

**FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROBETAS SOLDADAS CON
DEFECTOLOGÍA INDUCIDA PARA ENTRENAMIENTO EN END.**

**RICHARD ANTONIO PEÑA ANGARITA
OSCAR FABIÁN VÁSQUEZ LANDAZABAL**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA**

2015

**FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROBETAS SOLDADAS CON
DEFECTOLOGÍA INDUCIDA PARA ENTRENAMIENTO EN END**

**RICHARD ANTONIO PEÑA ANGARITA
OSCAR FABIÁN VÁSQUEZ LANDAZABAL**

**Trabajo de grado, presentado como requisito parcial para optar al título de
ingeniero metalúrgico.**

DIRECTOR:

**JULIAN ORLANDO HERRERA ORTIZ
MsC. En Ingeniería de Materiales**

Co-Director:

**LUZ AMPARO QUINTERO ORTIZ
MsC. En Ingeniería Metalúrgica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA**

2015

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A la Universidad Industrial de Santander por darnos la oportunidad de conformar su familia universitaria y brindarnos la ayuda necesaria para crecer intelectual y espiritualmente.

A nuestro director de proyecto MsC. Julián Orlando Herrera Ortiz y codirectora MsC. Luz Amparo Quintero Ortiz, por compartirnos sus conocimientos y vivencias profesionales para el desarrollo de esta investigación y para nuestro futuro como ingenieros.

A los técnicos en soldadura del SENA por proporcionarnos los equipos necesarios y brindarnos la colaboración incondicional durante el trabajo realizado en los talleres en Girón, la cual fue indispensable para el desarrollo de este proyecto.

A la escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales por ser nuestra guía y apoyo en el desarrollo de nuestra carrera, de igual manera a todos los docentes de las diferentes áreas y técnicos de laboratorio por su disposición, colaboración y paciencia durante esta etapa de formación.

Muchas gracias.

DEDICATORIA

Dedicada a Dios, quien supo guiarme por el mejor camino dándome sabiduría y fuerzas para nunca desfallecer.

Los segundos son mis padres quienes han inculcado un espíritu de honestidad y humildad. Soy lo que ellos han querido hacer de mí y estaré en deuda con ellos por todos los tiempos.

A mis hermanos que me han brindado sus mejores consejos en los momentos indicados para hacerme una persona más INTEGRAL! Mi familia ha sido un factor fundamental en el desarrollo de esta meta quienes con su apoyo me guiaron a esta meta. Mis más sinceros agradecimientos a mis sobrinos, tíos, tías, abuelos y primas que me han acompañado en esta meta cumplida, incluyendo familiares afines como Claudia P.

De igual forma a mi compañero y amigo Richard Peña por su apoyo, confianza y esfuerzo para sacar este proyecto adelante. A Andreita G. que con sus consejos y apoyos se convirtió en un motor para trazar metas presentes y futuras.

Terminando con la dedicación pero no menos importantes a mis compañeros y amigos que de una u otra forma han forjado una persona con capacidades inigualables: Karen, Evelid, Ángel, Silvia, Pipe, Jorge, Nain, Heyler, Laura, Daira, Angie, Cami, Nathalia entre muchos más... A todos ellos por brindarme un pedazo de su amistad y apoyo.

Si alguien faltase, este no será el final, esta meta es la primera de muchas por cumplir.

;))

“La vida es linda pero aún más cuando se es Ing. Metalúrgico”.

Oscar F. Vasquez...

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por darme lo necesario durante mi formación en la Universidad y darme la oportunidad de luchar todos los días por mis sueños.

A mi madre Esperanza Angarita que desde los cielos me ha acompañado en este maravilloso viaje de aprendizaje y con su amor siempre me ha dado fuerzas en los momentos más difíciles, a ella le debo mi existencia.

A mi abuela Aura María Gómez y mi tía Stella Fajardo que desde niño me han inculcado los valores necesarios para ser una buena persona y siempre me han apoyado y han creído en mí incondicionalmente, a ellas les debo todo lo que soy.

A mi padre José Antonio Peña por cuidarme y ser mi ejemplo de humildad y perseverancia desde que tengo uso de razón, de él espero siempre se sienta orgulloso de mí.

A mi hermana Claudia Chaparro, mis primos, mis tíos y demás familiares que siempre tuvieron fe en mis capacidades para afrontar el reto de ser un profesional íntegro, de ellos espero se sientan felices por mis logros.

A mi amigo incondicional Oscar Fabián Vásquez quien siempre me brindó la confianza y el apoyo necesario para sacar adelante este proyecto, a él le agradeceré por siempre su lealtad y compromiso.

A mis compañeros Heyler, Shirley, Karen, Jonathan, Derby, Sebastián, Diego y demás por su sincera amistad, cariño y confianza, gracias de todo corazón por estar ahí cuando más los necesité.

“Ama lo que haces, ama ser Ingeniero Metalúrgico”.

Richard antonio peña angarita.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	19
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	19
1.2. OBJETIVOS	20
1.2.1. Objetivo general.	20
1.2.2. Objetivos específicos.	20
2. MARCO CONCEPTUAL	21
2.1. SOLDADURA	21
2.1.1. Proceso de soldadura por arco eléctrico SMAW.	21
2.1.2. Defectología típica de soldadura y sus principales causas.	22
2.2. NORMATIVIDAD	22
2.3. JUNTAS DE SOLDADURA	24
2.4. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END)	25
2.5. PATRONES DE ENTRENAMIENTO EN END	26
3. METODOLOGÍA	27
3.1. REVISIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO	28
3.2. DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS	28
3.2.1. Diseño de Probetas.	28
3.2.2. Diseño de Procedimientos de Soldadura.	29
3.3. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	34
3.3.1. Adquisición de Materiales.	34
3.3.2. Evaluación del Material Base.	37

3.4. ELABORACIÓN DE PROBETAS	39
3.4.1. Preparación de Juntas	39
3.4.2. Elaboración de Probetas a Tope	40
3.4.3. Elaboración de Probetas en T	40
3.5. APLICACIÓN DE END	40
3.5.1. Inspección de Probetas a tope	41
3.5.2. Inspección de Probetas en T	42
3.6. EVALUACIÓN SEGÚN NORMAS TÉCNICAS	44
3.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	46
3.8. ELABORACIÓN DE INFORME FINAL	46
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	47
4.1. RESULTADOS DE LA INSPECCION DE MUESTRAS SOLDADAS A TOPE	47
4.2. RESULTADOS DE LA INSPECCION DE MUESTRAS SOLDADAS EN T	54
5. CONCLUSIONES	65
6. RECOMENDACIONES	67
REFERENCIAS	68
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	78

LISTA DE FIGURAS

	PÁG.
Figura 1. Diagrama de la metodología usada en el proyecto.	27
Figura 2. Geometría y dimensiones de las muestras de soldadura.	29
Figura 3. Configuración de juntas para muestras soldadas.	32
Figura 4. Patrón de escaneo C o en zigzag.	42
Figura 5. Ilustración de la técnica de radiación aplicada a las probetas en T.	43
Figura 6. Vista de interés de la muestra P1.	48
Figura 7. Vistas de interés de la muestra T1.	55

