13-190. USA. (2004).

AWS D1 COMMITTEE ON STRUCTURAL WELDING. AWS D1.1/D1.1M:2010. Structural welding code. American National Standards Institute. 18th Edition. 550 N.W. LeJeune Road, Miami, Florida. American Welding Society. Agosto 31, 2001. ISBN 0871717263.

Bertín García, Tesis Pregrado, Caracterización microestructura, mecánica y electroquímica de un acero API 5LX52 expuesto a fuego directo, México, 2007.

Chan, Angélica, Serrano, Omar, Tesis, Calificación de procedimientos de soldadura, operadores y soldadores en procesos SMAW y GMAW, de acuerdo al código AWS D1.1 para aceros estructurales, USA, 2005.

Ciro Bazán, Tesis Pregrado, Determinación de electrodos y cálculo de costos de soldadura al arco asistido por computadora, Universidad de PIUR, Perú, 2002.

Gonzales, Ismael, Tesis, Estudio comparativo del proceso de soldadura MIG y TIG en un acero inoxidable 416 utilizado en la industria alimenticia y de generación de calor, México, 2011.

José Martín, Tesis, Ingeniería Técnica Naval en Propulsión y Servicios del buque, Procesos de soldadura aplicados en la construcción naval. Barcelona, 2011.

María Fernández, Monografía, La importancia de la inspección de soldadura en la fabricación y montaje de estructuras metálicas, Coatzacoalcos, 2010.

Maureira, Mauricio, Tesis, Aplicación de la soldadura en estructuras de aluminio, Chile, 2007.

Niebles, Enrique, Arnedo, William, Procedimientos de Soldadura y Calificación de Soldadores: una Propuesta de Enseñanza y Guía de Aplicación para la Industria, Información Tecnológica, Vol. 20(3), 19-30 (2009), doi:10.1612/inf.tecnol.4064it.08.

Norma canadiense CSA\_Z662, Canadian Standards Association, Oil and Gas Pipeline System (1999 y 2007) disponible en: <https://standards.terasen.com/stds/CON-03-02-04.htm>

Norma UNE-EN 2871, Homologación de soldadores, acero, [Boletín en línea], [http://www.femeval.es/informesycomunic/documentacionjornadas/Documents/Presentacion%20requisitos%20soldadura\\_JC%20FERRERO.pdf](http://www.femeval.es/informesycomunic/documentacionjornadas/Documents/Presentacion%20requisitos%20soldadura_JC%20FERRERO.pdf).

RUIZ, Alfonso, Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas, Edición URMO

Sáenz Jorge, Ramírez, Sergio, Tesis pregrado, Diseño y calificación de un WPS, PQR y WPQ de soldadura según norma API 1104 para la estación de recolección campo escuela colorado, Bucaramanga, 2010.

Shiv Kumar, Welding Technique, Indian Railways Institute of Civil Engineering, USA, 2006.

Specification for Line Pipe, API Specification 5L, Forty-Second, January 2000, pp 37-38.

Vargas, Gustavo, Tesis de Maestría, Inspección y control de calidad, en la aplicación de soldadura de elementos estructurales, México, 2009.

## ANEXOS

### ANEXO A. EJEMPLO DE WPS DADO POR EL CÓDIGO AWS D1.1

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS) <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/>								
PREQUALIFIED _____ QUALIFIED BY TESTING _____								
or PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR) <input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/>								
Company Name _____			Identification # _____			Revision _____ Date _____ By _____		
Welding Process(es) _____			Authorized by _____			Date _____		
Supporting PQR No.(s) _____			Type—Manual <input type="checkbox"/>			Semi-Automatic <input type="checkbox"/>		
			Machine <input type="checkbox"/>			Automatic <input type="checkbox"/>		
<b>JOINT DESIGN USED</b>				<b>POSITION</b>				
Type: _____				Position of Groove: _____ Fillet: _____				
Single <input type="checkbox"/> Double Weld <input type="checkbox"/>				Vertical Progression: Up <input type="checkbox"/> Down <input type="checkbox"/>				
Backing: Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b>				
Backing Material: _____				Transfer Mode (GMAW) _____				
Root Opening _____ Root Face Dimension _____				Short-Circuiting <input type="checkbox"/>				
Groove Angle: _____ Radius (J-U) _____				Globular <input type="checkbox"/> Spray <input type="checkbox"/>				
Back Gouging: Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Method _____				Current: AC <input type="checkbox"/> DCEP <input type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/> Pulsed <input type="checkbox"/>				
				Other _____				
<b>BASE METALS</b>				Tungsten Electrode (GTAW)				
Material Spec. _____				Size: _____				
Type or Grade _____				Type: _____				
Thickness: Groove _____ Fillet _____				<b>TECHNIQUE</b>				
Diameter (Pipe) _____				Stringer or Weave Bead: _____				
				Multi-pass or Single Pass (per side) _____				
<b>FILLER METALS</b>				Number of Electrodes _____				
AWS Specification _____				Electrode Spacing _____				
AWS Classification _____				Longitudinal _____				
				Lateral _____				
				Angle _____				
<b>SHIELDING</b>				Contact Tube to Work Distance _____				
Flux _____ Gas _____				Peening _____				
Composition _____				Interpass Cleaning: _____				
Electrode-Flux (Class) _____				<b>POSTWELD HEAT TREATMENT</b>				
Flow Rate _____				Temp. _____				
Gas Cup Size _____				Time _____				
<b>PREHEAT</b>								
Preheat Temp., Min _____								
Interpass Temp., Min _____ Max _____								
WELDING PROCEDURE								
Pass or Weld Layer(s)	Process	Filler Metals		Current		Volts	Travel Speed	Joint Details
		Class	Diam.	Type & Polarity	Amps or Wire Feed Speed			

Form E-1 (Front)

**Figura 4.** Formato guía para reportar las Especificaciones del Procedimiento de Soldadura WPS  
**Fuente.:** American National Standards Institute. AWS D1 COMMITTEE ON STRUCTURAL WELDING. Structural Welding Code Steel. AWS D1.1/D1.1M:2010. 18 ed. 550 N.W. LeJeune Road, Miami, Florida. American Welding Society, 2001. p.334.

