

**EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA DE MUESTRAS SOLDADAS CON  
DEFECTOLOGÍA TÍPICA PARA SU USO EN LA ENSEÑANZA DE LOS END**

**LYDIA VIVIANA CANDELA ORDUZ  
ÁNGELA MARÍA ESPINOSA CEBALLOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD FISICO QUIMICAS  
ESCUELA INGENIERIA METALURGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
BUCARAMANGA  
2015**

**EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA DE MUESTRAS SOLDADAS CON  
DEFECTOLOGÍA TÍPICA PARA SU USO EN LA ENSEÑANZA DE LOS END**

**LYDIA VIVIANA CANDELA ORDUZ  
ÁNGELA MARÍA ESPINOSA CEBALLOS**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Metalúrgico**

**DIRECTOR:**

**MSc. LUZ AMPARO QUINTERO ORTIZ  
INGENIERA METALÚRGICA – UIS**

**CODIRECTOR:**

**MSc. JULIÁN ORLANDO HERRERA ORTÍZ  
INGENIERO METALÚRGICO - UIS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD FISICO QUIMICAS  
ESCUELA INGENIERIA METALURGICA Y CIENCIA DE MATERIALES  
BUCARAMANGA**

**2015**

## DEDICATORIA

*Este logro primero que todo se lo dedico a Dios por darme la oportunidad de terminar este proceso con éxito, por su compañía, su infinito amor y su gran misericordia.*

*A mis padres, Camilo Candela y Gladyz Orduz, por ser el apoyo incondicional en la realización de todos y cada uno de mis sueños, por sus consejos, sus esfuerzos por darme lo mejor y por inculcarme valores, principios y convicciones sólidas.  
A mis hermanos, Edinson y Dario Candela, por ser un motivo de inspiración para cada día ser mejor.*

*A mi cuñada, Jennifer Rodriguez, por sus consejos y apoyo.  
A mi hermoso Sobrino, Samuel Candela, por ser una gran motivación en mi diario vivir.*

*A mi mejor amigo, Javier Ordoñez, por su presencia, ayuda, paciencia, consejos y apoyo incondicional en la realización de mis proyectos.*

*A mis amigos, Angélica, Cindy, Brayan, Aura, Yuri, Lineht, Luz Dary, Anderson, German, Albert y Aleicer porque siempre creyeron en mí.*

*Y por último y no menos importante, dedico esto a personas que de una u otra manera estuvieron conmigo en esta etapa de formación profesional: a David, Aylen, Edinson, Daniel, Maye, Merly, John y Tatiana, gracias por brindarme una verdadera amistad.*

*Viviana Candela Orduz*

## DEDICATORIA

*A Dios y a la Virgen por su eterna y constante compañía. Por tejer con su mágicos  
y misteriosos hilos un camino sólido y bendecido reforzado con implacables  
convicciones.*

*A mis padres por ser una fuente inagotable de experiencia y fortaleza.*

*A mi hermano, un hombre que nunca estuvo ausente.*

*ANGELA MARIA ESPINOSA CEBALLOS*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la universidad Industrial de Santander por la oportunidad que nos dio de ser parte de esta comunidad y brindarnos las herramientas necesarias para formarnos como profesionales.

Al Centro Industrial de Mantenimiento Integral (CIMI) - SENA ubicado en el municipio de Girón-Santander por contribuir con sus instalaciones para la realización de una parte importante de este trabajo de investigación.

A Libardo Lagos, Instructor en soldadura-CIMI, por su colaboración y guía vital en la elaboración de los cordones de soldadura.

A nuestra directora de proyecto M. Sc. Luz Amparo Quintero Ortiz y codirector MSc. Julián Orlando Herrera Ortiz por compartir sus conocimientos para el respectivo desarrollo de esta investigación.

A los técnicos Mario Navarrete, Juan Domingo, Ambrosio Carrillo por su ayuda, colaboración y paciencia durante esta etapa.

A la escuela De Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales por ser un gran apoyo en este proceso de aprendizaje.

## RESUMEN

**TÍTULO: EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA DE MUESTRAS SOLDADAS CON DEFECTOLOGÍA TÍPICA PARA SU USO EN LA ENSEÑANZA DE LOS END\***

**AUTORES:** CANDELA ORDUZ, Lydia Viviana.  
ESPINOSA CEBALLOS, Ángela María\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Industrias, Ensayos No Destructivos, Cupones, soldadura, Defectología.

### **DESCRIPCIÓN:**

En los últimos años se ha incrementado en las diferentes industrias de nuestro país la necesidad de tener personas calificadas con un amplio conocimiento y con experiencia para la realización de Ensayos No Destructivos en las uniones de estructuras metálicas. Estas personas deben estar capacitadas tanto en la teoría como en la práctica. Para el entrenamiento práctico se acude a cupones con defectología típica inducida en uniones metálicas soldadas los cuales se analizan realizando diferentes tipos de Ensayos No Destructivos. Estos cupones se encuentran disponibles con un alto costo en el mercado.

A partir de un estudio detallado de la defectología típica presente en cordones de soldadura en uniones metálicas, se diseñaron y elaboraron muestras soldadas tanto planas como tubulares con defectos seleccionados inducidos y se llevó a cabo su respectiva evaluación por medio de algunos ensayos como inspección Teniendo en cuenta el factor económico en la obtención de cada uno de estos cupones y la necesidad de estos que tiene la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales de la Universidad Industrial de Santander, para la enseñanza de la asignatura de Ensayos No Destructivos, se desarrolló este trabajo de investigación visual, partículas magnéticas, radiografía industrial y ultrasonido, estas se realizaron ya que todas la técnicas de Ensayos No Destructivos son complementarias entre sí a la hora de inspeccionar un cordón de soldadura en uniones metálicas y de esta manera poder brindar un informe completo sobre la respectiva evaluación.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Directora MS.C Luz Amparo Quintero Ortiz

## ABSTRACT

**TITLE: NO DESTRUCTIVE EVALUATION OF SAMPLES WITH WELDED DEFECTOLOGY TYPICAL FOR USE IN TEACHING THE END\*.**

**RESEARCHERS:** CANDELA ORDUZ, Lydia Viviana\*\*  
ESPINOSA CEBALLOS, Ángela María.

**KEY WORDS:** Industries, nondestructive testing, coupons, welding, defectology

### **DESCRIPCIÓN:**

In the latest years it has increased in the different industries of our country, the needing of having qualified people with a great knowledge and experience to perform Non Destructive Trial at the metal structures junctions. These people should be trained in both ways, theory and practice. For practical training we turn to coupons with typical defectology which is induced in metal welded joints which are analyzed at different types of Non Destructive Trial. These coupons are available at a high cost in the market.

From a detailed study of the typical defectology present in welds in metal joints were designed and made welded samples flat and tubular with selected defects induced and it took us at its respective evaluation through some trials as inspection having into account the economic factor in getting each of these coupons and the needing for these ones that the School of Metallurgical Engineering and Materials Science of the Universidad Industrial de Santander has. For teaching the subject of Non Destructive Trial , it was developed this visual research work , magnetic particles, industrial radiography and ultrasound , these were done since all the Nondestructive Trials techniques are complementary to each other when inspecting a weld on metal joints and thus be able to provide a full report on their own assessments .

---

\* Work Degree

\*\* Faculty of Engineering Physicochemical, School of Metallurgical Engineering and Materials Science, Director Ms.C Luz Amparo Ortiz Quintero

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	17
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	17
1.2. OBJETIVOS .....	18
1.2.1. Objetivo general .....	18
1.2.2. Objetivos específicos.....	18
2. FUNDAMENTOS TEÓRICO .....	19
2.1. PROCESOS DE SOLDADURA .....	19
2.1.1 Proceso de soldadura por Arco Eléctrico. ....	19
2.2. DEFECTOLOGÍA DEL CORDÓN DE SOLDADURA .....	21
2.3. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS:.....	22
2.4 NORMAS TECNICAS.....	23
2.4.1 AWS (Americam Welding Society) .....	23
2.4.2 API (Americam Petroleum Institute): .....	26
3. METODOLOGÍA .....	29
3.1. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.....	29
3.2. DISEÑO DE LAS PROBETAS. ....	30
3.2.1 Revisión de Normas Técnicas. ....	30
3.2.2. Selección de materiales .....	30
3.2.3. Diseño de las muestras. ....	31
3.3. ELABORACIÓN DE LOS PATRONES. ....	34

3.3.1. WPS de patrón plano EC-P4X y su réplica EC-P4Y.....	34
3.4. CARACTERIZACIÓN DE PATRONES .....	36
3.4.1. Inspección Visual (IV).....	36
3.4.2. Radiografía Industrial (RI). .....	36
3.4.3 Ultrasonido (UT): .....	39
3.5. ANALISIS DE RESULTADOS .....	40
3.6. INFORME FINAL.....	40
4. ANALISIS DE RESULTADOS .....	41
4.1. DISEÑO DE LAS PROBETAS. ....	41
4.2. ELABORACIÓN DE LOS PATRONES. ....	44
4.3. CARACTERIZACIÓN DE PATRONES .....	46
4.3.1 Resultados Inspección Visual (IV).....	46
4.3.2 Resultados Radiografía Industrial (RI). ....	53
4.3.3 Resultados Ultrasonido (UT) .....	63
5. CONCLUSIONES .....	67
6. RECOMENDACIONES.....	69
RREFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	70
BIBLIOGRAFIA.....	72
ANEXOS .....	74

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características básicas de los procesos de soldadura más comunes .....	20
Tabla 2. Defectología típica generada en procesos de soldadura [8].....	23
Tabla 3. Técnicas No Destructivas más Utilizadas en la Inspección de Soldaduras [9] .....	25
Tabla 4. Criterios de Aceptación y Rechazo - AWS D1.1 [7].....	27
Tabla 5. Criterios de Aceptación y Rechazo - API 1104 [11].....	28
Tabla 6. Especificaciones del electrodo E6010 y E7018 .....	31
Tabla 7 Distribución de defectos en patrones planos y tubulares .....	33
Tabla 8. Características básicas de los patrones planos y END aplicadas .....	43
Tabla 9. Evaluación de Defectos Superficiales, Patrones planos-AWS D1.1.....	47
Tabla 10- Evaluación de defectos superficiales, Patrones Tubulares- API 1104 ...	51
Tabla 11. Registro de Densidad y Calidad de la Películas Radiográficas .....	54
Tabla 12. Evaluación de Radiografías, Patrones Planos - Norma AWS D1.1.....	55
Tabla 13. Evaluación de Radiografías, Patrones tubulares-Norma API 1104.....	60
Tabla 14. Registro resultados ultrasonido, patrones planos .....	65
Tabla 15 Registro ultrasonido, patrones tubulares .....	66

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de los defectos en los cordones de soldadura .....	22
Figura 2. Esquema de Metodología empleada .....	29
Figura 3. Dimensiones de Muestras. (a) Placa. (b) Tubería .....	32
Figura 4. Diseño de la Junta.....	32
Figura 5. Defectos seleccionados y número de Patrones a realizar.....	33
Figura 7. Registro fotográfica del barrido en patrones planos y tubulares .....	39
Figura 8. Planos preliminares patrones planos .....	41
Figura 9. Planos preliminares patrones tubulares.....	42
Figura 10. Registro fotográfico de algunos patrones planos y tubulares.....	45
Figura 11. Registro Fotográfico, Partículas Magnéticas .....	49
Figura 12. Registro Fotográfico, Pruebas UT.....	63

## LISTA DE ANEXOS

Anexos A. Requisitos de calidad de soldaduras, Discontinuidades RI para estructuras planas cargas estáticamente .....	74
Anexos B. WPS patrones planos. ....	75
Anexos C. WPS patrones tubulares .....	77
Anexos D. Radiografías en tamaño original de patrones planos y tubulares .....	79

## INTRODUCCIÓN

En las diferentes industrias Colombianas ha aumentado la demanda de personal capacitado para inspeccionar las uniones soldadas de estructuras metálicas presentes en instalaciones o en la misma infraestructura de las empresas, con el fin de garantizar la calidad y la seguridad de éstas.

Debido a lo anterior, se ha visto la necesidad de capacitar personal en la inspección de estructuras metálicas soldadas empleando técnicas de ensayos no destructivos, las cuales permiten evaluar las instalaciones, equipos y materiales identificando discontinuidades oportunamente previniendo fallas tempranas.

Como respuesta a esta necesidad, en la actualidad se pueden encontrar empresas e instituciones que se encargan de capacitar personal, las cuales cuentan con instructores, instalaciones, equipos y patrones con defectología controlada, todo esto para brindar un entrenamiento adecuado.

La Escuela de Ingeniería Metalúrgica preocupada por mejorar los procesos de formación en el área de Ensayos No Destructivos ha decidido realizar proyectos de investigación para la elaboración de patrones con defectología inducida para ser empleada en sus labores de capacitación de personal, como es el caso del presente proyecto.

## **1. GENERALIDADES DEL PROYECTO**

### **1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

En la actualidad, en Colombia se ha potencializado el área de Ensayos No Destructivos en diferentes industrias, y surge la necesidad de tener dentro de las plantas personal calificado para evaluar condiciones generales y específicas, en uniones soldadas en diferentes estructuras metálicas.

Para esto, se acude a capacitaciones para inspectores en uniones soldadas, donde se forman personas tanto en la teoría como en la práctica. En la respectiva enseñanza de ensayos no destructivos se inspeccionan diferentes tipos de cupones con defectología inducida, los cuales contribuyen a la formación de personal al contar con muestras cercanas a las obtenidas en labores industriales. Estos patrones son variados y aunque se consigue en el mercado son relativamente costosos ya que en muchos casos deben ser importados.

Teniendo en cuenta la importancia y la necesidad de contar con los cupones o probetas para la enseñanza en la identificación de la defectología en piezas con uniones soldadas para la asignatura de Ensayos No Destructivos en la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, se ha propuesto el implementar una metodología donde se diseñe y se elabore este tipo de herramientas fundamentales, que permitan cumplir con el objetivo académico trazado.