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Comparación del proceso SMAW con respecto a otros procesos de soldadura por arco eléctrico [6].	22
Tabla 2. Discontinuidades del proceso SMAW y sus causas [7].	23
Tabla 3. Normas aplicables en la evaluación de discontinuidades de soldadura.	23
Tabla 4. Juntas de soldadura.	24
Tabla 5. Características relevantes de los END	25
Tabla 6. Arreglos defectológicos.	30
Tabla 7. Planos de distribución de discontinuidades.	31
Tabla 8. Propiedades del acero al carbono ASTM A36.	32
Tabla 9. Características fundamentales de los electrodos.	34
Tabla 10. Procedimiento de soldadura WPS para muestras soldadas a tope.	35
Tabla 11. Procedimiento de soldadura WPS para muestras soldadas en T.	36
Tabla 12. Evaluación metalográfica del metal base.	38
Tabla 13. Criterios de aceptación y rechazo según el código AWS D1.1.	45
Tabla 14. Inspección y evaluación por VT en la muestra P1.	48
Tabla 15. Inspección y evaluación por PT en la muestra P1.	49
Tabla 16. Inspección por MT en la muestra P1.	50
Tabla 17. Inspección de muestras soldadas a tope por VT.	51
Tabla 18. Inspección de muestras soldadas a tope por PT.	52
Tabla 19. Inspección de muestras soldadas a tope por MT.	53
Tabla 20. Resultados de la evaluación de las muestras soldadas a tope según el código AWS D1.1.	54
Tabla 21. Inspección y evaluación por VT en la muestra T1.	56
Tabla 22. Inspección y evaluación por RT en la muestra T1.	57
Tabla 23. Inspección y evaluación por UT en la muestra T1.	58

Tabla 24. Inspección de muestras soldadas en T por VT.	59
Tabla 25. Inspección de muestras soldadas en T por RT.	61
Tabla 26. Inspección de muestras soldadas en T por UT.	63
Tabla 27. Resultados de la evaluación de las muestras soldadas en T según el código AWS D1.1.	64

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Propiedades mecánicas del acero estructural ASTM A36.	78
Anexo B. Porosidad máxima aceptable en radiografía para cualquier largo de soldadura igual o mayor que 75 mm.	79

RESUMEN

TITULO: FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROBETAS SOLDADAS CON DEFECTOLOGÍA INDUCIDA PARA ENTRENAMIENTO EN END*

AUTORES: VÁSQUEZ LANDAZABAL, Oscar Fabián.
PEÑA ANGARITA, Richard Antonio**

PALABRAS CLAVE: Soldadura, defectología inducida, ensayos no destructivos (END), patrones de entrenamiento.

RESUMEN:

Para asegurar la calidad, homogeneidad y óptimo desempeño de la soldadura es indispensable realizar inspecciones antes, durante y después de ejecutado el proceso de unión sin alterar las propiedades físicas y químicas tanto del material base como del cordón de soldadura. Por esta razón es de vital importancia llevar a cabo estas inspecciones con fines preventivos y de mantenimiento por medio de END ya que estos ensayos dependiendo de la técnica que se aplique permiten identificar discontinuidades superficiales, subsuperficiales e internas que puedan afectar la integridad de las uniones y por consiguiente generar pérdidas económicas y humanas al momento de fallar ya sea por fatiga, corrosión, mal diseño del proceso de soldadura o mala ejecución por parte del soldador.

Por tal motivo, el enfoque de este proyecto estuvo dirigido a fabricar muestras con defectología típica inducida representativas de una estructura metálica, evaluando las discontinuidades generadas en dichas probetas bajo criterios de aceptación y rechazo según normas técnicas aplicables. Lo anterior, con el propósito de fabricar material para entrenamiento y capacitación de personal en inspección de soldaduras mediante END con la habilidad y el criterio de determinar si una junta soldada posee la calidad necesaria para prestar un óptimo servicio. Además de familiarizarse con la defectología típica inducida en las muestras fabricadas y adquirir la suficiente experiencia para desarrollar actividades resales de trabajo.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingeniería Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Director: MsC. Julián Orlando Herrera Ortiz.

ABSTRACT

TITLE: MANUFACTURE AND EVALUATION OF WELDED SPECIMENS INDUCED DEFECTOLOGY FOR TRAINING NDT*

AUTHORS: VÁSQUEZ LANDAZABAL, Oscar Fabián.
PEÑA ANGARITA, Richard Antonio**

KEY WORDS: Welding, defectology induced, nondestructive testing (NDT), training patterns.

To ensure the quality, consistency and optimal welding performance is necessary to do inspections before, during, and after the execution of the bonding process without altering the physical and chemical properties of both the base material and weld bead. For this reason, it is vital to carry out these inspections and preventive maintenance through the NDT testing. Depending on the technique used on the trial, it will allow to identify superficial, sub-superficial and internal discontinuities that may affect the integrity of joints and thus, generating economic and human losses when either fatigue, corrosion, poor design of the welding process or poor performance by the welder.

Therefore, the focus of this project was aimed at making defectology typical representative samples induced a metal structure, evaluating the discontinuities generated in these specimens, under the criteria of acceptance and rejection in accordance with applicable technical standards. This, with the purpose of produce training material for individuals that perform inspections through the NDT testing and provide them the skills and judgment to determine, whether a welded joint has the quality to provide an optimal service. Besides familiar with the typical defectology induced manufactured samples and acquire enough experience to develop real work activities.

* Word of Degree

** Faculty of Physicochemical Engineering School of Metallurgical Engineering and Science of Materials. Director: MsC. Julián Orlando Herrera Ortiz.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la industria de la construcción en Colombia ha presentado un sustancial crecimiento debido a la implementación de innovadoras estructuras metálicas en las principales ciudades del país. Estas nuevas estructuras están constituidas por un gran número de componentes soldados que deben cumplir con requisitos y estándares de calidad para prestar un óptimo servicio. Por este motivo es importante contar con procesos de inspección por ensayos no destructivos (END) que aseguren la sanidad de estos componentes soldados, así como también de personal certificado y calificado en este tipo de técnicas para reducir costos en prevención y mantenimiento de las mismas.

Ahora bien, con el propósito de desarrollar una metodología capaz de atender las necesidades anteriormente descritas y de contar con una base conceptual clara y concisa, en el presente proyecto se consultó y analizó información enfocada a temas de interés tales como soldadura, normas técnicas aplicables a estructuras metálicas, END y patrones de entrenamiento. La metodología desarrollada para este trabajo destaca las etapas de diseño de procedimientos y elaboración de probetas debido a que contienen actividades fundamentales que permitieron el desarrollo de las pautas necesarias para la fabricación de probetas con defectología inducida. Algunos ejemplos de estas pautas son la elección del tipo de probetas y sus dimensiones, la defectología a inducir y su distribución, el proceso de soldadura y los parámetros que se variaron y controlaron para generar la defectología seleccionada.