## ANEXO B. EJEMPLO DE PQR DADO POR EL CÓDIGO AWS D1.1

Procedure Qualification Record (PQR) # _____						
Test Results						
TENSILE TEST						
Specimen No.	Width	Thickness	Area	Ultimate Tensile Load, lb	Ultimate Unit Stress, psi	Character of Failure and Location

GUIDED BEND TEST			
Specimen No.	Type of Bend	Result	Remarks

**VISUAL INSPECTION**

Appearance \_\_\_\_\_

Undercut \_\_\_\_\_

Piping porosity \_\_\_\_\_

Convexity \_\_\_\_\_

Test date \_\_\_\_\_

Witnessed by \_\_\_\_\_

Other Tests \_\_\_\_\_

Welder's name \_\_\_\_\_

Tests conducted by \_\_\_\_\_

Radiographic-ultrasonic examination

RT report no.: \_\_\_\_\_ Result \_\_\_\_\_

UT report no.: \_\_\_\_\_ Result \_\_\_\_\_

**FILLET WELD TEST RESULTS**

Minimum size multiple pass	Maximum size single pass
Macroetch	Macroetch
1. _____ 3. _____	1. _____ 3. _____
2. _____	2. _____

All-weld-metal tension test

Tensile strength, psi \_\_\_\_\_

Yield point/strength, psi \_\_\_\_\_

Elongation in 2 in., % \_\_\_\_\_

Laboratory test no. \_\_\_\_\_

Clock no. \_\_\_\_\_ Stamp no. \_\_\_\_\_

Laboratory \_\_\_\_\_

Test number \_\_\_\_\_

Per \_\_\_\_\_

We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in conformance with the requirements of Section 4 of AWS D1.1/D1.1M, (\_\_\_\_\_) Structural Welding Code—Steel.

Signed \_\_\_\_\_  
Manufacturer or Contractor

By \_\_\_\_\_

Title \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

Form E-1 (Back)

**Figura. 5.** Formato guía para Reportar la Calificación del Procedimiento (PQR)  
**Fuente.:** American National Standards Institute. AWS D1 COMMITTEE ON STRUCTURAL WELDING. Structural Welding Code Steel. AWS D1.1/D1.1M:2010. 18 ed. 550 N.W. LeJeune Road, Miami, Florida. American Welding Society, 2001. p.338.

# ANEXO C. SELECCIÓN DEL METAL DE APORTE NORMA AWS




## D1.1

**Tabla 3.1**  
**Metal de Base Precalificado—Combinaciones de Metales de Aporte (ver 3.3)**

Requerimientos de la Especificación de Acero		Mínima Resistencia a La Fluencia				Rango de Tracción		Requerimientos de Metal de Aporte		
		ksi	MPa	ksi	MPa	Proceso	Especificación de Electrodo AWS	Clasificación de Electrodo		
ASTM A 36	(≤3/4 pulg. [20 mm])	36	250	58-80	400-550					
ASTM A 53	Grado B	35	240	60 min.	415 min.	SMAW	A5.1	E60XX, E70XX		
ASTM A 106	Grado B	35	240	60 min.	415 min.		A5.5 <sup>e</sup>	E70XX-X		
ASTM A 131	Grados A, B, CS, D, DS, E	34	235	58-75	400-520		A5.17	F6XX-EXXX, F6XX-ECXXX, F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX		
ASTM A 139	Grado B	35	240	60 min.	414 min.		A5.23 <sup>e</sup>	F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX		
ASTM A 381	Grado Y35	35	240	60 min.	415 min.		A5.18	ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (Los electrodos con sufijo -GS deben ser excluidos)		
ASTM A 500	Grado A	33	230	45 min.	310 min.		A5.28 <sup>e</sup>	ER70S-XXX, E70C-XXX		
	Grado B	42	290	58 min.	400 min.		A5.20	E7XT-X, E7XT-XC, E7XT-XM (Los electrodos con el sufijo -2C, -2M, -3, -10, -13, -14, y -GS deben ser excluidos y los electrodos con el sufijo -11 debe ser excluidos para espesores mayores a 1/2 pulg [12 mm])		
	Grado C	46	315	62 min.	425 min.		A5.29 <sup>e</sup>	E6XTX-X, E6XTX-XC, E6XT-XM, E7XTX-X, E7XTX-XC, E7XTX-XM		
ASTM A 501	Grado 55	30	205	55-75	380-515					
ASTM A 516	Grado 60	32	220	60-80	415-550					
ASTM A 524	Grado I	35	240	60-85	415-586					
	Grado II	30	205	55-80	380-550					
ASTM A 573	Grado 65	35	240	65-77	450-530					
ASTM A 709	Grado 58	32	220	58-71	400-490					
ASTM A 1008 SS	Grado 36 (≤3/4 pulg. [20 mm])	36	250	58-80	400-550					
	Grado 30	30	205	45 min.	310 min.					
	Grado 33 Tipo I	33	230	48 min.	330 min.					
	Grado 40 Tipo I	40	275	52 min.	360 min.					
	Grado 30	30	205	49 min.	340 min.					
	Grado 33	33	230	52 min.	360 min.					
	Grado 36 Tipo I	36	250	53 min.	365 min.					
	Grado 40	40	275	55 min.	380 min.					
	Grado 45	45	310	60 min.	410 min.					
API 5L	Grado B	35	241	60	414					
	Grado X42	42	290	60	414					
ABS	Grados A, B, D, CS, DS	34	235	58-75	400-520					
	Grado E <sup>b</sup>	34	235	58-75	400-520					