## **1.2. OBJETIVOS**

**1.2.1. Objetivo general.** Hacer evaluación no destructiva de muestras soldadas con defectología típica para su uso en la enseñanza de los ensayos no destructivos.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

1. Diseñar muestras soldadas con defectología típica seleccionada teniendo en cuenta los criterios establecidos en las normas técnicas.
2. Elaborar las muestras soldadas bajo las especificaciones del diseño establecido.
3. Caracterizar la defectología de las muestras soldadas fabricadas por medio de inspección visual, radiografía y ultrasonido.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICO

### 2.1. PROCESOS DE SOLDADURA

Los procesos de soldadura consisten en la unión de metales por medio de fusión localizada, éstos se dividen en dos grupos, el primero se le conoce como soldadura por fusión la cual consiste en la fusión del material base con o sin aporte de material y el segundo grupo denominado soldadura en estado sólido, ésta produce la fusión por medio de presión o calor sin fundir el metal base en algunos casos aportando metal a la unión.

**2.1.1 Proceso de soldadura por Arco Eléctrico.** Este proceso de soldadura se le denomina de esta manera ya que utiliza un arco eléctrico entre el metal base y un electrodo para obtener la fusión y por ende la unión entre metales. Es fundamental para este tipo de soldadura que haya una excelente penetración es por esto que se debe tener especial cuidado en la longitud del arco eléctrico, esta distancia comprende desde el inicio de la punta del electrodo hasta la superficie del baño fundido o charco, si la distancia es muy corta se va a presentar una penetración excesiva hasta llegar a una perforación del material y si la distancia es muy larga se presenta una pérdida de calor, necesario para la fusión.

Por lo general, todos los procesos que utilizan Arco eléctrico poseen algún tipo de protección, de tal forma que el metal en la soldadura no reaccione con el oxígeno, nitrógeno o hidrogeno que se encuentran en el aire del ambiente en el que se está trabajando, este tipo de protección por lo general son gases inertes como helio, argón o una mezcla de ambos, también se puede tener como medio de protección fundentes, sustancias que evitan la formación de óxidos; éstos se funden y se convierten en escoria líquida la cual protege de cualquier contaminación. El objetivo

de los gases o fundente es brindar una atmosfera protectora para el arco eléctrico, la punta del electrodo y el charco fundido. [1]

Entre los procesos por arco se encuentran el SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) y el GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*). A continuación en la tabla 1 se presentan las características básicas de estos procesos de soldadura [2].

Tabla 1. Características básicas de los procesos de soldadura más comunes

	SMAW	GTAW	GMAW
DEFINICIÓN	Proceso en el cual se emplea una varilla metálica revestida (electrodo) consumible, donde el recubrimiento sirve como protector y desoxidante del metal fundido. La fusión del electrodo se debe al arco formado entre éste y el metal base. [8]	Proceso de soldadura que emplea un electrodo de tungsteno, no consumible, en el cual se utiliza un arco eléctrico entre la pieza a soldar y dicho electrodo. El electrodo, el arco y el área que rodea al baño de fusión, están protegidos de la atmósfera por un gas inerte o una mezcla de gases inertes. Si es necesario aportar material de relleno, debe de hacerse desde un lado del baño de fusión.	Proceso en el que un electrodo metálico alimentado continuamente (cables) en contacto con el metal de base y produce calor. El arco está blindado por un gas inerte. [3]
EQUIPO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fuente de Potencia.</li> <li>- Cables de Circuito de Soldadura.</li> <li>- Porta electrodo.</li> <li>- Tenaza del cable de masa.</li> <li>- Electrodo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fuente de Potencia.</li> <li>- Suministro de Gas con controles.</li> <li>- Mangueras.</li> <li>- Cable de Masa con Pinza.</li> <li>- Antorcha para soldar.</li> <li>- Electrodo de Tungsteno.</li> <li>- Alambres de Aporte (Si se requieren).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fuente de alimentación de corriente directa.</li> <li>- Electrodo o controlador de alimentación de alambre.</li> <li>- Conjunto del rodillo de accionamiento del alambre.</li> <li>- Mordazas manuales de pistola para el cable de masa.</li> <li>- Carrete de alambre.</li> </ul>
TIPO DE ELECTRODO	Electrodo recubierto: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Celulósico</li> <li>- Rutílico</li> <li>- Ácido</li> <li>- Básico</li> </ul>	Electrodo de Tungsteno con protección gaseosa.	Alambre desnudo con protección gaseosa.

<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipo menos complejo, portátil y menos costoso</li> <li>- La protección procede del electrodo revestido así como del metal de aporte</li> <li>- Se puede emplear en cualquier posición tanto en locaciones abiertas como cerradas.</li> <li>- Aplicable a la mayoría de aleaciones.</li> <li>- El gas de protección protege el cordón de contaminación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilita soldaduras en lugares de difícil acceso.</li> <li>- Soldaduras claras, brillantes y con óptimo acabado.</li> <li>- Versátil.</li> <li>- Poca generación de humo.</li> <li>- Óptima resistencia.</li> <li>- No forma escoria.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Soldadura en todas las posiciones.</li> <li>- Ausencia de escoria.</li> <li>- Buen acabado.</li> <li>- Poca formación de gases contaminantes.</li> <li>- Alta productividad.</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El proceso es manual. Requiere de un mayor grado de preparación de los soldadores.</li> <li>- Debe cambiarse de electrodo al consumirse y se deja una colilla del electrodo.</li> <li>- No es un proceso continuo.</li> <li>- La tasa de deposición es baja ya que el electrodo debe consumirse hasta una longitud mínima.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flujo continuo de gas.</li> <li>- Mano de obra especializada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipo complejo, costoso y difícil de transportar.</li> <li>- No usable en lugares de difícil acceso.</li> <li>- El área de trabajo debe estar cerrada para proteger el arco.</li> <li>- Niveles altos de calor radiado.</li> </ul>
<b>APLICACIONES</b>	<p>Para casi todo tipo de metales.</p>	<p>Soldadura de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aceros: al carbono, aleados, inoxidable, de alta resistencia.</li> <li>- Metales refractarios.</li> <li>- Aleaciones: de aluminio, de berilio, de cobre, de magnesio, de níquel, de titanio y de circonio.</li> </ul>	<p>Soldadura de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aceros: al carbono, de baja aleación, inoxidable, de alta resistencia, de aluminio (series 1000, 3000, 5000 y 6000), de cobre y de magnesio.</li> </ul>

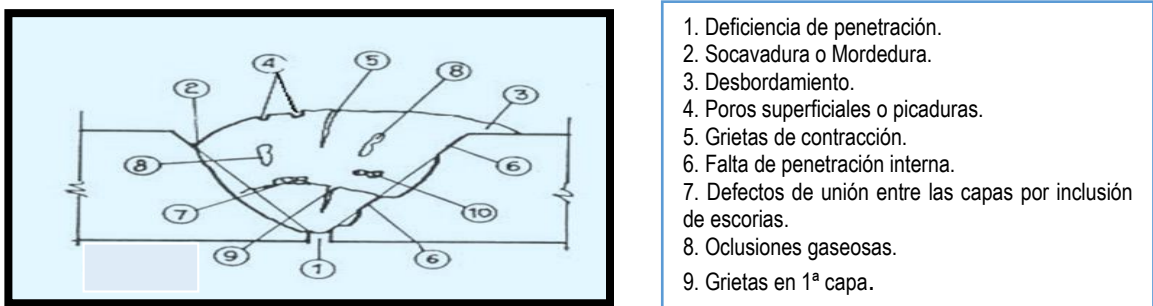
## 2.2. DEFECTOLOGÍA DEL CORDÓN DE SOLDADURA

En la figura 1 se muestra el esquema de la defectología típica obtenida al cometer múltiples errores en la ejecución del proceso de soldadura, los cuales se describen con detalle en la tabla 2.

Cuando se realizan los procesos de soldadura es muy posible que ante un incorrecto manejo de las variables del proceso se produzcan defectos tales como grietas, poros, rechupes, etc., que pueden presentarse en la superficie y ser identificados a simple vista, o al interior del material depositado y en este caso puede requerir de un método o técnica auxiliar, que generalmente es un Ensayo No Destructivo (END).

A continuación en la Tabla 2 se presenta un resumen de la defectología típica generada en los principales procesos de soldadura, las causas asociadas y los ensayos no destructivos recomendables para su detección.

Figura 1. Esquema de los defectos en los cordones de soldadura



1. Deficiencia de penetración.
2. Socavadura o Mordedura.
3. Desbordamiento.
4. Poros superficiales o picaduras.
5. Grietas de contracción.
6. Falta de penetración interna.
7. Defectos de unión entre las capas por inclusión de escorias.
8. Oclusiones gaseosas.
9. Grietas en 1ª capa.

Fuente: GARCIA ARANDA, VICENTE. Medios de unión de estructuras metálicas (II) [4]

### 2.3. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS:

Los ensayos no destructivos (END) son procedimientos para determinar la calidad de un material o una pieza en particular en servicio, sin alterar su estructura o propiedades, estas técnicas son comúnmente utilizadas para evaluar las irregularidades o discontinuidades presentes en los materiales [5]. En la tabla 3 se presentan características básicas de algunas técnicas no destructivas empleadas en la inspección de uniones soldadas [6].

## 2.4 NORMAS TECNICAS

En la actualidad todo tipo de proceso independientemente del área se encuentra estandarizado por normas técnicas aplicables tanto nacionales como internacionales, los procesos de soldadura no son la excepción, existen diferentes códigos y/o normas que rigen todo en cuanto al diseño, fabricación de los cordones de soldadura y su respectiva inspección por medio de ensayos destructivos y no destructivos evaluados con criterios de aceptación y rechazo.

**2.4.1 AWS (Americam Welding Society):** El código AWS D1.1 en la sección 6 contiene los criterios para las calificaciones y responsabilidades de los Inspectores, los criterios de aceptación para la producción de soldaduras y los procedimientos oficiales para realizar la inspección visual y los ensayos no destructivos NDT (Nondestructive Testing) [7]

Tabla 2. Defectología típica generada en procesos de soldadura [8]

DISCONTINUIDAD	DEFINICIÓN	PROCESO	CAUSAS [8]	END
<b>FALTA DE PENETRACIÓN</b>	Incompleta penetración en la raíz de la soldadura	SMAW GMAW	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Superficies contaminadas con escamas de óxidos, grasas, pinturas, etc.</li> <li>- Preparación deficiente del hombro y abertura del bisel.</li> <li>- Velocidad de avance alta y bajo amperaje.</li> </ul>	RT UT
<b>FUSIÓN INCOMPLETA</b>	Discontinuidad entre el metal de soldadura y el metal base en la raíz y la cara del bisel.	SMAW GMAW GTAW	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Superficies contaminadas con óxidos, grasas, pinturas, etc.</li> <li>- Alta velocidad de avance.</li> <li>- Ángulo de inclinación y diámetro del electrodo inadecuado.</li> <li>- Deficiente preparación de la junta.</li> <li>- Temperatura entre pases insuficientes.</li> </ul>	RT UT

<b>INCLUSIÓN DE ESCORIA</b>	Sólido no metálico atrapado en el metal de aporte o entre el metal de aporte y el metal base	SMAW GMAW	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta Longitud de arco y velocidad de avance.</li> <li>- Limpieza inadecuada entre pases.</li> <li>- Atmosfera oxidante</li> <li>- Amperaje insuficiente.</li> <li>- Deficiencia de diseño en la junta.</li> <li>- Ángulo del electrodo inadecuado.</li> </ul>	RT UT
<b>POROSIDAD</b>	Gas atrapado durante la solidificación del metal de soldadura.	SMAW GMAW GTAW	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta longitud de arco.</li> <li>- Alta velocidad de enfriamiento.</li> <li>- Amperaje alto o excesivo.</li> <li>- Presencia de humedad en la atm.</li> <li>- Baja protección del arco.</li> <li>- Presencia de aceites, pinturas.</li> <li>- Electrodo húmedo.</li> </ul>	IV RT
<b>GRIETAS</b>	Ruptura lineal del metal depositado o del metal base. Pueden ser en caliente o en frío.	SMAW GMAW GTAW	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altas velocidades de avance con altos amperajes.</li> <li>- Alta resistencia con baja ductilidad en material base y depositado.</li> <li>- Alta entrada de calor con enfriamientos rápidos.</li> <li>- Humedad en el medio y el electrodo.</li> <li>- Presencia de impurezas.</li> <li>- Alta restricción y preparación inadecuada de la unión.</li> </ul>	IV RT UT
<b>SOCAVADO</b>	Acanaladura o ranura por fusión en el metal base adyacente a la raíz o presentación de la soldadura, que no es llenado por el metal de aporte.	SMAW GMAW	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altos amperajes.</li> <li>- Angulo incorrecto del electrodo.</li> <li>- Electrodo incorrecto para la posición de soldadura.</li> <li>- Tamaño incorrecto del electrodo.</li> <li>- Manejo inadecuado del electrodo.</li> </ul>	IV RT

Tabla 3. Técnicas No Destructivas más Utilizadas en la Inspección de Soldaduras [9]

	<b>INSPECCIÓN VISUAL</b>	<b>ULTRASONIDO [10]</b>	<b>RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL</b>
<b>DEFINICIÓN</b>	Método de prueba que revela o detecta cierto tipo de discontinuidades superficiales usando el ojo humano.	Ensayo que emplea una onda acústica de alta frecuencia que penetra en un material y permite la detección de defectos superficiales, sub-superficiales e internos.	Permite la detección de discontinuidades superficiales, e internas en cuerpos opacos a la luz blanca. Éste método permite tener un registro permanente del ensayo. La técnica emplea radiaciones electromagnéticas de alta energía, es decir de longitudes de onda muy corta (<10nm) y presenta una alta penetración.
<b>DEFECTOS QUE DETECTA</b>	<b>SUPERFICIALES</b> - Porosidades - Picaduras - Salpicaduras - Grietas	<b>SUPERFICIALES-SUBSUPERFICIALES-INTERNOS</b> - Picaduras - Falta de penetración - Salpicaduras - Inclusiones de escoria - Socavaduras	<b>SUPERFICIALES E INTERNOS:</b> - Porosidades - Picaduras - Falta de penetración - Salpicaduras - Inclusiones de escoria
<b>EQUIPO</b>	- Lupas o lentes de aumento. - Linterna (Iluminación concentrada en la zona inspeccionada no menor a 500Lx). - Galgas. - Instrumentos de medición (Flexómetros, reglas). - Espejo tipo odontológico. - boroscopios, fibroscopios, cámaras	- Equipo detector de fallas por ultrasonido - Transductores o palpadores especiales para el tipo de material e inconformidad a detectar. - Acoplante especial.	La técnica emplea 2 tipos de equipos: - Equipos de Rayos X: Los cuales trabajan con el uso de corriente eléctrica. - Equipos de Rayos Gamma: Requiere de pastillas de radio-isótopos para su funcionamiento, los cuales emiten radiación gamma para alcanzar su equilibrio.