También se resalta la importancia de la aplicación de END debido a que en esta etapa están consignadas las características y parámetros generales de los procesos de inspección que se llevaron a cabo para la determinación, medición y

clasificación de las discontinuidades inducidas sobre las probetas fabricadas y que permitieron la evaluación de dichas discontinuidades bajo criterios de aceptación y rechazo según normas técnicas aplicables. Por último, se encuentran los respectivos análisis de resultados realizados según los END aplicados a los diferentes tipos de probetas; en estos análisis se describen detalladamente las discontinuidades encontradas en cada ejemplar elaborado, los parámetros que se variaron y controlaron para propiciar la generación de éstas y su evaluación final de acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo aplicados.

Finalmente, se puede apreciar que los resultados obtenidos en materia de fabricación y evaluación de probetas con defectología inducida para entrenamiento en END son satisfactorios y cumplen con los objetivos trazados para éste proyecto. Esto fue posible gracias al conjunto de actividades realizadas a lo largo del presente trabajo como la continua revisión y análisis de bibliografía, el correcto diseño de probetas y de procedimientos de soldadura, la adecuada selección del material base y los electrodos de soldadura, entre otras, que permitieron establecer las condiciones más favorables para la elaboración de las probetas y su posterior evaluación, así como su disposición para el entrenamiento de personal que requiera conocimientos prácticos en técnicas de END.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad la mayoría de las industrias Nacionales buscan alcanzar lineamientos internacionales con el fin de certificar sus procesos con los más altos estándares de calidad y, de esta manera, poder ser competitivas frente a mercados extranjeros. Un claro ejemplo de esta iniciativa son las nuevas estructuras metálicas que han venido integrándose en todo el país, desarrolladas principalmente en la aplicación de obras urbanas tales como puentes (peatonales y viaductos), centros comerciales y edificios residenciales, las cuales cuentan con una gran cantidad de accesorios unidos por soldadura y que requieren de una correcta evaluación para garantizar un óptimo servicio [1].

Ahora bien, para poder realizar una evaluación eficiente a todas las uniones metálicas que componen dichas estructuras, es necesario disponer de personal capacitado y entrenado en técnicas de END, capaz de llevar a cabo una inspección completa a las diferentes piezas soldadas durante su proceso de unión y posterior servicio. Sin embargo, garantizar que el entrenamiento y la capacitación sean de calidad, requiere la disposición de recursos físicos tales como patrones soldados con defectología inducida que puedan crear un ambiente propicio de trabajo y así, brindar la suficiente experiencia al inspector para alcanzar los diferentes niveles de certificación [2].

Debido a las necesidades reflejadas anteriormente, la Universidad Industrial de Santander (UIS) junto con la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales se han visto obligadas a implementar métodos de aprendizaje más prácticos y dinámicos para mejorar las cualidades y aptitudes de sus estudiantes

de pregrado y postgrado. Por esta razón, los conocimientos teórico-prácticos adquiridos durante el proceso de formación profesional deben estar a la vanguardia para garantizar una alta competitividad al momento de enfrentar los diversos retos que se generan en este ámbito laboral.

Por esta razón, el enfoque principal de este proyecto está dirigido a la creación de probetas soldadas que simulen una estructura real, con la cual se pueda brindar un entrenamiento eficiente en el campo de los END y así, capacitar personal para que cumpla con los requerimientos mínimos exigidos por las empresas que demanden sus servicios.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general. Fabricar y evaluar probetas soldadas con defectología inducida para entrenamiento en END, siguiendo los lineamientos del código AWS D1.1.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Elaborar probetas soldadas a tope con defectología inducida para entrenamiento en inspección visual, líquidos penetrantes y partículas magnéticas.
- Elaborar probetas soldadas en T con defectología inducida para entrenamiento en inspección visual, radiografía y ultrasonido.
- Evaluar las probetas bajo criterios de aceptación y rechazo según normas técnicas aplicables.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. SOLDADURA

La soldadura es un proceso mediante el cual se unen o fusionan dos superficies metálicas, generalmente fundiendo de forma local las zonas de interés con la ayuda de energía térmica para conseguir un contacto íntimo entre éstas. Además, la soldadura puede considerarse como uno de los procesos más efectivos y eficaces para construir grandes estructuras y geometrías complejas mediante la integración de un gran número de piezas metálicas [3].

2.1.1. Proceso de soldadura por arco eléctrico SMAW. El proceso de soldadura por arco eléctrico SMAW (Shielded Metal Arc Welding) es uno de los procesos más comunes y utilizados en la unión de piezas metálicas, sobre todo en la construcción de estructuras metálicas [4]. Esto se debe a que la fusión de las juntas se logra por medio de un electrodo consumible el cual aporta el metal necesario para rellenarlas y a su vez, protege la soldadura de agentes externos como la humedad e impurezas presentes en el ambiente. Adicionalmente, su versatilidad, equipos y operación sencilla son factores fundamentales que lo hacen un proceso de bajo costo con respecto a otros procesos de soldadura por arco eléctrico.

Por otra parte, el proceso SMAW es uno de los pocos procesos capaz de generar la mayoría de las discontinuidades típicas que se presentan en la unión de piezas metálicas por soldadura. En la tabla 1 se muestra la comparación del proceso SMAW con respecto a otros procesos de soldadura por arco eléctrico en cuanto a la generación de defectología típica [5].

Tabla 1. Comparación del proceso SMAW con respecto a otros procesos de soldadura por arco eléctrico [6].

PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO ELECTRICO	TIPOS DE DISCONTINUIDADES					
	POROSIDAD	INCLUSIÓN DE ESCORIA	FUSIÓN INCOMPLETA	SOCAVADURAS	GRIETAS	PENETRACIÓN INCOMPLETA
SW			X	X	X	
PAW	X		X		X	X
SAW	X	X	X	X	X	X
GTAW	X		X		X	X
GMAW	X	X	X	X	X	X
FCAW	X	X	X	X	X	X
CAW	X	X	X	X	X	X
SMAW	X	X	X	X	X	X

Donde: SW: Stud Welding, PAW: Plasma Arc Welding, SAW: Submerged Arc Welding, GTAW: Gas Tungsten Arc Welding, GMAW: gas Metal Arc Weldin, FCAW: Flux-Cored Arc Welding, CAW: Carbon Arc Welding, SMAW: Shield Metal Arc Welding.

2.1.2. Defectología típica de soldadura y sus principales causas. Las discontinuidades más comunes en la industria de la soldadura son causadas por no ejercer un buen control sobre los parámetros y procedimientos que comprenden la aplicación de los diversos procesos de soldadura. En la tabla 2 se describen los defectos típicos del procedimiento de soldadura SMAW y sus causas.

2.2. NORMATIVIDAD

Existen organizaciones a nivel mundial encargadas de establecer los criterios de aceptación y rechazo en la evaluación de las soldaduras aplicadas en las diferentes industrias, como es el caso de AWS (American Welding Society) y ASME (American Society of Mechanical Engineers). En la tabla 3 se presentan algunos de estos criterios según AWS y ASME.