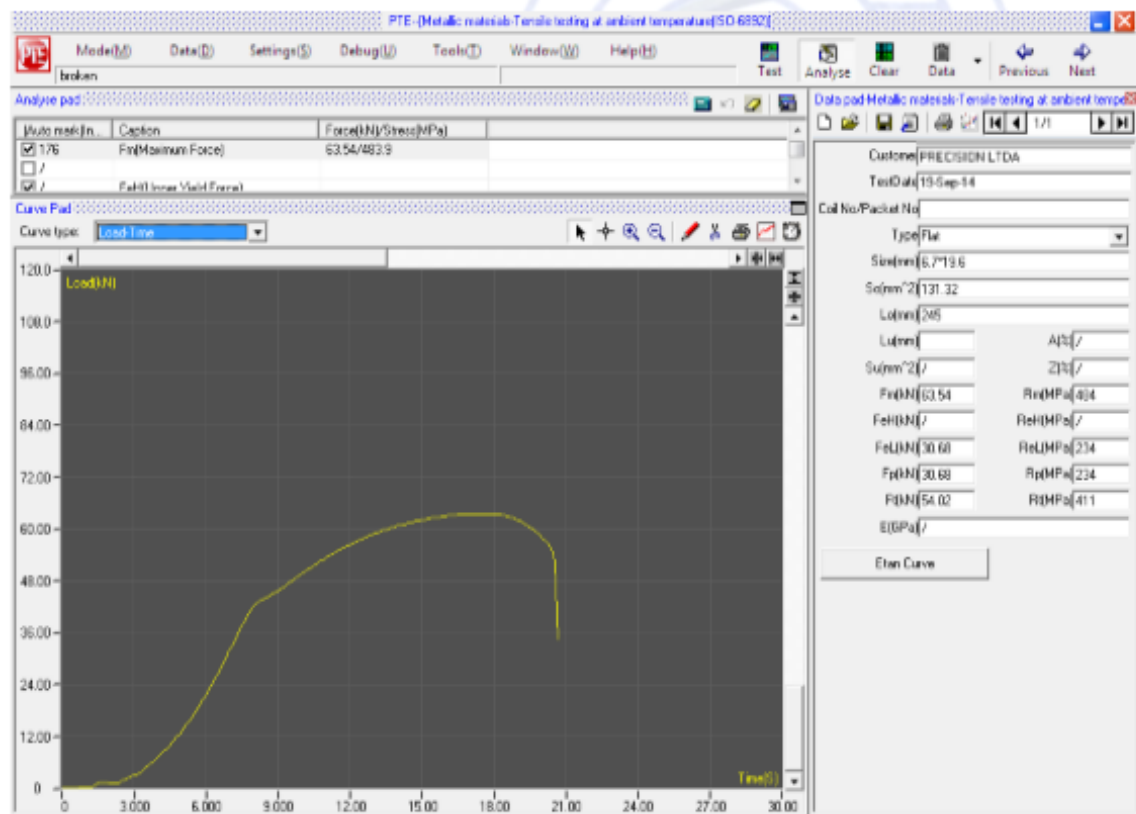
(Continuado)