<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Económico.</li> <li>- Rápido.</li> <li>- Técnicas muy conocidas.</li> <li>- No requiere de instrumentos sofisticados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proporciona grandes penetraciones, lo que permite la inspección de grandes espesores.</li> <li>- Se tiene alta precisión y sensibilidad, ya que puede detectar discontinuidades muy pequeñas.</li> <li>- Puede predecir la orientación, tamaño y forma de las discontinuidades.</li> <li>- Interpretación inmediata e in-situ de los resultados.</li> <li>- No presenta riesgos ni peligros en su aplicación, como es el caso de la radiografía.</li> <li>- Equipos de tipo portátil (fáciles de movilizar).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Registros permanentes con rayos X, se puede ajustar a varios niveles de energía.</li> <li>- Con rayos gamma se obtienen altas energías de radiación.</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitado detectar solamente discontinuidades que aparecen sobre la superficie de la parte evaluada.</li> <li>- Requiere técnicas de END complementarias para detectar y clasificar las fallas.</li> <li>- Agudeza visual.</li> <li>- Acceso.</li> <li>- Dedicación del Inspector.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere de un nivel alto de capacitación del personal que ejecuta la técnica.</li> <li>- Requiere de una técnica de apoyo para caracterizar las discontinuidades presentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La sensibilidad decrece con el espesor de la parte a atravesar.</li> <li>- Las fallas transversales son difíciles de detectar.</li> <li>- Peligro de radiación y alto costo por su licencia.</li> <li>- Se requiere que se tenga acceso a los dos lados de la pieza.</li> <li>- Se requiere personal entrenado para el manejo de material radioactivo e interpretación de los resultados.</li> </ul>

En la Tabla 4 se especifican los defectos y los respectivos criterios de aceptación y rechazo en las técnicas de ensayos no destructivos como inspección visual, radiografía industrial y ultrasonido.

**2.4.2 API (Americam Petroleum Institute):** El código API 1104 se enfoca principalmente en diferentes uniones metálicas de tuberías de acero al carbono y/o baja aleación que son utilizadas en las industrias petroleras. También se encuentran los estándares para los ensayos no destructivos aplicados a las mismas.



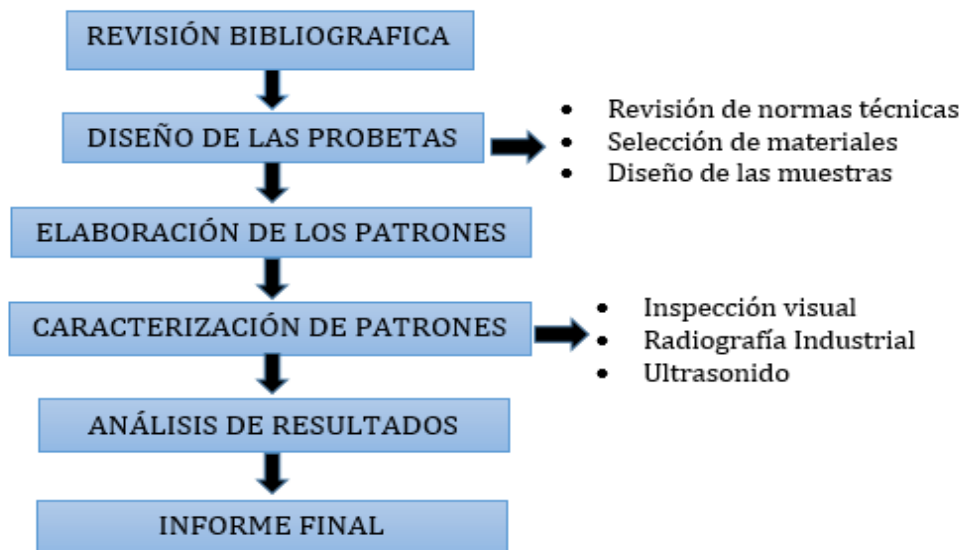
Tabla 5. Criterios de Aceptación y Rechazo - API 1104 [11]

CRITERIOS ACEPTACIÓN Y RECHAZO – NORMA API 1104		
ENSAYO	DEFECTOLOGIA	CONDICIONES
INSPECCIÓN VISUAL	El cordón de soldadura debe tener un buen acabado y presentar una apariencia uniforme.	
	Grietas	Un cordón de soldadura con estas discontinuidades será RECHAZADA
	Falta de penetración	
	Descuelgues	
Socavación	La profundidad no debe ser mayor a 0,8mm y la suma de sus longitudes no debe exceder de 50mm en un cordón de soldadura continua de 300mm	
RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL	Falta de penetración	Se considera defecto si excede de 25mm
	Falta de Fusión	Se considera defecto si excede de 25mm
	Descuelgues	Para un diámetro mayor que 60,3mm, un descuelgue debe ser considerado defecto si excede los 6mm
	Inclusión de escoria	Para un diámetro exterior mayor o igual a 60,3mm una <u>inclusión de escoria alargada</u> se considera defecto si: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando la longitud excede los 50mm</li> <li>• Cuando el ancho excede los 1,6mm</li> </ul> Se considera defecto si las <u>inclusiones de escoria alargadas aisladas</u> en cualquier tramo continuo de 300 mm de cordón de soldadura exceden 13mm y su ancho excede 3mm.
	Porosidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispersas: se considera defecto si el tamaño del poro excede los 3mm</li> <li>• Agrupada: se considera defecto si el diámetro del racimo excede los 13mm, cuando la suma de las longitudes en un tramo de soldadura de 300mm excede los 13mm y cuando un poro individual cerca de una porosidad agrupada excede en tamaño a 2mm</li> </ul>
ULTOSRONIDO	Indicaciones lineales superficiales	Se considera defecio si la suma de las longitudes de las indicaciones en cualquier tramo continuo de 300mm de cordón de soldadura excede a 25mm
	Indicaciones lineales	Se considera defecto si la suma de las longitudes de las indicaciones en cualquier tramo de soldadura continua de 300mm excede a 50mm
	Indicaciones volumétricas agrupadas	Se considera defecto cuando la máxima dimensión de la indicación excede los 13mm
	Indicaciones volumétricas individuales	Se considera defecto cuando la máxima dimensión de la indicación excede los 6mm.
	Indicaciones volumétricas de raíz	Éstas son abiertas a las superficie y se deben considerar defecto si la máxima dimensión de la indicación excede los 6mm

### 3. METODOLOGÍA

En el Figura 2. Se encuentra plasmado un flujograma de la metodología seguida para el desarrollo de la presente investigación.

Figura 2. Esquema de Metodología empleada



A continuación se presentan los detalles de cada una de las etapas y actividades que se llevaron a cabo en el desarrollo del proyecto.

#### 3.1. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.

En esta etapa se efectuó la recolección y análisis de la bibliografía necesaria para el desarrollo del trabajo y el logro de objetivos planteados en este proyecto. Se consultaron normas técnicas aplicables, artículos, libros, información confiable de la red, trabajos de grado, base de datos y otros documentos, todos relacionados con procedimientos de soldaduras, defectos típicos y ensayos no destructivos como

inspección visual, radiografía industrial y ultrasonido. Esta actividad se llevó a cabo durante toda la ejecución del trabajo.

### **3.2. DISEÑO DE LAS PROBETAS.**

En esta etapa se llevó a cabo el diseño de los procedimientos para la elaboración de los patrones con defectos típicos seleccionados. Dentro del desarrollo de ésta fue necesario tener en cuenta tres actividades: revisión de normas técnicas, selección de materiales, y diseño de las muestras. A continuación se presentan detalles de éstas.

**3.2.1 Revisión de Normas Técnicas.** En este trabajo de investigación se revisaron normas técnicas para definir los criterios de aceptación y rechazo de los defectos inducidos como API 1104 y AWS D1.1 para patrones tubulares y planos respectivamente. Un resumen de estos criterios se presenta en el Capítulo 2 Tablas 4 y 5.

**3.2.2. Selección de materiales.** En esta actividad se especificó el tipo de material base utilizado y los electrodos empleados en el diseño de los patrones de soldadura.

- Material base: Se determinó trabajar con acero al carbono ASTM A36, este con un espesor de 9,4mm; debido a su soldabilidad ya que puede ser trabajado por diferentes técnicas como SMAW, GTAW, GMAW u oxiacetilénica; además de ser económico en comparación con los aceros aleados.
- Electrodo [12]: La selección de los electrodos del trabajo se basó en la especificación AWS A5.1 la cual describe los electrodos para soldadura en aceros de bajo carbono. Se escogió el electrodo E6010, el cual se caracteriza por una buena penetración necesaria para el pase de raíz y el E7018 para

cordones de relleno y presentación. Los dos con un diámetro de 1/8” debido al espesor del material base (9,4mm) y la posición a soldar (G1). A continuación en la tabla 6 se presentan algunas especificaciones indicadas por el fabricante de cada uno de ellos.

Tabla 6. Especificaciones del electrodo E6010 y E7018

ESPECIFICACIONES ELECTRODO E6010					
Norma	Clasificación	Diámetro	Posiciones	Corriente	Intensidad
AWS 5.1	E 6010	1/8”	todas	C.C. (+)	75-120 Amp
PROPIEDADES MECANICAS					
Resistencia a la tracción		Limite Elástico	Alargamiento (L=5d)	Resistencia al Impacto	
510-580 N/mm2		430-490 N/mm2	24 % - 28 %	40-60 N.m a -30°C	
* L=longitud		d= diámetro			
ESPECIFICACIONES ELECTRODO E 7018					
Norma	Clasificación	Diámetro	Posiciones	Corriente	Intensidad
AWS 5.1	E 7018	1/8”	Todas, menos vertical descendente	C.C. (+) y C.A (+)	75-120 Amp
PROPIEDADES MECÁNICAS					
Resistencia a la tracción		Limite Elástico	Alargamiento (L=5d)	Resistencia al Impacto	
540-610 N/mm2		450-510 N/mm2	25 % - 29 %	120-160 N.m a -30°C	

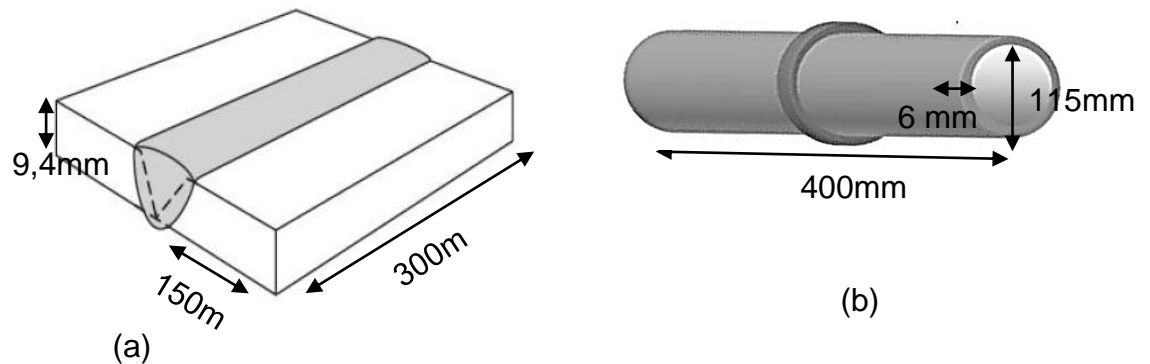
Fuente: Catálogo Lincoln Electric, Electrodo recubiertos

**3.2.3. Diseño de las muestras.** Esta actividad se realizó teniendo en cuenta aspectos como: la geometría de los patrones, diseño de la junta, proceso de soldadura y defectología a inducir. A continuación se presentan detalles de éstos:

- Geometría de los patrones. A partir de la bibliografía consultada sobre muestras patrón y teniendo en cuenta la necesidad del laboratorio de Ensayos No Destructivos en cuanto a patrones de entrenamiento para capacitación de personal, se determinó trabajar muestras planas con soldadura plana y tubulares con soldadura circunferencial. Los patrones planos con dimensiones de 150x

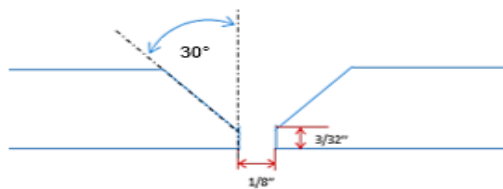
300x 9,4 mm (ver figura 3(a)) y tubulares de diámetro 115mm, longitud total e 400mm y espesor 6mm, (ver figura 3(b)). En la determinación de las dimensiones se tuvo en cuenta la capacidad de los equipos existentes en el laboratorio de Ensayos no Destructivos.

Figura 3. Dimensiones de Muestras. (a) Placa. (b) Tubería



- Diseño de la Junta. Con base en la especificación AWS A3.0 se determinó trabajar con una junta a tope en “V” sencilla tanto para los patrones tubulares como para los planos, ya que el espesor del metal base así lo requería. Detalles en cuanto a dimensiones de la junta se presenta en la figura 4.

Figura 4. Diseño de la Junta



- Proceso de soldadura. Se estableció utilizar el proceso de soldadura SMAW, ya que este facilita la formación de defectos en la soldadura y proporciona un mejor manejo en cuanto a variables del mismo, además de ser una técnica asequible económicamente.

- Defectología a inducir. Los defectos seleccionados para los patrones de soldadura se muestran en la figura 5. La elección de éstos se basó en defectos típicos que se presentan con mayor frecuencia en la soldadura. Se elaboraron cuatro (4) patrones planos y dos (2) tubulares con sus respectivas replicas con el fin de ratificar la inducción de defectos bajo las mismas condiciones.

Figura 5. Defectos seleccionados y número de Patrones a realizar



En la tabla 7. Se presenta la designación de los patrones y la distribución de defectos a inducir que se incluyó en cada uno de ellos.