Tabla 2. Discontinuidades del proceso SMAW y sus causas [7].

DISCONTINUIDAD	DESCRIPCIÓN	CAUSAS
Poros	Cavidad o cavidades formadas por gas atrapado durante la solidificación del metal de soldadura. Los poros generalmente tienen forma más o menos esférica pero también pueden ser alargados.	Revestimiento húmedo, amperaje alto, avance rápido.
Grietas	Discontinuidades de tipo fractura que se caracterizan por sus puntas agudas y la alta relación de su longitud con respecto de su ancho.	Electrodo inadecuado, unión rígida, soldadura defectuosa.
Socavadura	Es una ranura dentro del metal base adyacente al pie o la raíz de la soldadura.	Manejo y diámetro inadecuado del electrodo, amperaje excesivo.
Inclusiones de escoria	Son sólidos no metálicos atrapados en el metal de soldadura o entre el metal de soldadura y el metal base.	Deficiente limpieza de cada cordón, corriente baja.
Faltas de fusión	Falta de unión entre el metal de soldadura y las caras del metal base o de la superficie de otros cordones en las que no ocurrió la fusión.	Mucha velocidad de avance, amperaje bajo.
Faltas de penetración	Es una condición de la raíz de la junta de las soldaduras en la cual el metal de soldadura no se extiende a través de todo el espesor de la junta.	Preparación inadecuada de la junta, electrodo muy grueso.

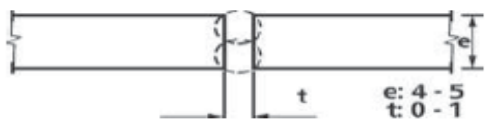
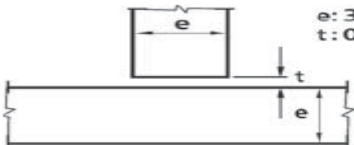
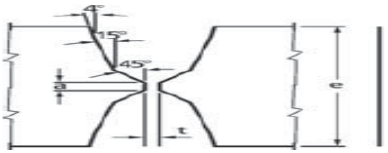
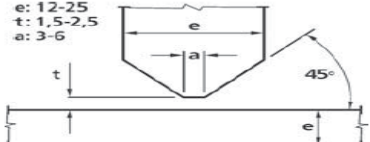
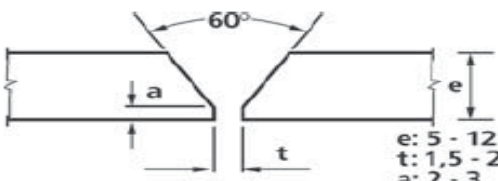
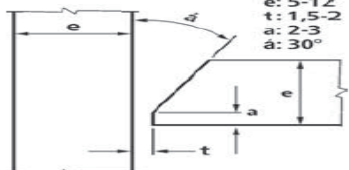
Tabla 3. Normas aplicables en la evaluación de discontinuidades de soldadura.

TIPOS DE DISCONTINUIDAD	AWS D1.1	ASME Sección VIII
Porosidad	No deberá exceder de 3/8" (10mm) de diámetro en cualquier pulgada lineal de soldadura.	La dimensión máxima es 20% del espesor o 1/8", cualquiera que sea menor.
Penetración incompleta	No aceptado en junta de penetración completa.	No aceptable.
Fusión incompleta	No aceptable.	No aceptable.
Socavadura	Hasta 1/32" (0,8mm) para espesores < 1".	1/32" (0,8mm) ó 10% espesor nominal de las superficies adyacentes.
Grietas	No aceptable.	No aceptable.
Inclusiones de escoria	Sin escoria agrupada o la suma de sus dimensiones más grande no exceda 4 mm.	Hasta 1/8" para espesores hasta 3/8".

2.3. JUNTAS DE SOLDADURA

La junta de soldadura es la parte a rellenar de metal situada entre dos o más piezas y tiene los bordes convenientemente preparados. La selección del mejor y más adecuado tipo de junta a utilizar en un proceso de soldadura es una cuestión de suma importancia debido a que la mejor junta es aquella que, con un mínimo costo, satisface todas las condiciones de servicio. Dentro de los diferentes tipos de juntas que existen sobresalen las juntas a tope y las juntas en T por su bajo consumo de electrodos y fácil preparación. En la tabla 4 se muestran ejemplos de cada una de las juntas anteriormente mencionadas con sus características más representativas.

Tabla 4. Juntas de soldadura.

Junta a tope sin bisel	Junta en T sin bisel
 <p>e: 4 - 5 t: 0 - 1</p>	 <p>e: 3-4 t: 0-1</p>
Junta en a tope en 'X'	Junta en T con bisel en doble 'V'
 <p>e: 7-20 t: 2-3 a: 2-3</p>	 <p>e: 12-25 t: 1,5-2,5 a: 3-6</p>
Junta a tope en 'V'	Junta en T con bisel en 'V'
 <p>e: 5 - 12 t: 1,5 - 2 a: 2 - 3</p>	 <p>e: 5-12 t: 1,5-2 a: 2-3 â: 30°</p>
Apropiada para todas las condiciones de carga.	Apta para soportar grandes cargas debido a que las tensiones están bien distribuidas.
Donde a: hombro de la soldadura, e: espesor del material, t: abertura de raíz, d: ángulo del bisel	

Fuente: Código AWS D1.1.

2.4. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END)

Los END son pruebas aplicadas en materiales, soldaduras, componentes y partes fabricadas para detectar discontinuidades superficiales e internas, sin alterar de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Cada técnica de END tiene un uso especial y son complementarias entre sí en la inspección de soldaduras. En la tabla 5 se presentan las características más relevantes de los END.

Tabla 5. Características relevantes de los END

END	PRINCIPIO FÍSICO	DETECCIÓN	APLICACIONES	LIMITACIÓN	NORMATIVIDAD GUIA	
VT- <i>Inspección Visual [8]</i>	Óptica, porción visible del espectro electromagnético.	Cambios superficiales producidos por cambios en las propiedades de la luz.	Casi todos los materiales.	Tratamientos superficiales.	Código ASME sección V artículo 9 [13].	
PT- <i>Líquidos Penetrantes [9]</i>	Capilaridad y propiedades de mojabilidad (<i>Angulo de contacto, tensión superficial y viscosidad</i>).	Discontinuidades abiertas a la superficie.	Soldaduras, cerámicos, plásticos, vidrios.	No útil en materiales porosos, con excesiva rugosidad o escamados.	Código ASME sección V artículo 6 [14].	Normas ASTM E-165 [18] y ASTM E-1417 [19].
MT- <i>Partículas Magnéticas [10]</i>	Magnetismo, formación de distorsiones de campo magnético o polos cuando se genera o induce un campo magnético.	Campos de fuga producidos por discontinuidades planares.	Soldaduras, fundiciones, forja.	Útil solamente en materiales ferromagnéticos.	Código ASME sección V artículo 7 [15].	Normas ASTM E-709 [20] y ASTM E-1444 [21].
RT- <i>Radiografía Industrial [11]</i>	Interacción entre la materia y la radiación electromagnética, la energía de los rayos X es absorbida o atenuada al atravesar un material.	Variaciones de densidad en un material.	Soldaduras, fundiciones.	Requiere grandes medidas de seguridad y alto consumo energético.	Código ASME sección V artículo 2 [16].	Normas ASTM E-94 [22] y ASTM E-1742 [23].
UT- <i>Ultrasonido [12]</i>	Generación, propagación y detección de ondas elásticas (<i>Sonido</i>) a través de los materiales.	Variaciones de impedancia acústica en un material.	Soldaduras, fundiciones, recubrimientos, cerámicos.	Geometría, estructura interna, espesor y acabado superficial de los materiales.	Código ASME sección V artículos 4 y 5 [17].	Normas ASTM E-797 [24] y ASTM E-1901 [25].