## ANEXO D. RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN

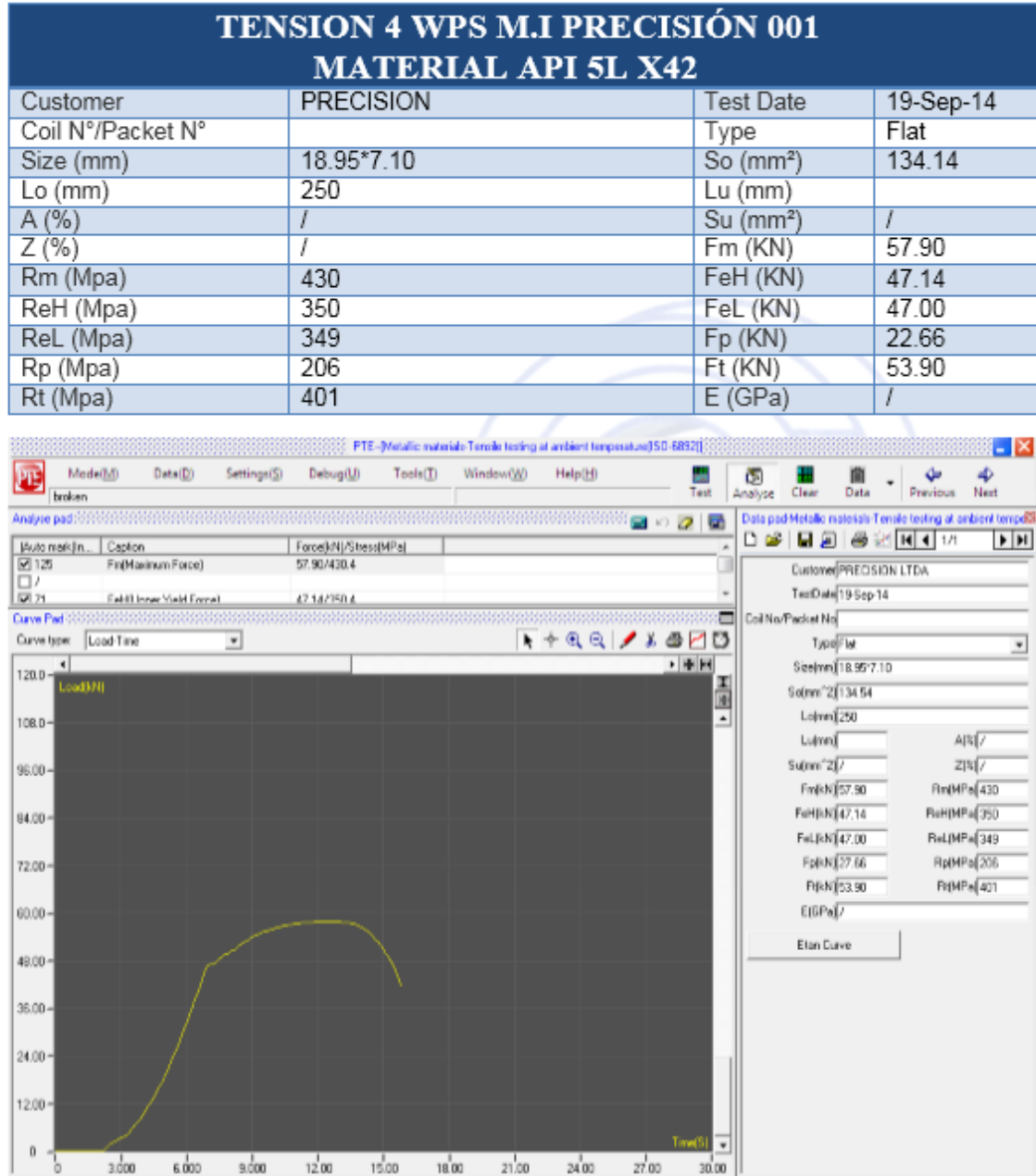
 <b>LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS</b> <b>Control Calidad y Montajes Ltda.</b> <small>CL 85 A No. 24 - 32. TELS.: 5333563 - 533 95 30            CELULAR: (310) 238 15 65 - (310) 8594150 BOGOTÁ D.C.            www.controlcalidadymontajes.com</small>	
<b>REPORTE DE ENSAYOS MECÁNICOS DE TENSION</b>	
CCMRP-F-044 Rev 0	
<b>CLIENTE:</b>	MECANIZADOS INDUSTRIALES PRECISIÓN Ltda
<b>DIRECCIÓN:</b>	CALLE 21B No 40 - 102
<b>TELÉFONO:</b>	(8) 7619067
<b>CIUDAD:</b>	DUITAMA
REPORTE N°: <b>T 112-14</b> PAGINA: 1 DE 1 ORDEN DE SERVICIO: <b>4756-1</b>	
<b>MATERIAL BASE</b>	
<b>ESPECIFICACIÓN:</b>	API
<b>TIPO:</b>	SL
<b>GRADO:</b>	X42
<b>DIAMETRO:</b>	6" Pulg
<b>WPS:</b>	M.I PRECISIÓN 001
<b>ESPESOR:</b>	7.11 mm
<b>FECHA DE INGRESO DEL MATERIAL DE ENSAYO</b> 17 de Septiembre de 2014	
<b>UNION SOLDADA</b>	
<b>PROCESO:</b>	SMAW
<b>TIPO DE PROCESO:</b>	MANUAL
<b>APORTE METALICO:</b>	E 6010 - E 7018
<b>TIPO DE JUNTA:</b>	A TOPE
<b>PROGRESION:</b>	ASCENDENTE
<b>POSICIÓN:</b>	6G
<b>NOMBRE DEL SOLDADOR:</b>	ALEXANDER KLINGER DIAZ
<b>ESTAMPE:</b>	A.K.D
<b>ENSAYO DE TENSION</b>	
<b>DOCUMENTOS DE REFERENCIA:</b>	ASTM E8 Standard test methods for tension testing of metallic materials. AWS B4.0 Standard method for mechanic testing weld.
<b>NORMA DEL ENSAYO:</b>	AWS D1.1 Structural Welding Code Steel
<b>FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO:</b>	19 de Septiembre de 2014
<b>INFORMACION DEL EQUIPO UTILIZADO PARA EL ENSAYO</b>	
<b>EQUIPO:</b>	PRENSA UNIVERSAL DE ENSAYOS
<b>MARCA:</b>	JINAN TESTING EQUIPMENT CO LTD
<b>SERIE N°:</b>	1112469
<b>FECHA DE CALIBRACIÓN:</b>	08 de julio de 2013
<b>CERTIFICADO N°:</b>	CFA-13-2236
<b>CALIBRADO POR:</b>	Quality Control Ltda.
<b>ENSAYO TENSION A UNIÓN SOLDADA</b>	
<b>DIMENSIONES INICIALES DE LAS PROBETAS</b>	<b>IDENTIFICACION</b>
LONGITUD TOTAL (mm):	T3: 245    T4: 250
ANCHO (mm):	T3: 19,6    T4: 18,95
ESPESOR EN EL MATERIAL BASE (mm):	T3: 6,7    T4: 7,1
ÁREA SECCIÓN TRANSVERSAL (mm²):	T3: 131,32    T4: 134,14
TEMPERATURA (°C):	T3: 19,1    T4: 19,1
	<b>IDENTIFICACION</b>
	<b>UBICACIÓN DE LA ROTURA</b>
<b>CARGA MAXIMA</b>	T3: 14284,36    T4: 13016,43
Lbf / KN	63,54    57,9
<b>ESFUERZO MAXIMO</b>	T3: 70198,24    T4: 62366,21
Psi / Mpa	484    430
<b>CARGA DE ROTURA</b>	T3: 12144,17    T4: 12117,2
Lbf / KN	54,02    53,9
<b>ESFUERZO DE ROTURA</b>	T3: 59610,49    T4: 58160,11
Psi / Mpa	411    401
RFS: ROMPE FUERA DE LA SOLDADURA    RS: ROMPE POR LA SOLDADURA    T: TENSION	
<b>OBSERVACIONES:</b>	
ENSAYO REALIZADO POR TECNICO DE LABORATORIO	
REVISADO Y EMITIDO POR	
	