Tabla 7 Distribución de defectos en patrones planos y tubulares

TIPO DE PATRÓN	DESIGNACIÓN		DEFECTOLOGÍA A INDUCIR
	ORIGINA L	REPLICA	
PLANOS	ECP 1X	ECP 1Y	SIN DEFECTOS
PLANOS	ECP 2X	ECP 2Y	Falta de fusión – Porosidad – Salpicaduras
PLANOS	ECP 3X	ECP 3Y	Falta de Penetración – socavación – Inclusión de Escoria
PLANOS	ECP 4X	ECP 4Y	Grietas - Inclusión de Escoria - Porosidad
TUBULAR ES	ECT 2X	ECT 2Y	Falta de Penetración – Quemón – Golpe de Arco
TUBULAR ES	ECT 3X	ECT 3Y	Exceso de Penetración – Socavación - Salpicaduras

Ésta selección se realizó teniendo en cuenta las técnicas de inspección visual, radiografía industrial y ultrasonido propuestas para el respectivo desarrollo del

presente trabajo de investigación. Las características de los patrones diseñados se presentan en el siguiente capítulo.

### **3.3. ELABORACIÓN DE LOS PATRONES.**

Con la información mencionada, materiales determinados y la defectología definida para cada probeta se procedió a la elaboración de los cupones de soldadura. Esta etapa se llevó a cabo en los talleres del Centro Industrial de Mantenimiento Integral (CIMI) - SENA ubicado en el municipio de Girón-Santander, con el apoyo de personas calificadas y con alta experiencia en procesos de soldadura.

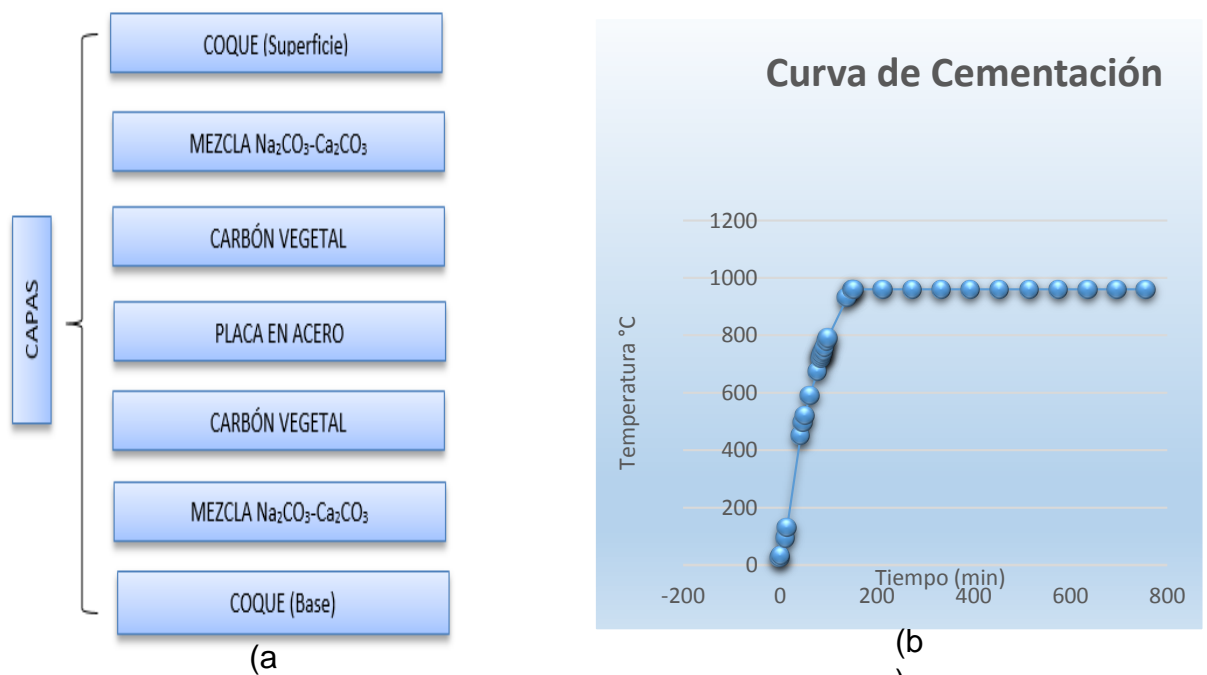
Se realizó el WPS (*Welding Procedure Specification*) para cada una de los procedimientos de soldadura, en éste se describieron los parámetros o variables que se deben tener en cuenta para su correspondiente elaboración.

A continuación se presenta el WPS de uno de los patrones, se escogió este porque tiene trabajos previos sobre el material base, antes de la ejecución de la soldadura. En los anexos B y C se presenta un WPS general tanto para patrones planos como tubulares con las observaciones para cada defecto inducido.

**3.3.1. WPS de patrón plano EC-P4X y su réplica EC-P4Y.** Los defectos que se seleccionaron para este patrón fueron: grietas, inclusión de escoria y porosidad, como se muestra en la tabla 7. La parte crítica de esta placa está en la obtención de las grietas, para ello se aplicó un tratamiento térmico de cementación por difusión sólida a las placas y de esta forma provocar un endurecimiento superficial producto de una capa de carbono, dando como resultado la facilidad de producir las grietas. La Cementación por difusión sólida, consistió en exponer las placas a una mezcla de carbones (carbón coque, carbón activado y carbón vegetal, todos previamente pulverizados) y para catalizar las reacciones de difusión se agregó carbonatos de

sodio y potasio, estos carbonatos aceleran el desprendimiento de carbono en estado elemental necesarios para este tratamiento térmico. Se adicionó en un recipiente de acero la mezcla por capas, (ver Figura 6(a)), las placas deben estar totalmente cubiertas por la misma; seguidamente se ubicó dicho recipiente en un horno pesado “LindBerg” con temperatura máxima de 1200°C, el cual se encuentra en el laboratorio de Tratamientos Térmicos de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica-UIS y se dejó expuesto durante 18 horas a una temperatura de 960°C, el tiempo empezó a contabilizar solo hasta cuando se alcanzó esta temperatura. Finalmente se hizo un temple en agua. A continuación, en la figura 6(b). Se encuentra la curva del tratamiento térmico descrito anteriormente.

Figura 6. (a) Orden de la mezcla de cementación. (b) Curva de tratamiento térmico de cementación



Por otro lado, la inclusión de escoria se obtuvo por medio de un mal escoriado en el primer cordón de relleno de soldadura. Se tuvo cierta precaución al pasar el segundo cordón de relleno ya que éste podía remover la escoria, por esto, al momento de pasar por esa zona se bajó el amperaje y de esta forma se conservó

el defecto inducido. Por último, la porosidad se produjo con la alteración del electrodo mediante la humedad y retirando parcialmente el recubrimiento.

De igual manera para los demás patrones se siguió el procedimiento más adecuado, basado en la consulta bibliográfica hecha para lograr los defectos propuestos.

A continuación se presenta el WPS el cual revela detalles del procedimiento de soldadura. (Ver tabla 8). Para este patrón y su réplica, en comparación a los demás, se modificó la abertura de raíz, esto con el fin de aportar una variable más para la inducción de grietas.

### **3.4. CARACTERIZACIÓN DE PATRONES**



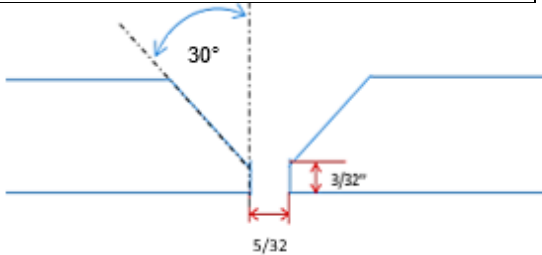
La caracterización de los patrones se llevó a cabo mediante la aplicación de las técnicas de Inspección Visual, Radiografía Industrial y Ultrasonido como inicialmente se planteó para el desarrollo de la presente investigación. Estos ensayos se practicaron en las instalaciones del Laboratorio de Ensayos No Destructivos de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales de la Universidad Industrial de Santander. A continuación se presentan pormenores de cada uno de los ensayos realizados.

**3.4.1. Inspección Visual (IV).** Se realizó este ensayo detalladamente, utilizando lupas, galgas, elementos de medición, entre otros, para la identificación de la defectología superficial tanto en placa como en tubería. Los resultados se presentan en el siguiente capítulo.

**3.4.2. Radiografía Industrial (RI).** Para la realización de este ensayo se utilizaron técnicas de: simple pared-simple imagen y doble pared-simple imagen, éstas para placa y tubería respectivamente. Se empleó un equipo de rayos X marca Balteau

NDT, indicadores de calidad bajo la norma ASTM E747, tiempo de exposición radiográfica de 1min, 48s para patrones planos y 3min, 36s para tubulares, distancia fuente-película de 700mm, película radiografía D7 con pantalla de plomo y líquidos (revelador, solución de Ácido acético y fijador) para el proceso de revelado de las películas radiográficas. Los tiempos en el proceso de revelado, fueron de 5 minutos en el revelador con agitación constante, un baño rápido en la solución de ácido acético y 10 minutos en el fijador con agitación constante. Los resultados se presentan en el siguiente capítulo.

Tabla 8. WPS Placas EC-P4X y EC-P4Y

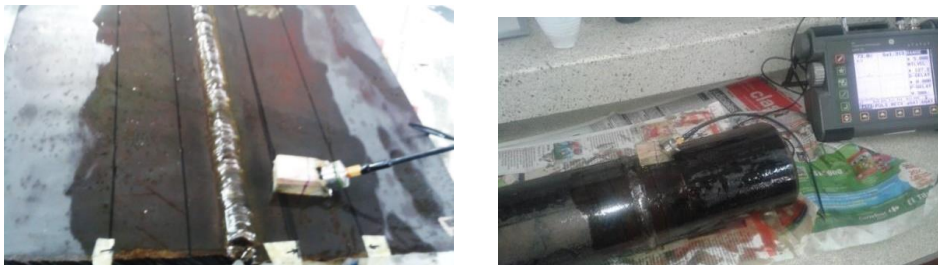
  <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-QUÍMICA</b> <b>ESCUELA INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES</b> <b>GRUPO DE INVESTIGACIÓN GIMAT</b></p>		<b>ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b>		WPS: <b>EC-P4X</b> <b>EC-P4Y</b>  FECHA:		
CLIENTE:						
PROCESO DE SOLDADURA: SMAW			TIPO: Manual			
<b>CLASE DE JUNTA ASOLDAR</b>			<b>DISEÑO DE LA JUNTA</b>			
DISEÑO DE LA JUNTA: A tope (V sencilla)						
RESPALDO: SI: NO: X						
<b>POSICIONES</b>						
POSICIÓN DE LA JUNTA: 1G						
DIRECCIÓN DE AVANCE						
OTROS:						
<b>METAL BASE</b>						
ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL BASE: Acero Estructural ASTM A36						
COMPOSICIÓN QUÍMICA:		%C 0,26 MÁX	%P 0,04 MÁX	%S 0,05 MÁX	%Si 0,4 MÁX	%Cu 0,20 MÁX
ESPESOR:		9,4 mm	DIÁMETRO :		----	
<b>METAL DE APORTE</b>						
DESCRIPCIÓN	NÚMERO DE PASES					
	RAÍZ	RELLENO 1	RELLENO 2	PRESENTACIÓN		
N° ESPECIFICACIÓN AWS	E 6010	E 7018	E 7018	E 7018		
DIÁMETRO DE ELECTRODO	1/8	1/8	1/8	1/8		
<b>TÉCNICA UTILIZADA EN CADA PASE</b>						
	RAÍZ	RELLENO 1	RELLENO 2	PRESENTACIÓN		
TÉCNICA	Tejido	Latigazo	Latigazo	Media Luna		
LIMPIEZA	pulidora	Cíncel-pulidora	Cíncel-pulidora	Grata eléctrica		
OBSERVACIONES:						
<b>DEFECTOLOGÍA:</b> <i>Grietas-porosidad e inclusión de escoria</i>						
<p><u>Grietas:</u> Se realizó previamente un tratamiento térmico de cementación a las placas y se dejó una abertura de raíz de 5/32". No se realizó un precalentamiento a las piezas.</p>						
<p><u>Inclusión de escoria:</u> Se obtuvo por medio de un mal escoriado en el primer cordón de relleno, al momento de pasar el segundo cordón de relleno por los residuos de escoria se bajó al amperaje a 80-85 Amp</p>						
<p><u>Porosidad:</u> La alteración del electrodo mediante humedad y quitando parcialmente el recubrimiento dio lugar a inducir este defecto. Esto se realizó en el primer cordón de relleno</p>						

CARACTERISTICAS DEL PROCESO DE SOLDADURA ENTRE PASES					
PASES	PROCESO	CORRIENTE			VELOCIDAD DE AVANCE ( mm/s)
		CLASE	AMPERAJE ( Amp)	POLARIDAD	
<b>RAIZ</b>	SMAW	CC/CA	55-60	+	1,33
<b>RELLENO 1</b>	SMAW	CC/CA	95- 100	+	1,74
<b>RELLENO 2</b>	SMAW	CC/CA	95- 100	+	1,98
<b>PRESENTACIÓN</b>	SMAW	CC/CA	115-120	+	1,73
APROBADO PARA:	FABRICACIÓN				
ELABORADO POR:	Viviana Candela Orduz Ángela Espinosa				
FECHA:					

**3.4.3 Ultrasonido (UT):** Se utilizó un equipo de ultrasonido marca Krautkramer USM 35 XS, palpadores angulares de 70° debido al espesor de las muestras, aceite como medio acoplante y bloques de calibración estandarizados IIW Tipo I. En la figura 7 se observa la posición de barrido, el cual se hizo con movimientos en zig-zag, de acuerdo a los patrones de escaneo para la evaluación de muestras planas y tubulares.

La evaluación se realizó con base en la norma AWS D1.1 para patrones planos y API 1104 para patrones tubulares, utilizando la técnica de la caída de los 6 dB para el dimensionamiento de las longitudes de los defectos. La ganancia de referencia utilizada en el desarrollo del ensayo fue de 67 dB. Los resultados se especifican en el siguiente capítulo.

Figura 6. Registro fotográfica del barrido en patrones planos y tubulares



### **3.5. ANALISIS DE RESULTADOS**

Se realizó el análisis de los resultados obtenidos partiendo desde el diseño y elaboración de las muestras y finalizando con la evaluación de las discontinuidades por medio de ensayos no destructivos mencionados anteriormente utilizando criterios de aceptación y rechazo, éstos en base a los códigos AWS D1.1 para patrones planos y API1104 para patrones tubulares. Los resultados detallados se presentan en el siguiente capítulo.