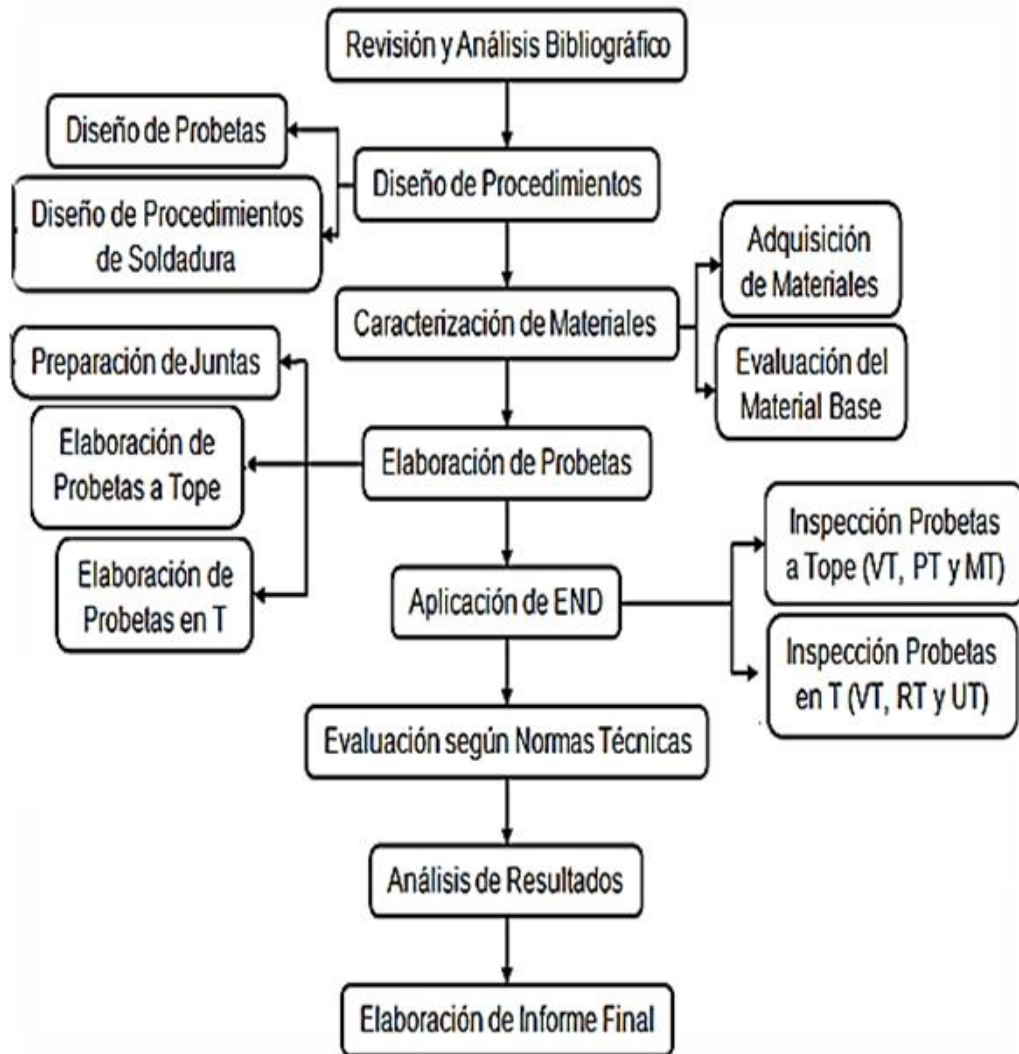
2.5. PATRONES DE ENTRENAMIENTO EN END

Los patrones de entrenamiento son muy importantes en la formación y capacitación de personal en END ya que son herramientas con las cuales se pueden llevar a cabo inspecciones reales y eficientes de discontinuidades típicas que se presentan en diferentes estructuras metálicas integradas por uniones soldadas. Debido a esto, a nivel mundial se han desarrollado algunas guías [26] para la fabricación de ejemplares de prueba con requisitos internacionales para certificación de personal en END enfocados a la inspección y calificación de componentes soldados presentes en la mayoría de las Industrias.

3. METODOLOGÍA

En la figura 1 se muestra un flujograma en el cual se presentan las etapas y actividades desarrolladas durante la investigación. A continuación se describe cada una de ellas.

Figura 1. Diagrama de la metodología usada en el proyecto.



3.1. REVISIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

En la primera etapa del proceso se realizó la búsqueda, selección y análisis de información necesaria en artículos, tesis, normas técnicas, etc., referente a temas fundamentales tales como soldadura, defectología en la soldadura, END, patrones de entrenamiento y criterios de aceptación y rechazo establecidos en normas técnicas. Esto sirvió como base para el desarrollo del trabajo y el análisis de los resultados obtenidos; ésta etapa se llevó a cabo durante todo el proyecto.

3.2. DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS

Con base en la revisión bibliográfica realizada, se llevaron a cabo dos actividades para el desarrollo de esta etapa: Diseño de probetas y diseño de procedimientos de soldadura. A continuación se presentan detalles de estas:

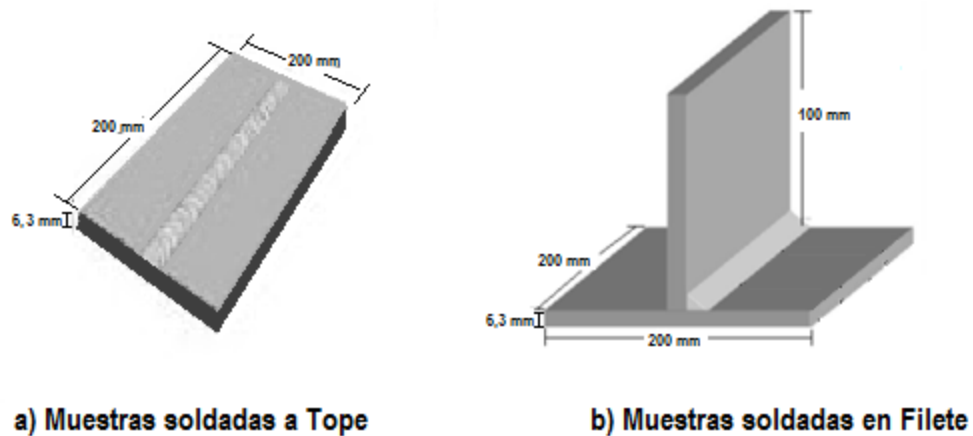
3.2.1. Diseño de Probetas. Atendiendo a las necesidades del laboratorio respecto a muestras con defectología inducida para entrenamiento de personal en END, se determinó el tipo y la cantidad de probetas, sus dimensiones, la defectología a inducir y su distribución.