	
<b>INSP. FRANKLIN SANDOVAL</b>	
<b>ING. JOSE MANUEL VILLAMIL</b>	
FECHA: 19 de Septiembre de 2014	
FECHA: 19 de Septiembre de 2014	
<small>FIN DE INFORME</small>	
<small>CCMRP-F-044 Rev 0</small>	

## ANEXO E. RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN

TENSION 3 WPS M.I PRECISIÓN 001			
MATERIAL API 5L X42			
Customer	PRECISION	Test Date	19-Sep-14
Coil N°/Packet N°		Type	Flat
Size (mm)	19.6*6.70	So (mm <sup>2</sup> )	131.32
Lo (mm)	245	Lu (mm)	
A (%)	/	Su (mm <sup>2</sup> )	/
Z (%)	/	Fm (KN)	63.54
Rm (Mpa)	484	FeH (KN)	/
ReH (Mpa)	/	FeL (KN)	30.68
ReL (Mpa)	234	Fp (KN)	30.68
Rp (Mpa)	234	Ft (KN)	54.02
Rt (Mpa)	411	E (GPa)	/



## ANEXO D. RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN



## ANEXO E. RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN

Bogotá D.C, Septiembre 19 de 2014

Señores:  
MARLON BECERRA  
Ciudad

ORDEN DE SERVICIO N° 4756-1

Ref. ENTREGA DE RESULTADOS WPS M.I PRECISIÓN 001

Según la información registrada en el informe anexo D 112 - 14 de 19 de Septiembre de 2014 emitido por LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS DE CONTROL CALIDAD Y MONTAJES LTDA. y después de evaluar su confiabilidad, según el CÓDIGO AWS D1.1 Structural Welding Code edición 2010, tenemos:

ENSAYO DE TENSION				
IDENTIFICACION DE LA PROBETA	CARGA MÁXIMA (lbf) / (KN)	ESFUERZO MÁXIMO (psi) / (Mpa)	CARGA DE ROTURA (lbf) / (KN)	ESFUERZO DE ROTURA (psi) / (Mpa)
T3	14284.36 / 63.54	70198.24 / 484	12144.17 / 54.02	59610.49 / 411
T4	13016.43 / 57.90	62366.21 / 430	12117.20 / 53.90	58160.11 / 401
T3 PRESENTA ROTURA FUERA DE LA SOLDADURA POR EL METAL BASE				
T4 PRESENTA ROTURA FUERA DE LA SOLDADURA POR EL METAL BASE				

**Nota:**




- > Declaramos que los resultados obtenidos en los ensayos reportados en este Informe están relacionados únicamente con las probetas que se han identificado y ensayado.
- > Este Informe no se debe reproducir sin autorización escrita por EL LABORATORIO DE ENSAYOS MECANICOS DE CONTROL CALIDAD Y MONTAJES LTDA.

Cordialmente:



Ing. Jose Manuel Villamil.  
INSPECTOR AWS – CWI

## ANEXO F. RESULTADOS DE ENSAYO DE DOBLEZ

 <b>LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS</b> <b>Control Calidad y Montajes Ltda.</b> CLL 85 A No. 24 - 32. TELS.: 5333563 - 533 95 30 CELULAR: (310) 238 15 65 - (310) 8594150 BOGOTÁ D.C. www.controlcalidadymontajes.com		
<b>REPORTE DE ENSAYOS MECÁNICOS DE DOBLEZ GUIADO</b>		
CCMRP-F-045 Rev 0		
<b>CLIENTE:</b> MECANIZADOS INDUSTRIALES PRECISIÓN Ltda <b>DIRECCIÓN:</b> CALLE 21B No 40 - 102 <b>TELÉFONO:</b> (8) 7619067 <b>CIUDAD:</b> DUITAMA	<b>REPORTE N°:</b> D 111-14 <b>PÁGINA:</b> 1 DE 1 <b>ORDEN DE SERVICIO:</b> 4756-1 <b>CANTIDAD DEL MATERIAL DE ENSAYO:</b> 4 PROBETAS	
MATERIAL BASE		
<b>ESPECIFICACIÓN:</b> API <b>TIPO:</b> 5L <b>GRADO:</b> X42	<b>DIÁMETRO:</b> 6" Pulg <b>WPS:</b> M.I PRECISIÓN 001 <b>ESPESOR:</b> 7.11 mm	
<b>FECHA DE INGRESO DEL MATERIAL DE ENSAYO</b> 17 de Septiembre de 2014		
UNION SOLDADA		
<b>PROCESO:</b> SMAW <b>TIPO DE PROCESO:</b> MANUAL <b>APORTE METÁLICO:</b> E 6010 - E 7018 <b>TIPO DE JUNTA:</b> A TOPE	<b>PROGRESIÓN:</b> ASCENDENTE <b>POSICIÓN:</b> 6G <b>NOMBRE DEL SOLDADOR:</b> ALEXANDER KLINGER DIAZ <b>ESTAMPE:</b> A.K.D	
ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO		
<b>DOCUMENTOS DE REFERENCIA:</b> ASTM E190 Standard test method for guided bend test for ductility of welds. AWS B4.0 Standard method for mechanic testing weld.		
<b>NORMA DEL ENSAYO:</b> AWS D1.1 Structural Welding Code Steel		
<b>FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO:</b> 19 de Septiembre de 2014		
INFORMACION DEL EQUIPO UTILIZADO PARA EL ENSAYO		
<b>EQUIPO:</b> MATRIZ ASME DOBLEZ GUIADO <b>MARCA:</b> NR <b>SERIE N°:</b> NR	<b>FECHA DE CALIBRACION:</b> 06 de Agosto de 2012 <b>CERTIFICADO N°:</b> 20872 <b>CALIBRADO POR:</b> Superintendencia de Industria y Comercio	
ENSAYO DOBLEZ UNIÓN SOLDADA		
DIMENSIONES DE LAS PROBETAS	IDENTIFICACION	
	DC3      DC4      DR3      DR4	
LONGITUD TOTAL (mm):	250      250      250      250	
ANCHO (mm):	38,1      38,1      38,1      38,1	
ESPESOR EN EL MATERIAL BASE (mm):	7,11      7,11      7,11      7,11	
TEMPERATURA (°C):	19,1      19,1      19,1      19,1	
RESULTADOS ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO		
IDENTIFICACION	OBSERVACIONES	RESULTADO
DC3	SIN INDICACIONES	OK
DC4	SIN INDICACIONES	OK
DR3	SIN INDICACIONES	OK
DR4	SIN INDICACIONES	OK
DC: DOBLEZ DE CARA      DR: DOBLEZ DE RAIZ      DL: DOBLEZ DE LADO		
OBSERVACIONES:		
ENSAYO REALIZADO POR TECNICO DE LABORATORIO		REVISADO Y EMITIDO POR
		
<b>INSP. FRANKLIN SANDOVAL</b>		<b>ING. JOSE MANUEL VILLAMIL</b>
<b>FECHA:</b> 19 de Septiembre de 2014		<b>FECHA:</b> 19 de Septiembre de 2014
FIN DE INFORME		CCMRP-F-045 Rev 0

## ANEXO G. RESULTADOS DE ENSAYO DE DOBLEZ

Bogotá D.C, Septiembre 19 de 2014

Señores:  
**MECANIZADOS INDUSTRIALES PRECISIÓN Ltda.**  
Ing. MARLON BECERRA  
Ciudad

ORDEN DE SERVICIO N° 4756-1

Ref. ENTREGA DE RESULTADOS WPS M.I PRECISIÓN 001

Según la información registrada en el informe anexo D 111 - 14 de 19 de Septiembre de 2014 emitido por **LABORATORIO DE ENSAYOS MECANICOS DE CONTROL CALIDAD Y MONTAJES LTDA** y después de evaluar su confiabilidad, según el **CODIGO AWS D1.1 Structural Welding Code** edición 2010, tenemos:

ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO		
IDENTIFICACION	OBSERVACIONES	RESULT ADO
DC3	SIN INDICACIONES	OK
DC4	SIN INDICACIONES	OK
DR3	SIN INDICACIONES	OK
DR4	SIN INDICACIONES	OK

**Nota:**

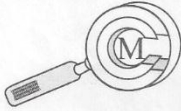

- > Declaramos que los resultados obtenidos en los ensayos reportados en este informe están relacionados únicamente con las probetas que se han identificado y ensayado.
- > Este informe no se debe reproducir sin autorización escrita por **EL LABORATORIO DE ENSAYOS MECANICOS DE CONTROL CALIDAD Y MONTAJES LTDA.**

Cordialmente:



**Ing. Jose Manuel Villamil.**  
**INSPECTOR AWS – CWI**

# ANEXO H. RESULTADO DE RADIOGRAFIA

REPORTE INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA						
<b>Control Calidad y Montajes Ltda.</b>  CALLE 85A N° 24-32 TELÉFONOS: 533 47 51 533 95 30 - 533 35 63 BOGOTÁ, D. C. E.N.D. Radiografía Industrial, Ultrasonido Partículas Magnéticas, Metalografía Aforo de Tanques, Pruebas de Vacío, Pruebas Hidrostáticas, Alivio de Esfuerzos, Consultoría, Interventoría MONTAJES INDUSTRIALES		EMPRESA	LUGAR	INFORME N°		
		Precisión	Bogotá	001		
		TRABAJO	O. TRABAJO N°		HOJA	
		WPS Precisión 001 W AKd proceso smaw	43001		1	
					DE 1	
					FECHA 19 Sept 2014	
		FUENTE	T. FOCAL	MATERIAL		
		IRAZ	3mm	A/C		
		ACTIVIDAD	ESPESOR DE PARED:		DIÁMETRO Ø	
		36.5	2ch 4.0		6"	
		DIST. FP	INDICADOR DE CALIDAD		NORMA DE INTERPRETACIÓN	
		6"	ASTM		AWS D1.1	
TIPO PELÍCULA		T. EXPOSIC MIN	SEG	N° MPO		
Structurix P7		20	13		Hilos	
TAMANO		TÉCNICA DE EXPOSICIÓN		TÉCNICO		
70mm		Eps / Ups		Icon en7		
N° PLACAS		N° UNIONES		CONTROL CALIDAD INTERNO		
	W	JUNTA	PLACA N°	INTERPRETACIÓN	CALIFICACIÓN	OBSERVACIONES
1	AKd	1	0-1		OK	
2			1-2		OK	
3			2-0		OK	
4						
5						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
LISTA DE DEFECTOS DE SOLDADURA						
PI- Penetración inadecuada (Inadecuaded Penetration) FI- Fusión incompleta de la raíz. (Incomplete Fusion) Pht- Penetración inadecuada debido a HI Low (Inadecuaded Penetration dou HI Low) HI- HI-Low-desalineamiento. CI- Concavidad interna (internal Concavity) IP- Incompleta Fusión entre pases (Inc. Fusión due to pick lap)		Q- Quemones o cráteres (Bum -Through) IEI- Inclusiones de escoria elongadas (Wagon Tracks) IEA- Inclusiones de escoria aisladas (Isolated slag inclusions) PAG- Porosidad agrupada PA- Porosidad aislada		PT- Porosidad Tubular (Wormhole) PV- Porosidad alargada vermicular (Hollow Bead) GL- Grietas Longitudinales (Cracks) GT- Grietas Transversales (Cracks) SI- Socavado Interno (Under Cutting) SE- Socavado Externo (Linder Cutting) A- Acumulación de discontinuidades O- Otros defectos (Pipe defects)		
Por Control Calidad y Montaje Ltda.  NIT: 830.050.353-1		Por la Empresa		Por la Interventoría		

CCMRP-F002-REV.0

# ANEXO I. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS MECÁNICOS



Ingeniería de Control de Calidad  
División Laboratorio

**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN**



NTC ISO/IEC 17025:2005

F-LAF-09-12

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CERTIFICATE OF CALIBRATION

**CERTIFICADO No**  
**LABORATORIO DE**

**CFA-13-2236**  
**FUERZA**

LABORATORY

**DIRECCIÓN**

Cra. 52 No. 64A-62 Bogotá - Colombia

**TELÉFONO**

57-1 2315397 - 609 77 12

ADDRESS

**SOLICITANTE**

CUSTOMER

**CONTROL CALIDAD Y MONTAJES**

CALLE 38 SUR Nº 72 H - 88 CARVAJAL  
BOGOTÁ

**INSTRUMENTO**

MACHINE

**MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS**

**FABRICANTE**

MANUFACTURER

**JINAN PRECISION TESTING**

**MODELO Y SERIE**

MODEL SERIAL NUMBER

**12-2012 - 1112469**

**TRANSDUCTOR DE PRESION**

LOAD CELL

**N.I - N.I**

**ESCALA CALIBRADA**

SCALE CALIBRATE

**600,00 kN**

**CLASE**

CLASS

**1**

**FECHA DE CALIBRACIÓN**

DATE OF CALIBRATION

**2013/07/08**

**FECHA DE EMISIÓN**

DATE OF ISSUE

**2013/07/09**

**UBICACIÓN DEL OBJETO DE PRUEBA**

LOCATION OF THE OBJECT OF IT PROVES

**PLANTA**

**NÚMERO DE PÁGINAS**

**OCHO (8)**

**Firma(s) Autorizada(s)**

Authorized signature/s

Jefe de Laboratorio

Ing. Javier González

Este certificado no atribuye al equipo otras características que las mostradas por los datos aquí contenidos. Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se efectúan las mediciones y poseen trazabilidad a patrones bien sean nacionales o extranjeros de institutos de metrología o empresas reconocidas. No se permite la reproducción parcial de este certificado. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.  
This certificate does not attribute to the instrument other characteristics than the showed in the present data, the results are referred to the conditions and moment in which the measurements are taken and have traceability to national standards or foreign of metrological institutes or recognized companies. Partial reproduction of this document is not allowed. The laboratory that issues this certificate have not responsibility for damages derived for the bad use of the calibrated instruments.