### **3.6. INFORME FINAL.**

Como etapa final de la presente investigación, se realizó un informe final escrito en el cual se presentan los resultados obtenidos y por ende los respectivos análisis, también se plasmaron conclusiones, observaciones y recomendaciones, todo esto para fortalecer posteriores investigaciones afines a este trabajo.

## 4. ANALISIS DE RESULTADOS

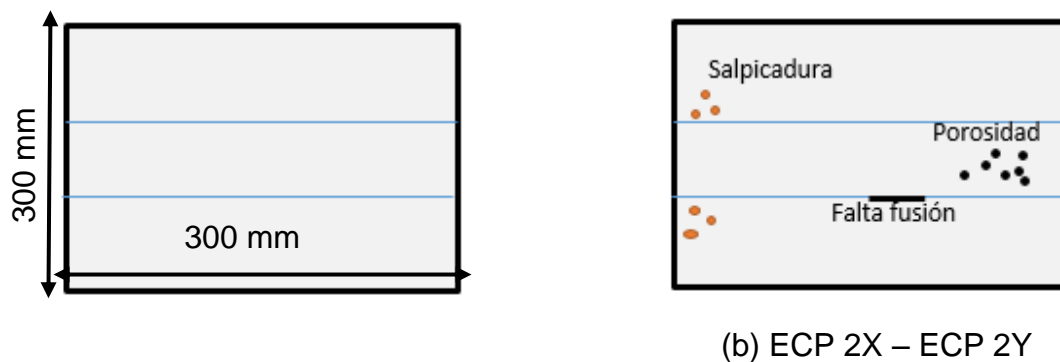
A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada una de las etapas llevadas a cabo durante el desarrollo de la presente investigación y su respectivo análisis.

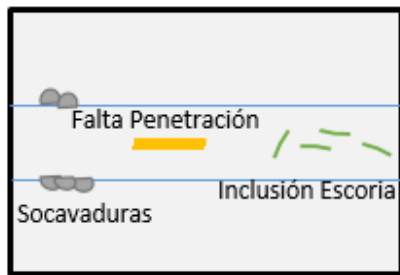
### 4.1. DISEÑO DE LAS PROBETAS.

A continuación se presentan en la tabla 9 las características básicas de los patrones planos y tubulares, indicándose la ubicación de los defectos seleccionados, así como las técnicas no destructivas empleadas y las normas o códigos utilizados en la evaluación de la defectología inducida.

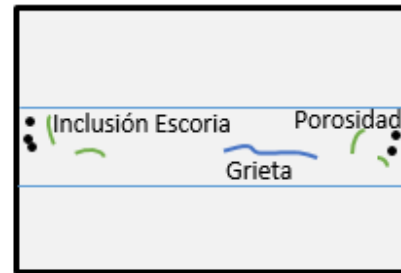
Con base en la información antes mencionada se realizaron los planos preliminares de las muestras con los defectos seleccionados, en las figuras 8 y 9 se presentan los respectivos esquemas para patrones planos y tubulares respectivamente.

Figura 7. Planos preliminares patrones planos



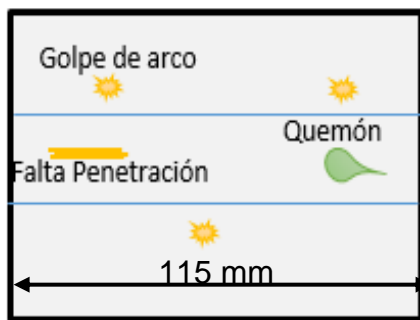


(c) ECP 3X – ECP 3Y

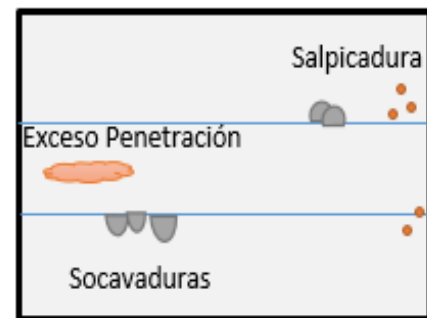


(d) ECP 4X – ECP 4Y

Figura 8. Planos preliminares patrones tubulares



(e) ECT 2X – ECT 2Y



(d) ECT 3X – ECT 3Y

Tabla 8. Características básicas de los patrones planos y END aplicadas

PATRON	DESIGNACION	DIMENSIONES (mm)	MATERIAL BASE	DEFECTOS INDUCIDOS	UBICACION DEFECTO	END APLICADOS	NORMAS TECNICAS				
PLANOS	ECP 1X ECP 1Y (Réplica)	150 X 300 X 9,4	Acero al Carbono A36	Sin defectos	--	VI IR UT	AWS D1.1				
	ECP 2X ECP 2Y (Réplica)			Falta de fusión	Superficial	VI IR UT					
				Porosidad salpicaduras	Interna superficial						
	ECP 3X ECP 3Y (Réplica)			Falta de penetración	Superficial	VI IR UT					
				Socavación	Superficial						
	ECP 4X ECP 4Y (Réplica)			Inclusión de escoria	Interna	VI IR UT					
				Grietas	Interna						
				Inclusión de escoria	Interna						
	TUBULARES			ECT 2X ECT 2Y (Réplica)	115 X 400 X 6	Acero al Carbono A36		Porosidad	interna	VI IR UT	API 1104
								Falta de penetración	Interna		
Quemón		Interna									
ECT 3X ECT 3Y (Réplica)		Golpe de arco	Superficial	VI IR UT							
		Exceso de penetración	Interna								
		Socavación	Superficial								
		Salpicaduras	Superficial								

Estos planos corresponden a la vista superior de las probetas elaboradas, la ubicación de los defectos a inducir internos y superficiales de cada muestra se indican en la tabla 9. No se establecen las dimensiones de los defectos, ni su ubicación ya que el proceso de fabricación es de tipo manual dependiente en gran medida de la habilidad y experticia del soldador.

#### **4.2. ELABORACIÓN DE LOS PATRONES.**

Con base en la metodología indicada en el capítulo anterior y los WPS realizados mostrados en los Anexos A y B del presente documento, se elaboraron ocho (8) patrones planos y cuatro (4) patrones tubulares. En la figura 10 se presentan registros fotográficos de algunos de las muestras realizadas.

Como se muestra en las fotografías de los patrones planos ECP2X-2Y (original y réplica), se observa la falta de fusión en el cordón de presentación, la cual se obtuvo por una fusión inadecuada en uno de los biseles de las muestras.

Figura 9. Registro fotográfico de algunos patrones planos y tubulares



También se muestra el registro fotográfico de los patrones planos ECP3X-3Y donde se aprecia una notable falta de penetración, la cual se consiguió disminuyendo en forma considerable el amperaje (45 Amp) con el que se estaba trabajando el pase de raíz. Por último, los patrones tubulares ECT3X-3Y se observa un considerable exceso de penetración que se logró con un mayor aporte de material.

Las réplicas de cada uno de las muestras (planas y tubulares) se realizaron teniendo en cuenta las variables usadas en la muestra original puesto que se demostró que éstas son apropiadas para generar cada defecto planteado en la metodología del presente documento.

### **4.3. CARACTERIZACIÓN DE PATRONES**

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de Inspección Visual (IV), Radiografía Industrial (RI) y Ultrasonido (UT) realizado a las muestras elaboradas con discontinuidades inducidas.

**4.3.1 Resultados Inspección Visual (IV).** Siendo la inspección visual una técnica fundamental e indispensable al momento de la evaluación de cualquier estructura metálica, ya que ésta permite dar un primer informe del grado de criticidad que se presenta en la superficie de la misma. Para este trabajo de investigación se desarrolló esta técnica como primer Ensayo No Destructivo en las muestras elaboradas con defectología típica inducida.

En las tablas 10 y 11 que se muestran a continuación, se presentan los registros fotográficos, discontinuidades, dimensiones y la respectiva evaluación bajo las normas técnicas mencionadas, tanto para patrones planos como tubulares respectivamente.





Como se observa en la tabla 10, el patrón ECP 1X y su réplica ECP 1Y presentan algunas salpicaduras, defecto no considerado en el diseño establecido ya que estos se plantearon sin ningún tipo de defectología, bajo el código AWS D1.1 este tipo de defecto no presenta ningún riesgo, contrario a la falta de fusión y falta de penetración las cuales se presentan en los patrones ECP 2X y ECP 3X y en sus respectivas replicas, defectos que son inaceptables según este código.







En las placas ECP 4X y ECP 4Y no se visualizaron defectos superficiales en toda la longitud del cordón de soldadura, ya que estas se diseñaron con defectos internos como se puede ver en la tabla 9. Como complemento a esta técnica de inspección visual se realizó el ensayo de partículas magnéticas (PM), éste consiste en aplicar una corriente eléctrica a la pieza la cual crea un campo magnético, a partir del cual

las discontinuidades producen campos de fuga o distorsiones en las líneas del flujo y es allí donde las partículas ferromagnéticas se ubican dando como resultado las indicaciones en el cordón.

El ensayo de Partículas Magnéticas se realizó con un yugo Magnaflux modelo Y-7, partículas magnéticas húmedas fluorescentes y luz ultravioleta. Dio como resultado la observación de las indicaciones de las grietas existentes en estos patrones, como se puede ver en la figura 11.

Tabla 9. Evaluación de Defectos Superficiales, Patrones planos-AWS D1.1

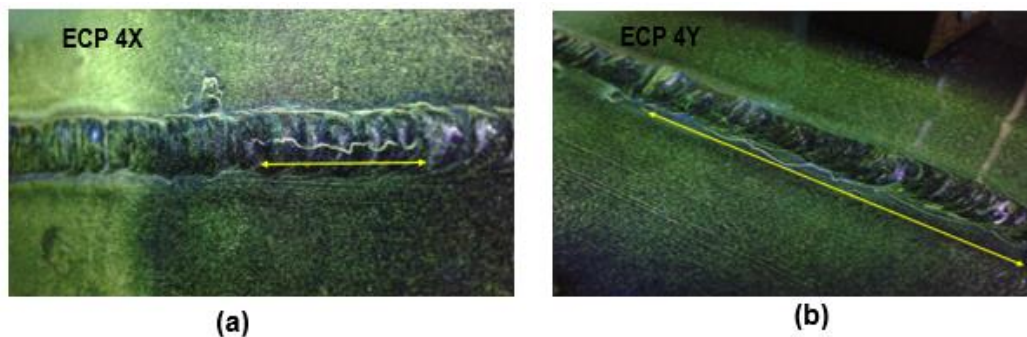
	REGISTRO FOTOGRAFICO	DEFECTOS	DIMENSIONES	EVALUACIÓN AWS D1.1	
				A	R
EC P1X		Salpicaduras Aisladas	$D_{prom} = 3mm$ $H_{prom} = 1,5mm$	NA	NA
EC P2X		Salpicaduras Agrupadas	7 salpicadura/25,4m m $D_{prom} = 5mm$	NA	NA
		Falta de Fusión	$L = 20mm$ $P = 2mm$		
EC P3X		Falta de Penetración	$L = 40mm$		X
					X

		Socavaduras	$L_{prom} = 3mm$ $P = 0,25mm$		
			$\sum longitud$ $= 30mm$		
EC P4X		No se presenta defectos	Esta placa no se le visualizó defectos superficiales en toda la longitud del cordón de soldadura. Los defectos que ésta posee son internos.		
EC P1Y		Salpicadura aislada	5 salpicaduras/300m $D_{prom} = 0,5mm$	NA	NA
EC P2Y		Falta de Fusión	$L = 30mm$ $P = 2,5mm$		X
		Salpicaduras Agrupadas	5 salpicaduras/300m $D_{prom} = 4 mm$	NA	NA
		Cráter	$L = 10mm$ $P = 1,5mm$		X
EC P3Y		Falta de Penetración	$L = 30mm$		X
		Socavaduras	$L_{prom} = 3mm$ $P = 0,2mm$		X

			$\sum \text{longitud} = 20\text{mm}$		
<b>EC P4Y</b>		No se presenta defectos	Esta placa no se le visualizó defectos superficiales en toda la longitud del cordón de soldadura. Los defectos que ésta posee son internos.		
<b>A=Aceptada      R=Rechazada</b>		<b>H= Altura NA= No aplica</b>	<b>D= diámetro</b>	<b>P= profundidad</b>	

La dimensión de la indicación de la grieta en la placa ECP 4X es de 18 mm de longitud y se encuentra ubicada en el centro de la raíz del cordón de soldadura como se observa en la figura 11(a), En la réplica ECP 4Y se puede ver en la figura 11(b) la grieta que se propagó por el bisel y el metal base (zona afectada térmicamente), ésta con una longitud de 50mm. La evaluación bajo los criterios del código AWS D1.1 menciona que éste es un defecto que se considera inaceptable en cualquier tipo de unión de estructuras metálicas.

Figura 10. Registro Fotográfico, Partículas Magnéticas











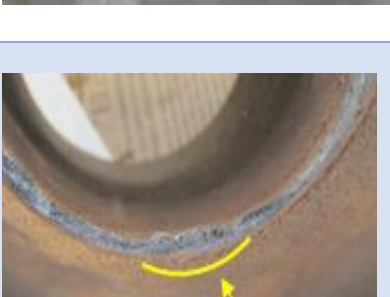


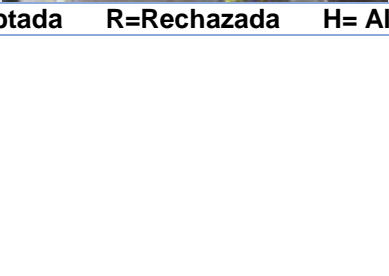
La técnica de inspección visual es básica y fundamental pero no es suficiente para dar un informe completo del estado de una unión de estructuras metálicas, por lo general se acude a otros tipos de inspección como líquidos penetrantes o partículas magnéticas, se escogen dependiendo el grado de sensibilidad que se desee tener, la disposición de equipos para realizarlos y los recursos económicos que se dispongan. Estas técnicas son complementarias entre sí a la hora de evaluar defectos superficiales y subsuperficiales.