Se determinó fabricar cinco probetas soldadas a tope (P) y ocho probetas soldadas en filete (T). Se escogieron este tipo de geometrías debido a su aplicación en estructuras soldadas. En la figura 2 se presentan imágenes de las muestras seleccionadas con sus respectivas dimensiones. El tamaño de éstas se estableció teniendo en cuenta que fueran de fácil manipulación para las condiciones de trabajo en el laboratorio.

Para la elección de los defectos a inducir en las muestras se realizó la consulta de la defectología más típica en uniones soldadas y procesos de soldadura por arco

eléctrico como se mostró en la tabla 2. A partir de esta información se eligieron los siguientes defectos: porosidad, socavadura, falta de fusión, falta de penetración, grietas e inclusiones de escoria. La distribución de esta defectología se determinó como complemento a otros trabajos desarrollados en el grupo GIMAT (Grupo de Desarrollo y Tecnología de Nuevos Materiales) concernientes a la elaboración de muestras con defectología inducida para la enseñanza de END. Esta distribución se realizó combinando discontinuidades superficiales en las muestras soldadas a tope y discontinuidades internas en las muestras soldadas en filete. En la tabla 6 se presentan detalles de estos arreglos defectológicos y en la tabla 7 se muestran los planos de distribución de las discontinuidades.

Figura 2. Geometría y dimensiones de las muestras de soldadura.



3.2.2. Diseño de Procedimientos de Soldadura. Teniendo en cuenta los tipos de juntas y los tipos de probetas seleccionados se determinó el material base a usar en las muestras, el tipo de bisel, el número de cordones de soldadura y los electrodos.

Se seleccionó como material base un acero al carbono ASTM A36 [27] considerando su soldabilidad y uso común en estructuras [28]. El espesor de la lámina fue de 6,3 mm establecido en el diseño de probetas. Las propiedades

características de este acero se presentan en la tabla 8 la cual fue suministrada por el proveedor.

Tabla 6. Arreglos defectológicos.

Muestras soldadas a tope.

Referencia de Muestra	Discontinuidad inducida
P1	Porosidad
P2	Socavaduras
	Porosidad
P3	Porosidad
P4	Socavaduras
P5	Porosidad

Muestras soldadas en filete.

Referencia de Muestra	Discontinuidad inducida
T1	Falta de fusión
	Porosidad
T2	Falta de penetración
	Inclusión de escoria
T3	Falta de penetración
	Grietas
T4	Falta de penetración
	Porosidad
T5	Falta de fusión
	Porosidad
T6	Falta de fusión
	Porosidad
T7	Falta de fusión
	Porosidad
T8	Porosidad
	Falta de fusión

Tabla 7. Planos de distribución de discontinuidades.

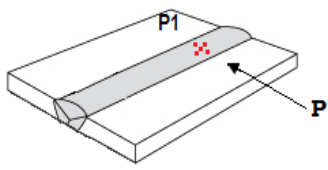
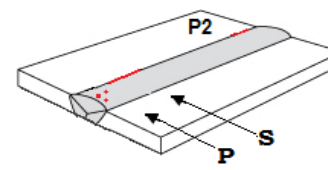
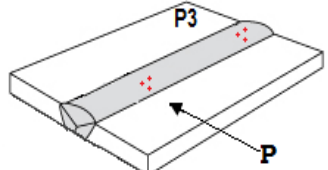
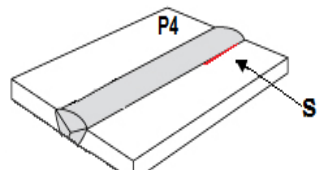
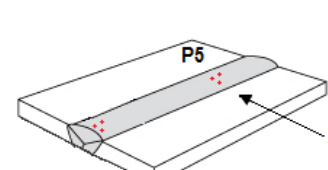
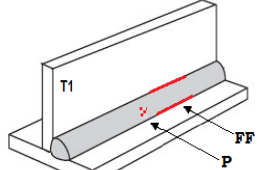
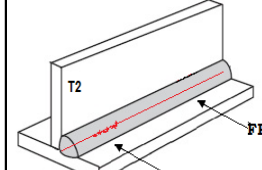
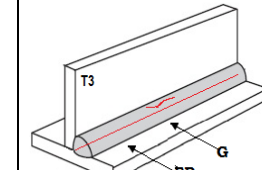
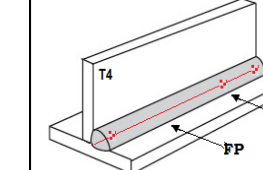
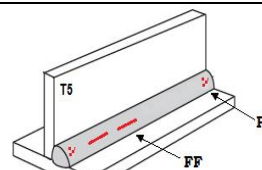
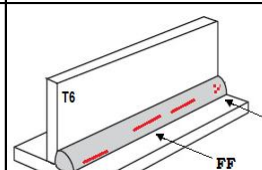
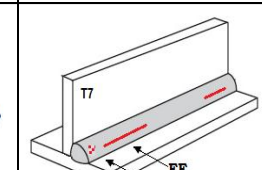
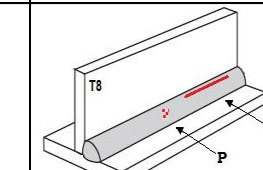
Plano de distribución de las discontinuidades para las muestras a Tope			
			
		<p>Donde: S: Socavadura P: Porosidad</p>	
Planos de distribución de discontinuidades para las muestras en T			
			
			
<p>Donde: P: Porosidad, IE: Inclusión de escoria, FP: Falta de penetración, FF: Falta de fusión, G: Grietas.</p>			

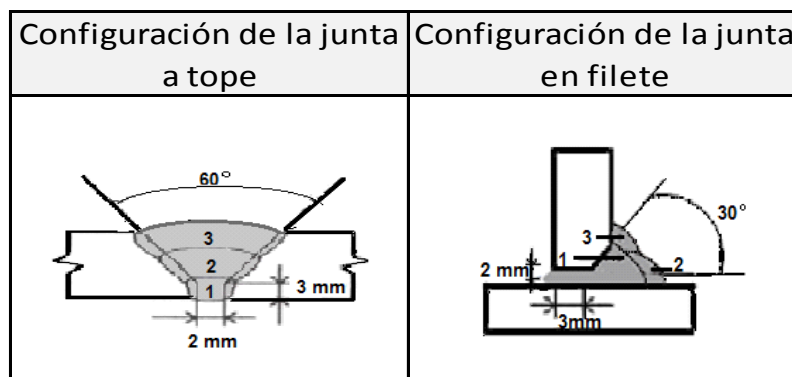
Tabla 8. Propiedades del acero al carbono ASTM A36.