Carrera 52 No. 64A - 62 Teléfonos: 609 7712 - 231 5397 - 231 9328  
www.quality-vicclab.com Bogotá D.C. - Colombia

# ANEXO J CERTIFICADO DE MAQUINA DE ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO.

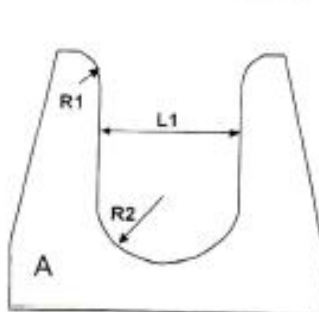
Industria y Comercio  
SUPERINTENDENCIA  
GRUPO DE TRABAJO DE METROLOGIA

CERTIFICADO DE CALIBRACION  
Laboratorio de Metrología Dimensional

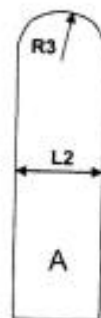
Número 20872  
Página 2 de 3

1. TRABAJO REALIZADO : MEDICIÓN DE CINCO COTAS
2. NUMERO DE PRUEBA : 50 022 11 08
3. METODO DE MEDICION : Medición directa efectuando series de mediciones de cada cota en los dos elementos medidos utilizando como patrón la máquina de medición por coordenadas Brown & Sharpe de referencia Global Performance.
4. RESULTADOS DE CALIBRACION: Los elementos medidos se inspeccionaron visualmente observándose que presentan manchas. Luego se llevaron a cabo las series de mediciones para determinar las longitudes promedio.

## MATRIZ ASME DOBLEZ GUIADO



R1 promedio = 17,618 mm  
R2 promedio = 30,219 mm  
L1 promedio = 60,432 mm



R3 promedio = 18,907 mm  
L2 promedio = 37,918 mm

12/4

**ANEXO K. CERTIFICADO DE MAQUINA DE ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO.**

Industria y Comercio  
SUPERINTENDENCIA  
GRUPO DE TRABAJO DE METROLOGIA

CERTIFICADO DE CALIBRACION  
Laboratorio de Metrología Dimensional

Número 20872  
Página 3 de 3

5. **TRAZABILIDAD:** El Grupo de Trabajo de Metrología asegura el mantenimiento de la trazabilidad de los patrones de trabajo utilizados en estas mediciones. El patrón utilizado corresponde a la máquina de medición por coordenadas Brown & Sharpe referencia Global Performance calibrada por Hexagon Metrology de Brasil con trazabilidad a INMETRO con certificado de calibración No. DEA 239-10 del 14 de julio de 2010.

6. **OBSERVACIONES:**

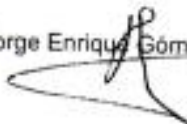
1. La temperatura de referencia es de 20 grados Celsius.
2. La incertidumbre de medición es de 0,065 mm estimada con un factor de cobertura  $k = 2$  para un nivel de confianza de 95%.
3. Los resultados de medición se aplican solamente para el estado de los elementos medidos en el momento de la prueba.

Bogotá D.C., 2011-08-05  
FIRMA(S) AUTORIZADA(S)  
Authorized Signature(s)

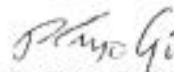
Elaboró:

Revisó:


Téc. Jorge Enrique Gómez Herrera




Ing. Victor Hugo Gil Gil



## ANEXO L. FICHA TÉCNICA EQUIPO DE SOLDADURA SMAW

 <b>MECANIZADOS INDUSTRIALES PRECISION LTDA.</b>	<b>PROCESO DE PRODUCCIÓN</b>	<b>APROBO:</b> Coordinador de Producción
	FICHA TÉCNICA - EQUIPO DE SOLDADURA PROCESO SMAW TIG (S1-102)	<b>VERSIÓN VIGENTE:</b> Diciembre 10 de 2011

	<b>EQUIPO:</b> EQUIPO PROCESO SMAW Y TIG	<b>CÓDIGO:</b> S1-102
	<b>MARCA:</b> FRONIUS	<b>PESO:</b> 4,7 kg
	<b>TIPO:</b> PROCESO TIG	<b>PROVEEDOR:</b> DISGASES
	<b>FABRICANTE:</b> FRONIUS INTERNATIONAL GMBH	
	<b>CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO</b>	
Tensión de red: 230 V	Potencia aparente con:	
Fusibles (de acción lenta): 16A	30% t.e.*: 0,9kVA 60% t.e.*: 4,8 kVA 100% t.e.*: 3,6 kVA	
Cos phi: (con 140 A): 0,99	Tensión de marcha en vacío	
Grado de rendimiento (con 80 A): 86,8%	Versión estándar: 92 V Versión 50V: 50V TP 1500 VRD, TP1500 TIG VRD: 12 V	
<b>Campo de corriente de soldeo con:</b> 10 mlb/40°C (104°F) 25% t.e.*: 150 A 10 mlb/40°C (104°F) 30% t.e.*: 140 A 10 mlb/40°C (104°F) 60% t.e.*: 100 A 10 mlb/40°C (104°F) 100 % t.e.*: 80 A *tiempo de encendido	Tensión de trabajo normalizada	
	Electrodo: 20,4 - 25,6 V WIG: 10,4 - 16 V	

MOTOR(M)								
M/L/M R/L/S/M	MARCA SERIE	UBICACIÓN	PLANO	POTENCIA (KW)	TENSION (V)	CORRIENTE (A)	RPM	FRECUENCIA (Hz)
M1		Ventilador			220			60

**DESCRIPCIÓN TÉCNICA** El proceso de soldadura TIG, se produce mediante un arco eléctrico, formado por el contacto del tungsteno, con el material base a soldar. Se puede hacer fusión con aporte o sin aporte dependiendo de la separación y espesor del material. También es necesaria la presencia de un gas protector (argón o nitrógeno) para proteger el proceso de soldadura.