En los registros de la tabla 11, los patrones EC T2X y EC T3X con sus respectivas réplicas tienen una falta de penetración y un exceso de penetración, defectos que se consideran inaceptables en los criterios mencionados en el código API 1104, Las salpicaduras y golpes de arco no se consideran como defecto pero el código exige una buena presentación (apariencia uniforme y un buen acabado) en toda la longitud del cordón de soldadura.

La caracterización de la defectología superficial inducida en los patrones planos y tubulares se realizó por medio del ensayo de Inspección visual y la respectiva evaluación de defectos por medio de los códigos AWS D1.1 y API 1104 respectivamente, dando como resultado la visualización de faltas de penetración, faltas de fusión, excesos de penetración, socavaduras, entre otras discontinuidades. Como técnica auxiliar o complementaria se usó el ensayo de partículas magnéticas.

Tabla 10- Evaluación de defectos superficiales, Patrones Tubulares- API 1104

	REGISTRO FOTOGRÁFICO	EFECTOS	DMENSIONES	EVALUACIÓN API 1104	
				A	R
EC T2X		Falta de Penetración	L= 15mm		X
		Quemón	L= 10mm		X
		Golpe de Arco	3 en la longitud del cordón D=5mm	NA	NA
EC T3X		Exceso de Penetración	L=38mm		X
		Salpicadura Agrupada	D= 4mm	NA	NA
		Socavación	$L_{prom} = 2mm$ $P = 0,2mm$ $\sum longitud = 20mm$	X	

EC T2Y		Falta de Penetración	L= 20mm		X
		Quemón	L=10mm		X
		Golpe de Arco	3 en la longitud del cordón D= 5mm	NA	NA
EC T3Y		Exceso de Penetración	L=40mm		X
		Salpicaduras Agrupadas	D=3mm	NA	NA
		Socavación	$L_{prom} = 2mm$ $P = 0,3mm$ $\sum longitud = 15mm$	X	
<b>A=Aceptada    R=Rechazada    H= Altura    D= diámetro    P= profundidad    NA= No aplica</b>					

**4.3.2 Resultados Radiografía Industrial (RI).** A través del proceso radiográfico indicado en la metodología se obtuvo ocho (8) radiografías de patrones planos y dieciséis (16) radiografías en patrones tubulares ya que se realizaron cuatro exposiciones en cada patrón para cubrir todo el perímetro del cordón de soldadura. Para este trabajo de investigación se realizó la respectiva digitalización de las radiografías, por medio de una empresa dedicada a este tipo de servicio, y de esta forma tener una buena imagen de las mismas para su posterior análisis de los defectos.

Como parte de la evaluación radiográfica se tomaron registros del grado de ennegrecimiento de las películas, además de la evaluación de la calidad de imagen por medio de indicadores. Se evaluaron los daños sobre las radiografías tanto mecánicos, químicos como de otro tipo que pudiera alterar la interpretación de la defectología en la película radiográfica.

El grado de ennegrecimiento de las películas radiográficas, según el código AWS D1.1 tiene un mínimo de 1,8 y un máximo de 4.0 para ser aceptadas.

Los indicadores de calidad [13] según la ASTM E747 los clasifica en Set's A, B, C y D dependiendo del espesor de la pieza a radiar, cada Set tiene seis hilos de diferente diámetro, el número 1 es el más fino y el seis el más grueso, para patrones planos se utilizó el Set A (Enumeración de hilos: 1-6), y para patrones tubulares el Set B (Enumeración de hilos: 6-11). Para la evaluación de la calidad de la radiografía, se basó en el código API 1104 el cual menciona el alambre que se debe observar en ésta para que sea aceptable, en el Set A se debe identificar el alambre número seis (0,25 mm de diámetro) y para el Set B el número siete (0,33 mm de diámetro). A continuación en la tabla 12, se encuentra el registro de las densidades de las películas radiográficas y su respectiva calidad de patrones planos y tubulares.

No se encontró ningún tipo de defecto de revelado en las películas radiográficas, estando en un óptimo estado para su respectiva evaluación de la defectología.

Tabla 11. Registro de Densidad y Calidad de la Películas Radiográficas

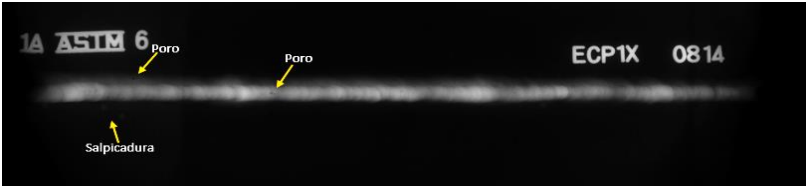
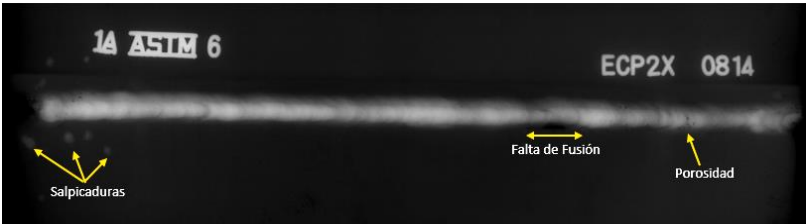
	CODIGO PATRON	DENSIDAD PROMEDIO		CALIDAD (n° Alambre del Set A visto)		CODIGO PATRON	DENSIDAD PROMEDIO		CALIDAD (n° Alambre del Set B visto)
		cordón	Metal base				cordón	Metal base	
PLANA	ECP 1X	2.0	2,8	4	TUBERIA	ECT 2X	2,4	3,5	7
	ECP1Y	2,1	2,5	4		ECT 2Y	2,3	3,3	7
	ECP2X	1,97	2.6	4		ECT 3X	2,4	3,6	7
	ECP2Y	1,9	2,7	4		ECT 3Y	2,2	3,5	7
	ECP3X	2.0	2,5	4					
	ECP3Y	2.3	2,6	4					
	ECP4X	2,1	2,4	3					
	ECP4Y	2,2	2,5	3					

El promedio de los registros de densidades en el área de interés (Cordón de soldadura) de las películas radiográficas es de dos (2) en patrones planos y dos punto tres (2,3) en patrones tubulares, y es aceptable según el código AWS D1.1.

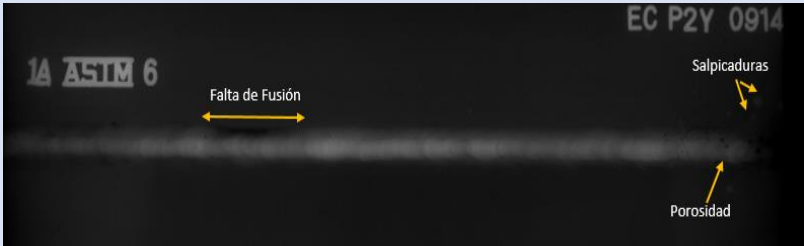
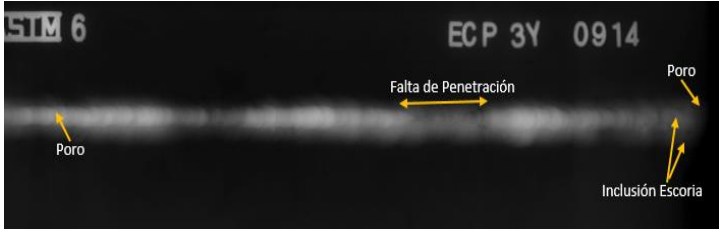
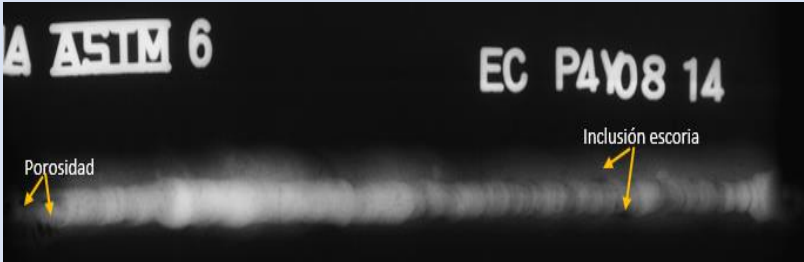
La calidad de las películas radiográficas en patrones planos varía entre tres (3) y cuatro (4), y en patrones tubulares es de 7 (siete), esta evaluación se realizó bajo el código API 1104, donde mencionan el número mínimo de hilos de cada set que se pueden observar en las radiografías para ser aceptable. La calidad de las películas radiográficas realizadas tanto de patrones planos como tubulares es aceptable.

La evaluación de los defectos obtenidos mediante la técnica de inspección RI bajo criterios de aceptación y rechazo de los códigos mencionados anteriormente, de patrones planos y tubulares se presenta en las tablas 13 y 14 respectivamente, en ellas se presentan las imágenes radiográficas, discontinuidades halladas, sus dimensiones y respectiva evaluación según los códigos aplicables. Las radiografías en tamaño original se encuentran en el anexo D del presente trabajo de investigación.

Tabla 12. Evaluación de Radiografías, Patrones Planos - Norma AWS D1.1

RADIOGRAFIA		DEFECTOS	DIMENSIONES	EVALUACION AWS D1.1	
				A	R
EC P1 X		Poros aislados	$D_{prom} = 1mm$	X	
		Salpicadura Aislada	3 salpicaduras /25,4mm $D_{prom} = 3mm$	X	
EC P2 X		Falta de fusión	$L = 20mm$		X
		Porosidad Aislada	10 poros /20 mm $D_{prom} = 0,5mm$	X	
		Grupo porosidad	11 poros /10mm $D_{prom} = 0,5mm$	X	
			10 poros/5mm $D_{prom} = 0,5mm$	X	
Grupo salpicadura	7 salpicadura/25,4mm $D_{prom} = 5mm$		X		

EC P3 X		Falta de penetración	$L = 30mm$		X	
		Grupo porosidad	10 poros/20mm $D_{prom} = 0,5 mm$	X		
		Inclusión de escoria	Alineada $L = 25,4mm$		X	
Aislada $L = 8mm$			X			
EC P4 X		Inclusión de escoria	Alineada $L = 30mm$		X	
			Aisladas	$L = 7mm$		X
				$L = 5mm$	X	
		Porosidad aislada	9 poros / 30mm $D_{prom} = 0,5mm$	X		
EC P1 Y		Porosidad Aislada	7 poros/30mm $D_{prom} = 0,5mm$	X		
		Salpicadura Aislada	5 salpicaduras/300mm $D_{prom} = 0,5mm$	X		

EC P2 Y		Falta de fusión	$L = 30mm$			X	
		Porosidad	Agrupada	38 poros /20mm $D_{prom} = 0,5mm$			X
				7 poros/20mm $D_{prom} = 2mm$			X
		Aislada		4 poros/ 20mm $D_{prom} = 0,5mm$		X	
Salpicadura	7 salpicadura/40mm $D_{prom} = 4 mm$				X		
EC P3 Y		Falta de Penetración	$L = 30mm$			X	
		Inclusión de escoria	Alineada $L = 10mm$				
			Aislada	$L = 4mm$	$S = 5mm$		X
		$L = 3mm$				X	
Porosidad aislada	3 poros/300mm $D_{prom} = 1 mm$		X				
EC P4 Y		Agrupación Poros	11 poros / 10mm $D_{prom} = 1 mm$			X	
		Inclusión de escoria	Aislada	$L = 3mm$		X	
				$L = 4mm$		X	

A= Aceptado      R= Rechazado

En los registros radiográficos de la tabla 13 se pueden observar los diferentes defectos inducidos en las muestras planas, los cuales se identifican por la diferencia de densidades. Cabe recordar que entre mayor sea el espesor o densidad del material se verá de un tono más claro en la radiografía y entre menores sean se podrá notar más oscuro [14].

En las radiografías de las placas ECP 1X y ECP 1Y correspondiente al patrón sin defectos se aprecia alguna porosidad y salpicaduras. Se deduce que es porosidad ya que se presentan como círculos definidos de color negro y la salpicadura por su tono claro además de estar sobre el metal base. Sus dimensiones no son relevantes según el código AWS D1.1 y por lo tanto es aceptada. Esto significa que a pesar de que hay discontinuidades, éstas no son de riesgo y se puede considerar una soldadura sana.

Las radiografías de las placas ECP 2X y ECP 2Y, muestran una falta de fusión en un costado del cordón con longitudes de 20 y 30 mm respectivamente, se observa como una línea o franja oscura, fina y continua con bordes definidos. Este defecto se rechaza bajo los criterios establecidos por el código AWS D1.1. En las placas ECP 3X y su réplica, se observa la falta de penetración de 30mm de longitud, ésta se ve en el centro del cordón con bordes delineados de color negro, este defecto se presenta en la raíz y según el código AWS D1.1 es una soldadura con riesgo y se debe rechazar de inmediato.

La placa ECP 4X presenta 30 mm de inclusión de escoria alineada, la inclusión de escoria se presenta en un registro radiográfico como manchas negras con bordes irregulares por lo general de forma alargada, ésta es rechazada por los criterios del código AWS D1.1. En la réplica (ECP 4Y) se observa inclusiones de escoria, pero de forma aislada en los bordes del cordón con una longitud 3 y 4 mm, pero por ser aislada y de pequeña dimensiones se aceptada bajo los criterios del código.

También se presenta porosidad alargada, este tipo de porosidad es de alto riesgo por el efecto entalla que presenta en comparación a la porosidad esférica, ya que se convierte en un concentrador de esfuerzos.

Tabla 13. Evaluación de Radiografías, Patrones tubulares-Norma API 1104

	RADIOGRAFIA	DEFECTOS	DIMENSIONES	EVALUACION API 1104	
				A	R
EC T2X		Falta de Penetración	L= 10mm	X	
		Quemón	L=8mm	X	
		Golpe de Arco	$D_{prom} = 6 \text{ mm}$	X	
EC T3X		Exceso de Penetración	L= 30mm		X
		Porosidad	4 poros/10mm $D_{prom} = 2 \text{ mm}$		X
			4 poros/7mm $D_{prom} = 1,5 \text{ mm}$		X
		Salpicadura Aislada	$D_{prom} = 5 \text{ mm}$	X	
		Inclusión escoria	L=5mm	X	

EC T2Y		Falta de Penetración	L=10mm	X	
		Quemón	$D_{prom} = 8\text{ mm}$	X	
		Golpe de Arco	$D_{prom} = 4\text{ mm}$	X	
		Inclusión escoria	L=3mm A= 1mm	X	
EC T3Y		Exceso de Penetración	L=27mm		X
		Porosidad Aislada	3 poros/10mm $D_{prom} = 0,3\text{ mm}$	X	
		Salpicadura Agrupada	$D_{prom} = 2\text{ mm}$	X	

A= Aceptado    R= Rechazado

Para las muestras tubulares se realizaron cuatro (4) exposiciones debido al diámetro de la tubería y la técnica radiográfica utilizada. En la tabla 14 se presentan los resultados más relevantes.