Acero ASTM A36		
Descripción	Acero estructural al carbono utilizado en estructuras metálicas como puentes, torres y edificaciones remachadas.	
Composición	Carbono (C)	0,26% máx.
	Manganeso (Mn)	0,80% máx.
	Fosforo (P)	0,04% máx.
	Azufre (S)	0,05% máx.
	Silicio (Si)	0,40% máx.
	Cobre (Cu)	0,20% mínimo.
Propiedades	Densidad	7850 Kg/m ³ .
	Limite de Fluencia	250 Mpa.
	Limite de Rotura	410 Mpa.

Fuente: Compañía General de Aceros S.A.

Se seleccionó un bisel en V con un ángulo de 30 grados, una abertura de raíz de 2 mm y un hombro de raíz de 3 mm para ambos tipos de muestras a tope y en T. Se determinó aplicar tres cordones de soldadura en ambas geometrías de acuerdo al espesor de la lámina seleccionada como material base. Estos cordones fueron: cordón de raíz (Pase 1), cordón de relleno (Pase 2) y cordón de presentación (Pase 3). En la figura 3 se presentan detalles de estos parámetros.

Figura 3. Configuración de juntas para muestras soldadas.



Según la designación AWS A5.1 [29] se seleccionaron los electrodos E6010 y E7018 de acuerdo a su compatibilidad con el material base escogido. La distribución de estos electrodos se llevó a cabo de la siguiente manera: se utilizó un electrodo E6010 de 1/8 de pulgada en el Pase 1, un electrodo E7018 de 1/8 de pulgada en el Pase 2 y un electrodo E7018 de 5/32 de pulgada en el Pase 3. Esta distribución se determinó de acuerdo a las necesidades específicas consultadas en la norma AWS D1.1 para cada pase. En la tabla 9 se muestran las características fundamentales de cada electrodo.

Como proceso de soldadura se seleccionó la técnica SMAW debido a su uso común en la unión de piezas soldadas, fácil acceso a personal capacitado en ésta técnica, sencilla manipulación de sus parámetros y su directa relación con la generación de la defectología seleccionada. Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente y la consulta de factores técnicos para la realización de procedimientos de soldadura [30], se desarrollaron las Especificaciones de Procesos de Soldadura (WPS ò EPS) estándar para cada tipo de probeta. Dentro de los WPS están consignadas las observaciones correspondientes a la generación de las discontinuidades previamente establecidas para las geometrías diseñadas. Estas observaciones se realizaron de acuerdo a las causas de discontinuidades en soldaduras contempladas en el marco conceptual. En las tablas 10 y 11 se presentan en detalle los WPS para las muestras a tope y en T respectivamente.

Tabla 9. Características fundamentales de los electrodos.

ELECTRODO CELULOSICO CONVENCIONAL	
Norma	Clasificación
AWSA5.1, NTC 2191	E 6010
Composición	
Carbono (C)	0,08 - 0,15
Manganeso (Mn)	0,40 - 0,60
Silicio (Si)	0,18 - 0,25
Fosforo (P)	0,01
Azufre (S)	0,01
Propiedades	
Resistencia a la tracción	427-496 Mpa
Limite de fluencia	358-427 Mpa
Elongación	22-33 %
Características	
E. de tipo celulósico de gran penetración	
Especial para posición vertical ascendente	
Ideal para soldar estructuras de acero	
Diámetro	Amperaje
3/32"	50-80
1/8"	80-120
5/32"	140-200

ELECTRODO DE BAJA ALEACIÓN	
Norma	Clasificación
AWS A5.1, NTC 2191	E 7018
Composición	
Carbono (C)	0,08
Manganeso (Mn)	1,2
Silicio (Si)	0,5
Propiedades	
Resistencia a la tracción	482- 551 Mpa
Limite de fluencia	399-482 Mpa
Elongación	22-36 %
Características	
E. básico con bajo tenor de hidrogeno	
Rendimiento de 98%	
Mejora la soldabilidad, penetración y propiedades mecánicas	
Diámetro	Amperaje
3/32"	70-100

Fuente: WEST-ARCO.

3.3. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Esta etapa consistió en dos actividades principales: Adquisición de materiales y evaluación del material base. A continuación se presentan detalles de estas.

3.3.1. Adquisición de Materiales. Teniendo en cuenta el costo y la disponibilidad en el mercado se adquirieron el material base y los electrodos de soldadura atendiendo a las características del acero ASTM A36 y la especificación AWS A5.1.

Tabla 10. Procedimiento de soldadura WPS para muestras soldadas a tope.


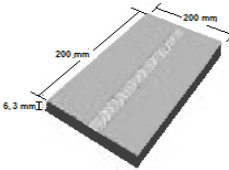
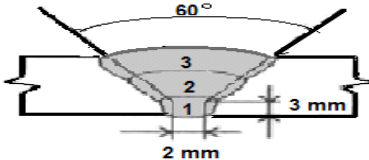

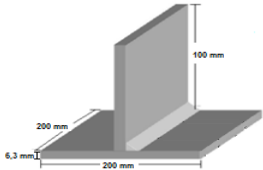
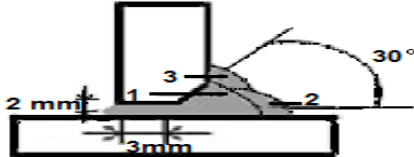
		ESPECIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA			WPS No.: P (1-5)		
		WPS O EPS			Fecha: sep-14		
Nombre de la Universidad:	UIS		Norma Ref.:		AWS		
Ubicación:	SANTANDER						
Proceso de soldadura:	SMAW		Placa X Tubería Δ				
Tipo de protección:	Revestimiento		T. ambiente:		22-27 °C		
Posición:	1G		Humedad ambiente:		80-87%		
Modo del proceso:	Manual		Tipo de junta		Tope		
Tipo de bisel:	En V	X Simple Δ Doble					
Abertura de Raíz	2 mm		Long. Cara raíz		3 mm		
Penetración:	X Completa Δ Parcial		Respaldo		Δ Si X No		
Limpieza	X Si Δ No		X Completa Δ Parcial				
Procedimiento de limpieza:	Se realizó con cepillo, esmeril y grata.						
Metal base				Técnica			
Especificación del Acero	ASTM A36			No. De pases		3	
Espesor de Placa:	6,3 mm			Pase 1		Mov. Recto	
Metal de aporte				Pase 2		Mov. ondulatorio	
Clasificación AWS	E6010	E7018		Pase 3		Mov. ondulatorio	
Especificación AWS	AWS 5.1		AWS 5.1		Notas:		
Marca	WEST ARCO		WEST ARCO				
Pase	Metal de Aporte		Corriente			velocidad Avance (mm/min)	Angulo Lateral y de Avance
	Clase	Díámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)	Voltaje (V)		
1	E 6010	3.2	DCEP	80-120	16-20	79-87	90 y 75
2	E 7018	3.2	DCEP	70-115	18-22	110-130	90 y 75
3	E 7018	4	DCEP	140-200	18-22	60-70	90 y 75
Diseño de la Probeta			Configuración de la junta y secuencia de soldadura				
							
Observaciones							
Para la inducción de porosidad en el cordón de presentación se trabajó con el electrodo E7018 de diámetro 5/32 de pulgada, humedecido en agua a temperatura ambiente por 5 minutos.							
Para la inducción de socavadura en el cordón de presentación se trabajó con el valor máximo de corriente especificado para el electrodo E7018 de diámetro 5/32 de pulgada. Este valor fue de 200 amperios.							