En la tubería ECT 2X se observa se observa una falta de penetración de 10mm, por su ubicación en la raíz, tener un color oscuro y bordes. Este tipo de defecto se considera por otras normas técnicas de riesgo en la soldadura, pero los criterios del API 1104 la aceptan ya que no sobrepasa los 25mm de longitud. La réplica ECT 2Y presenta una inclusión de escoria de 3mm de longitud, discontinuidad que no se consideraba en el diseño de esta muestra y que seguramente por una mala limpieza entre pases de cordones quedo atrapada allí, el código no la considera como defecto debido a sus dimensiones.

La tubería ECT 3X presenta porosidad agrupada, ésta se identifica por su color negro y bordes definidos, con un diámetro promedio de 2mm y no son aceptas por el API 1104. La réplica también presenta porosidad, pero ésta se encuentra de forma aislada y sus dimensiones no son relevantes. Estas discontinuidades no se contemplaban en el diseño de las muestras.

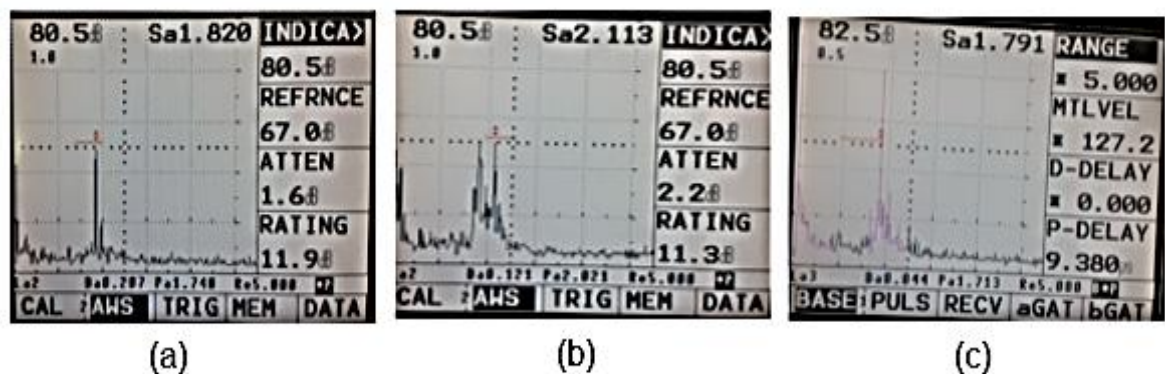
En la radiografía de la tubería ECT 3Y se presenta el exceso de penetración de 27mm de longitud, se identifica por su color claro, ya que por tener un “exceso” de material posee una mayor densidad en comparación al resto del cordón de soldadura. Bajo los criterios del API 1104 se rechaza.

La técnica de radiografía industrial es un método que permite la detección de las discontinuidades internas presentes en las uniones de estructuras metálicas, la interpretación de radiografías es de vital importancia en la hora de la evaluación por medio de criterios de aceptación y rechazo de normas técnicas.

**4.3.3 Resultados Ultrasonido (UT):** Previo a la inspección por ultrasonido de los patrones planos y tubulares, se realizó la respectiva calibración de equipo con patrones IIW tipo I, en donde se determinó la ganancia de referencia (67dB), ya que se utiliza la técnica de la caída de los 6dB para determinar el dimensionamiento de los defectos, según el código AWS D1.1, se debe sumar 14 dB a la ganancia de referencia para la caracterización de la defectología, se trabajó inicialmente de esta forma dando como resultado una mayor dificultad en la identificación de los defectos. Finalmente para esta inspección solo se sumó 6 dB (doble altura en la pantalla) ya que se visualizaba mejor la indicación en el equipo. La ganancia empleada para el respectivo barrido en la zona a inspeccionar fue de 73 dB (Ganancia de referencia + 6dB)

En la figura 12 se observan algunos registros fotográficos del desarrollo de la Inspección tanto para patrones planos (a y b) como para tubulares (c).

Figura 11. Registro Fotográfico, Pruebas UT



En la figura 12(a y c) el eco que se presenta en la pantalla, se encuentra de una forma definida, esto indica que se encontró un defecto planar que puede ser una grieta, alguna falta de penetración o falta de fusión, entre otros. Lo contrario se presenta en la figura 12(b) donde se observa un eco no definido, el cual indica la detección de algún defecto volumétrico.

La inspección UT de los patrones planos se realizó por medio del código AWS D1.1, donde se referencian las indicaciones por categorías A, B, C y D, según esta norma dimensionan el grado de criticidad de la defectología de la siguiente manera:

- Clase A: discontinuidades largas
- Clase B: Discontinuidades medianas
- Clase C: Discontinuidades pequeñas
- Clase D: Discontinuidades menores

En la tabla 15, se encuentran los registros de los resultados obtenidos por medio de ésta técnica en patrones planos, sus respectivas dimensiones y por ende la evaluación por medio del código indicado.

En la evaluación se observaron indicaciones dentro y fuera de los criterios de aceptación del código. En los patrones ECP 1X y su respectiva réplica ECP 1Y se encontraron discontinuidades las cuales son de clase D, estas son aceptadas sin importar la longitud y la ubicación en el cordón de soldadura, por consiguiente estas muestras se siguen considerando placas sanas. En las placas ECP 4X y ECP 4Y se encuentra la evidencia de las grietas existentes, ya que podemos ver los grados de criticidad A, lo que significa su rechazo total sin importar la longitud o ubicación en la longitud del cordón.

Las técnicas de radiografía industrial y ultrasonido, son técnicas complementarias entre sí, las placas ECP 4X y su réplica son el ejemplo más claro de esto, ya que las grietas no se observaron en las radiografías, seguramente por su orientación o por el tiempo corto de exposición radiográfica; lo cual fue subsanado por la aplicación del ultrasonido.

Tabla 14. Registro resultados ultrasonido, patrones planos

PATRONES PLANOS	DESIGNACIÓN	DIMENSIONES (mm)	INDICACIÓN	CLASE	EVALUACION AWS D1.1	
					A	R
	<b>EC P1X</b>	5	11,7	D	X	
	<b>EC P2X</b>	10	7,5	C	X	
		12	10,0	D	X	
		25	5,4	A		X
		15	11,9	D	X	
		20	14,3	D	X	
		8	10,6	D	X	
	<b>EC P3X</b>	12	7,0	C	X	
		10	5,9	A		X
		8	9,8	D	X	
		20	5,4	A		X
		18	7,8	C	X	
		28	5,0	A		X
	<b>EC P4X</b>	7	10,6	D	X	
		15	11,3	D	X	
		10	7,2	C	X	
		18	3,5	A		X
		24	3,6	A		X
		12	9,5	D	X	
	<b>EC P1Y</b>	9	5,2	A		X
		7	11,7	D	X	
	<b>EC P2Y</b>	15	11,1	D	X	
		23	7,9	C	X	
		12	10,3	D	X	
		35	4,5	A		X
	<b>EC P3Y</b>	27	4,7	A		X
		6	6,2	B	X	
		8	6,6	B	X	
		5	7,4	C	X	
		13	5,7	A		X
	<b>EC P4Y</b>	15	5,8	A		X
		28	-2,2	A		X
		35	-0,5	A		X
		8	-2,5	A		X

A continuación se presenta la tabla 16, donde se encuentran los registros obtenidos por medio de la técnica de ultrasonido en patrones tubulares, las dimensiones de las discontinuidades encontradas y su respectiva evaluación por medio de la norma API 1104

Tabla 15 Registro ultrasonido, patrones tubulares

PATRONES TUBULARES	DESIGNACIÓN	DIMENSIONES INDICACIONES (mm)	GANANCIA (dB)	INDICACIÓN	EVALUACION API 1104	
					A	R
EC T2X	12	85.0	LINEAL	X		
	17	87.0	GEOMETRICA	--	--	
	8	84.5	VOLUMETRICA		X	
EC T3X	8	79.5	VOLUMETRICA	X		
	9	82.0	VOLUMETRICA	X		
	15	81.0	GEOMETRICA	--	--	
	6	85.0	VOLUMETRICA	X		
	30	87.0	LINEAL		X	
EC T2Y	8	83.0	VOLUMETRICA		X	
	12	82.5	LINEAL	X		
	17	85.0	GEOMETRICA	--	--	
	5	84.0	VOLUMETRICA	X		
EC T3Y	10	84.0	GEOMETRICA	--	--	
	18	85.0	LINEAL	X		
	8	42.5	VOLUMETRICA	X		

La norma API 1104 clasifica las indicaciones en lineales, volumétricas y geométricas para su respectiva evaluación. Las últimas hacen referencia a indicaciones que no son imperfecciones y no se consideran relevantes para su aceptabilidad. En la tabla 16 se pueden encontrar este tipo de indicaciones, la cual se presenta por la unión del inicio y final del cordón de soldadura, más conocido como traslape. Los criterios de aceptación y rechazo para las indicaciones lineales y volumétricas se encuentran en el capítulo 2, tabla 5.

La técnica de ultrasonido, es una técnica que en la actualidad se ha potencializado en la evaluación de las uniones de estructuras metálicas, para un desarrollo de la misma se debe adquirir practica y destreza en la identificación de indicaciones. Los patrones o muestras obtenidas en este trabajo de investigación son herramientas de utilidad para la enseñanza de esta técnica.

## 5. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos de la investigación sobre la evaluación de muestras soldadas con defectología típica para su respectivo uso en la enseñanza de los Ensayos No Destructivos, se derivan las siguientes conclusiones:

- Fue de vital importancia para el desarrollo del presente trabajo, obtener el conocimiento necesario acerca de la defectología que se presenta con mayor regularidad en las uniones metálicas y las normas técnicas aplicables con el fin de diseñar y elaborar patrones con defectos inducidos para una posterior evaluación por medio de Ensayos No Destructivos.
- Se obtuvo ocho patrones planos y cuatro tubulares con defectología típica superficial, subsuperficial e interna y uniones metálicas soldadas siendo una herramienta útil en la enseñanza de Ensayos No Destructivos. para esto se establecieron procedimientos (WPS) para cada uno de los patrones, tanto planos como tubulares, en los cuales se describe las variables tenidas en cuenta para la inducción de cada defecto.
- La formación de grietas se destacó por ser el defecto inducido con mayor dificultad en los patrones EC P4X y EC P4Y ya que el metal base es Acero A36, y estos se caracterizan por su alta soldabilidad. Se obtuvo por medio de un tratamiento térmico de cementación sólida, dejando una abertura de 5/32" y eludiendo el precalentamiento necesario para realizar la soldadura en superficies con alto contenido de carbono.
- Se comprobó por medio de las réplicas realizadas a cada uno de los patrones iniciales, que con base a las variables ya establecidas se obtienen los defectos planteados para este trabajo de investigación.

- Por medio de las técnicas de inspección visual, Radiografía industrial y ultrasonido se encontraron todos y cada uno de los defectos establecidos en el presente documento, tanto internos como superficiales.
- se encontró defectología no considerada inicialmente en el diseño en los patrones EC P1X, EC P1Y, EC P3X, EC P3Y, EC T2Y, EC T3X y EC T3Y como porosidad e inclusiones de escoria, estos se produjeron ya que el proceso de soldadura SMAW es un procedimiento manual y facilita la formación de defectos en el cordón.
- No se consiguió que las placas ECP 1X y su respectiva réplica estuvieran libres de cualquier tipo de discontinuidad ya que el proceso de soldadura SMAW es manual y sensible a cualquier tipo de alteración, éstas presentaron salpicaduras y porosidad, sus dimensiones no son relevantes según el código AWS D1.1 por ende se consideran soldaduras sanas.
- Fue necesario aplicar el ensayo de partículas magnéticas fluorescentes para la visualización de las grietas obtenidas en las placas ECP 4X y su réplica, ya que no fueron posibles de observar por medio de inspección visual.
- Se ratifica que las técnicas de inspección son complementarias, ya que por medio de una sola no se puede visualizar toda la defectología del cordón de soldadura y es necesario acudir a un segundo o tercer ensayo.

## 6. RECOMENDACIONES

Concluida el presente trabajo de investigación se recomienda:

- Continuar con el estudio realizando en diferentes combinaciones de defectología típica en estructuras metálicas en patrones con otro tipo de uniones soldadas, como por ejemplo en T, X, entre otras y de tal forma obtener herramientas útiles en la enseñanza de los ensayos no destructivos.
- Implementar la elaboración de uniones metálicas con defectología inducida mediante otros procesos de soldadura en diferentes materiales bases como la fundición, aceros inoxidable, aluminio, entre otros, con el fin de tener una variedad de patrones para su respectiva caracterización por diferentes técnicas de inspección.
- Gestionar de una manera eficaz el personal que se encargará de realizar los cordones de soldaduras, éstos deben tener una alta experiencia en el área y un gran conocimiento sobre el tema, de tal forma que pueda ser un apoyo en el momento de realizar esta importante etapa.

## RREFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] ESAB MÉXICO. Soldadura Manual con Electrodo – SMAW, GTAW  
[Disponible en <http://www.esabna.com/mx/sp/educacion/Procesos/Soldadura-Manual-con-electrodos-MMA.cfm>]
- [2] GÓMEZ MORENO, Orlando José. Soldadura de Metales. Universidad Industrial de Santander. 1993.
- [3] AMERICAN WELDING SOCIETY EDUCATOR'S LIBRARY, Welding Processes.  
[Disponible en <http://www.aws.org/cgi-bin/educate>]
- [4] GARCÍA ARANDA, Vicente. Medios De Unión De Estructuras Metálicas (II)  
[Disponible en <http://vgatec.blogspot.com/2013/06/medios-de-union-de-estructuras.html>].
- [5] OSPINA LOPEZ, Ricaurte; et al. Aplicación y selección de ensayos no destructivos para la evaluación de uniones soldadas. Universidad Tecnológica de Pereira. 2011.
- [6] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIAL (ASTM). Standard Terminology for Nondestructive Examinations. ASTM E1316-14.
- [7] AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS), Structural Welding Code – Steel AWS D1.1/D1.1M:2010. 22ed.
- [8] GROOVER, Mikell P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems. John Wiley and Sons, 2010. 4<sup>th</sup> ed.

[9] HELLIER, CHARLES J. Handbook of nondestructive evaluation. McGRAW-HILL. London. 2001.

[10] ECHAVARRIA, Ricardo. Ultrasonido, Universidad de Comahue, Facultad De Ingeniería Laboratorio END, 2002.

[11] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API), Standard for Welding Pipelines and related facilities. API Standard 1104. 2013. 21ed.

[12] AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS), Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding AWS A5.1/A5.1M:2012

[13] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIAL (ASTM). Standard Practice for Design, Manufacture and Material Grouping Classification of Wire Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology. ASTM E747-04 (2010)

[14] FERNÁNDEZ, Mayerly; ORTÍZ, Liliana. Sistema de información para el reconocimiento en radiografías de defectos de soldaduras en aceros. Universidad Industrial de Santander. 2010.

## BIBLIOGRAFIA

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API), Standard for Welding Pipelines and related facilities. API Standard 1104. 2013. 21ed.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIAL (ASTM). Standard Practice for Design, Manufacture and Material Grouping Classification of Wire Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology. ASTM E747-04 (2010)

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIAL (ASTM). Standard Terminology for Nondestructive Examinations. ASTM E1316-14.

AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS), Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding AWS A5.1/A5.1M:2012

AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS), Structural Welding Code – Steel AWS D1.1/D1.1M:2010. 22ed.

AMERICAN WELDING SOCIETY EDUCATOR'S LIBRARY, Welding Processes. [Disponible en <http://www.aws.org/cgi-bin/educate>]

ECHAVARRIA, Ricardo. Ultrasonido, Universidad de Comahue, Facultad De Ingeniería Laboratorio END, 2002.

ESAB MÉXICO. Soldadura Manual con Electrodo – SMAW, GTAW [Disponible en <http://www.esabna.com/mx/sp/educacion/Procesos/Soldadura-Manual-con-electrodos-MMA.cfm>]

FERNÁNDEZ, Mayerly; ORTÍZ, Liliana. Sistema de información para el reconocimiento en radiografías de defectos de soldaduras en aceros. Universidad Industrial de Santander. 2010.

GARCÍA ARANDA, Vicente. Medios De Unión De Estructuras Metálicas (II) [Disponible en <http://vgatec.blogspot.com/2013/06/medios-de-union-de-estructuras.html>].

GÓMEZ MORENO, Orlando José. Soldadura de Metales. Universidad Industrial de Santander. 1993.

GROOVER, Mikell P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems. John Wiley and Sons, 2010. 4<sup>th</sup> ed

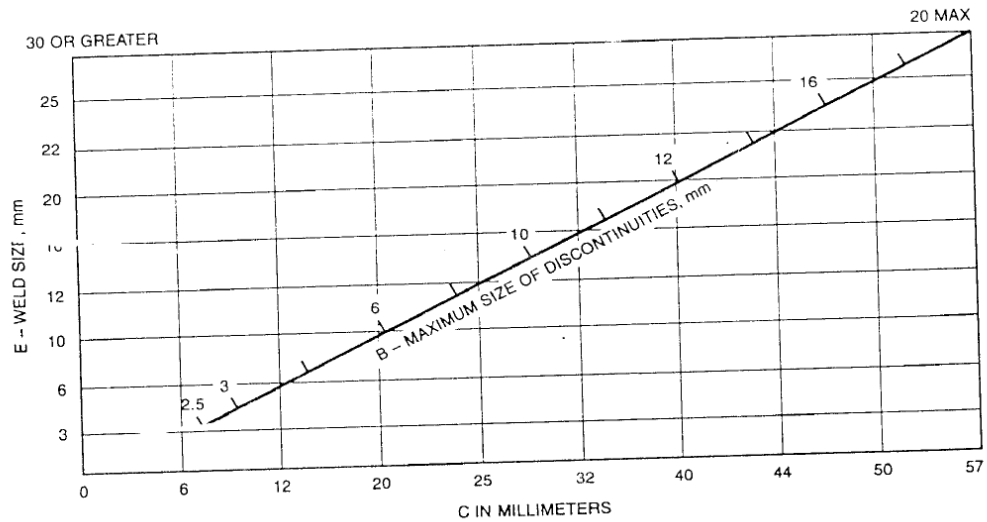
HELLIER, CHARLES J. Hanbook of nondestructive evaluation. McGRAW-HIL. London. 2001.

NIÑO, Isabel; Hernández, Sergio. Elaboración de muestras con defectos para su uso en la enseñanza de los ensayos no destructivos. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Metalúrgica. 2000

OSPINA LOPEZ, Ricaurte; et al. Aplicación y selección de ensayos no destructivos para la evaluación de uniones soldadas. Universidad Tecnológica de Pereira. 2011.


## ANEXOS

**Anexos A.** Requisitos de calidad de soldaduras, Discontinuidades RI para estructuras planas cargas estáticamente



Fuente: Structural Welding Code- AWS D1.1

Anexos B. WPS patrones planos.

 <p>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-QUÍMICA ESCUELA INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES GRUPO DE INVESTIGACIÓN GIMAT</p>		<p><b>ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b></p>		<p><i>Ficha 2</i></p> <p>WPS: Patrones planos</p> <p>FECHA:</p>	
<p>CLIENTE:</p>					
<p>PROCESO DE SOLDADURA:</p>		<p>SMAW</p>	<p>TIPO:</p>		<p>Manual</p>
<p><b>CLASE DE JUNTA ASOLDAR</b></p>			<p><b>DISEÑO DE LA JUNTA</b></p>		
<p>DISEÑO DE LA JUNTA:</p>		<p>A tope (V sencilla)</p>			
<p>RESPALDO:</p>		<p>SI:</p>	<p>NO:X</p>		
<p><b>POSICIONES</b></p>					
<p>POSICIÓN DE LA JUNTA:</p>		<p>1G</p>			
<p>DIRECCIÓN DE AVANCE</p>					
<p>OTROS:</p>					
<p><b>METAL BASE</b></p>					
<p>ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL BASE:</p>		<p>Acero Estructural ASTM A36</p>			
<p>COMPOSICIÓN QUÍMICA:</p>	<p>%C</p>	<p>%P</p>	<p>%S</p>	<p>%Si</p>	<p>%Cu</p>
	<p>0,26 MAX</p>	<p>0,04 MAX</p>	<p>0,05 MAX</p>	<p>0,4 MAX</p>	<p>0,20 MAX</p>
<p>ESPESOR:</p>		<p>9,4 mm</p>		<p>DIAMETRO :</p>	
				<p>----</p>	
<p><b>METAL DE APORTE</b></p>					
<p>DESCRIPCIÓN</p>		<p>NÚMERO DE PASES</p>			
		<p>RAÍZ</p>	<p>RELLENO 1</p>	<p>RELLENO 2</p>	<p>PRESENTACIÓN</p>
					<p>N</p>
<p>N° ESPECIFICACIÓN AWS</p>		<p>E 6010</p>	<p>E 7018</p>	<p>E 7018</p>	<p>E 7018</p>
<p>DIAMETRO DE ELECTRODO</p>		<p>1/8</p>	<p>1/8</p>	<p>1/8</p>	<p>1/8</p>
<p><b>TÉCNICA UTILIZADA EN CADA PASE</b></p>					
		<p>RAÍZ</p>	<p>RELLENO 1</p>	<p>RELLENO 2</p>	<p>PRESENTACIÓN</p>
<p>TÉCNICA</p>		<p>Tejido</p>	<p>Latigazo</p>	<p>Latigazo</p>	<p>Media Luna</p>
<p>LIMPIEZA</p>		<p>pulidora</p>	<p>Cinzel-pulidora</p>	<p>Cinzel-pulidora</p>	<p>Grata eléctrica</p>
<p>OBSERVACIONES:</p> <p><u>Falta de fusión:</u> se obtuvo al no fundir uno de los biseles, este defecto se dejó visible luego se realizó en el cordón de presentación</p> <p><u>Porosidad:</u> la alteración del electrodo mediante humedad y quitando parcialmente el recubrimiento dio lugar a inducir este defecto. Esto se realizó en el segundo cordón de relleno</p>					

Salpicaduras: el chisporroteo se realizó en el primer cordón de relleno al aumentar la longitud del arco.

Falta de penetración: se realizó en el pase de raíz bajando el amperaje a 45 amp


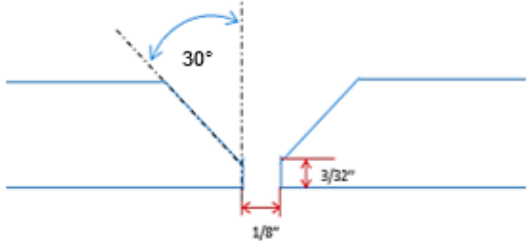
Inclusión de escoria: se obtuvo por medio de un mal escoriado en el primer cordón de relleno, al momento de pasar el segundo cordón de relleno por los residuos de escoria se bajó al amperaje a 85-90 Amp

Socavación: se facilitó mediante el cambio de posición a 3G y soldando vertical ascendentemente.

**CARACTERISTICAS DEL PROCESO DE SOLDADURA ENTRE PASES**

PASES	PROCESO	CORRIENTE			VELOCIDAD DE AVANCE PROMEDIO ( mm/s)
		CLASE	EMPERAJ E ( Amp)	POLARIDAD	
<b>RAÍZ</b>	SMAW	CC/ CA	55-60	+	1,32
<b>RELLENO 1</b>	SMAW	CC/ CA	115-120	+	1,74
<b>RELLENO 2</b>	SMAW	CC/ CA	115-120	+	1,28
<b>PRESENTACIÓN</b>	SMAW	CC/ CA	120-125	+	1,33
APROBADO PARA:		FABRICACIÓN			
ELABORADO POR:		Viviana Candela Orduz Ángela Espinosa			
FECHA:					

**Anexos C. WPS patrones tubulares**

 <p>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD FISICO-QUIMICA ESCUELA INGENIERIA METALURGICA Y CIENCIA DE MATERIALES GRUPO DE INVESTIGACION GIMAT</p>		<p><b>ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b></p>		<p><i>FICHA N° 3</i></p> <p>WPS: Patrones Tubulares</p> <p>FECHA:</p>		
<p>CLIENTE:</p>						
<p>PROCESO DE SOLDADURA: SMAW</p>		<p>TIPO: Manual</p>				
<p><b>CLASE DE JUNTA ASOLDAR</b></p>			<p><b>DISEÑO DE LA JUNTA</b></p>			
<p>DISEÑO DE LA JUNTA: A tope (V sencilla)</p>						
<p>RESPALDO: SI: NO:X</p>						
<p><b>POSICIONES</b></p>						
<p>POSICIÓN DE LA JUNTA: 1G</p>						
<p>DIRECCIÓN DE AVANCE</p>						
<p>OTROS:</p>						
<p><b>METAL BASE</b></p>						
<p>ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL BASE: Acero Estructural ASTM A36</p>						
<p>COMPOSICIÓN QUIMICA:</p>		<p>%C 0,26 MAX</p>	<p>%P 0,04 MAX</p>	<p>%S 0,05 MAX</p>	<p>%Si 0,4 MAX</p>	<p>%Cu 0,20 MAX</p>
<p>ESPEJOR: 6 mm</p>		<p>DIAMETRO :</p>		<p>115 mm</p>		
<p><b>METAL DE APORTE</b></p>						
<p>DESCRIPCIÓN</p>		<p>NÚMERO DE PASES</p>				
		<p>RAIZ</p>	<p>RELLENO 1</p>	<p>RELLENO 2</p>	<p>PRESENTACIÓN</p>	
<p>N° ESPECIFICACIÓN AWS</p>		<p>E 6010</p>	<p>E 7018</p>	<p>--</p>	<p>E 7018</p>	
<p>DIAMETRO DE ELECTRODO</p>		<p>1/8</p>	<p>1/8</p>	<p>--</p>	<p>1/8</p>	
<p><b>TÉCNICA UTILIZADA EN CADA PASE</b></p>						
	<p>RAIZ</p>	<p>RELLENO 1</p>	<p>RELLENO 2</p>	<p>PRESENTACION</p>		
<p>TÉCNICA</p>	<p>Tejido</p>	<p>Latigazo</p>	<p>Latigazo</p>	<p>Media Luna</p>		
<p>LIMPIEZA</p>	<p>pulidora</p>	<p>Cinzel-pulidora</p>	<p>Cinzel-pulidora</p>	<p>Grata eléctrica</p>		
<p>OBSERVACIONES:</p> <p><b>DEFECTOLOGÍA:</b> Quemón-falta de penetración y golpe de arco</p> <p><u>Quemón:</u> se realizó en el pase de raíz subiendo el amperaje a (120-125) Amp</p> <p><u>Falta de Penetración:</u> se ubicó en el pase de raíz bajando el amperaje a (30-35) Amp.</p>						

Golpe de arco: se realizó en la zona afectada térmicamente, cerca del cordón, con un amperaje de 100 Amp.

Exceso de penetración: se realizó un mayor aporte de material

Socavación: cambio de posición de soldadura a G3

Salpicadura: Se realizó aumentando la longitud de arco en el cordón de presentación.

**CARACTERISTICAS DEL PROCESO DE SOLDADURA ENTRE PASES**

PASES	PROCESO	CORRIENTE			VELOCIDAD DE AVANCE ( mm/s)
		CLASE	EMPERAJE ( Amp)	POLARIDAD	
<b>RAIZ</b>	SMAW	CC/CA	45-50	+	0,97
<b>RELLENO 1</b>	SMAW	CC/CA	95-100	+	0,57
<b>RELLENO 2</b>	--	--	--	--	--
<b>PRESENTACIÓN</b>	SMAW	CC/CA	100-105	+	0,73
APROBADO PARA:	FABRICACIÓN				
ELABORADO POR:	Viviana Candela Orduz Ángela Espinosa				
FECHA:					

Anexos D. Radiografías en tamaño original de patrones planos y tubulares