Tabla 11. Procedimiento de soldadura WPS para muestras soldadas en T.

 Universidad Industrial de Santander		ESPECIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA WPS O EPS			WPS No.: T (1-8)			
					Fecha: sep-14			
Nombre de la Universidad:		UIS			Norma Ref.:		AWS	
Ubicación:		SANTANDER						
Proceso de soldadura:		SMAW			Placa X Tubería Δ			
Tipo de protección:		Revestimiento			T. ambiente:		22-27 °C	
Posición:		1G			Humedad ambiente:		80-87%	
Modo del proceso:		Manual			Tipo de junta		Filete	
Tipo de bisel:		En V			X Simple Δ Doble			
Abertura de Raíz		2 mm			Long. Cara raíz:		3 mm	
Penetración:		X Completa Δ Parcial			Respaldo		Δ Si X No	
Limpieza		X Si Δ No			X Completa Δ Parcial			
Procedimiento de limpieza:		Se realizó con cepillo, esmeril y grata.						
Metal base					Técnica			
Especificación del Acero		ASTM A36			No. De pases		3	
Espesor de Placa:		6,3 mm			Pase 1		Mov. Recto	
Metal de aporte					Pase 2		Mov. ondulatorio	
Clasificación AWS		E6010		E7018		Pase 3		Mov. ondulatorio
Especificación AWS		AWS 5.1		AWS 5.1		Notas:		
Marca		WEST ARCO		WEST ARCO				
Pase		Metal de Aporte		Corriente			velocidad Avance (mm/min)	Angulo Lateral y de Avance
		Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje	Voltaje		
1		E 6010	3.2	DCEP	80-120	16-20	79-87	90 y 75
2		E 7018	3.2	DCEP	70-115	18-22	110-130	90 y 75
3		E 7018	4	DCEP	140-200	18-22	60-70	90 y 75
Diseño de la Probeta					Configuración de la junta y secuencia de soldadura			
								
Observaciones								
<p>Para la inducción de porosidad se trabajo con el electrodo E7018 de diámetro 1/8 de pulgada, humedecido en agua a temperatura ambiente por 5 minutos.</p>								
<p>Para la inducción de grietas se realizó un tratamiento térmico de carburación al material base. Este tratamiento se llevó a cabo en un horno mufla, donde las fueron expuestas a carburos aplicados sobre el bisel por 10 horas a 900 grados centígrados. El enfriamiento se llevo acabo dentro del horno.</p>								

continuación observaciones
Para la inducción de socavadura en el cordón de presentación se trabajó con el valor máximo de corriente especificado para el electrodo E7018 de diámetro 5/32 de pulgada. Este valor fue de 200 amperios.
Para la inducción de inclusión de escoria en el cordón de relleno no se realizó limpieza posterior a la aplicación del pase de raíz.
Para la inducción de falta de fusión se trabajó con alta velocidad de avance en el cordón de relleno. La velocidad aplicada fue de 130 milímetros por minuto.
Para la inducción de falta de penetración en el cordón de raíz se realizó una mala preparación de la junta. No se aplicó la abertura de raíz determinada para las muestras en filete.








3.3.2. Evaluación del Material Base. En esta actividad se realizaron evaluaciones de tipo físico, mecánico y metalográfico al material base con el fin de establecer condiciones óptimas de operación. La importancia de determinar estos parámetros consiste en elaborar un historial detallado de las probetas a fabricar.

Para la evaluación de las características físicas del material base se realizó una inspección in situ del grado de corrosión de la lámina adquirida, esto con el propósito de corroborar la sanidad superficial de la misma. En cuanto a la evaluación de las características mecánicas se realizó una prueba de dureza a una muestra del material base obteniendo un valor de 74 HRB, valor que se encuentra dentro de los límites de dureza en la escala Rockwell B para aceros ASTM A36 (Ver anexo A).

La evaluación metalográfica realizada al material base se llevó a cabo en el laboratorio de Metalografía de la UIS y tuvo como fin revelar su estructura interna y las características asociadas a ésta tales como tamaño de grano y fases metálicas presentes. El tamaño de grano determinado según la norma ASTM E112 [31] fue de 7 y se clasifica como un tamaño de grano fino característico de este tipo de aceros. Presenta una microestructura conformada por Ferrita + Perlita en proporciones de 72,3% y 27,7% respectivamente, la cual se pudo comprobar mediante comparación con la microestructura del acero ASTM A36 consultada en el Metal Handbook [32]. El %C aproximado fue de 0,22% y se calculó a partir de

las proporciones de ferrita y perlita, valor que está de acuerdo a la tabla 8. En la tabla 12 se presentan detalles de la evaluación metalográfica realizada al material base.

Tabla 12. Evaluación metalográfica del metal base.

Micrografías			
20x	50x	100x	500x
			
Descripción: Se puede observar la microestructura de un acero estructural ASTM A36 ferrita + perlita. Se presentan indicaciones de laminación sobre los granos de perlita y ferrita. El ataque se realizó con Nital al 2%			
Microestructura obtenida en el ensayo metalográfico		Microestructura acero estructural ASTM A36	
			
Determinación del tamaño de grano según Método planimétrico (ASTM E 112)		Microestructura a 100x	
$NA = f(N_i + \frac{N_{int}}{2}) = f(440 + \frac{98}{2}) = f * 438$ $NA = 2 * 438 = 976$ $G = 3,321918 * \log(NA) - 2,954$ $G = 3,321918 * \log(976) - 2,954$ $G = 6,97 = 7$			
Tamaño de grano: 7 (Fino); Ferrita: 72,3%; Perlita: 27,7%; %C aproximado: 0,22%.			

3.4. ELABORACIÓN DE PROBETAS

Para la elaboración de las probetas finales fue necesario realizar pruebas preliminares con las observaciones descritas en los WPS ya que para la generación de cada discontinuidad se determinó variar y controlar un parámetro específico según las causas consultadas en el marco teórico. Por ejemplo, para generar humedad en el electrodo el tiempo de humectación (5 minutos) y la temperatura del agua (T ambiente) en la cual éste se sumergió se establecieron por iniciativa propia; luego se realizaron varios cordones de soldadura con ésta condición para verificar la generación de porosidad de acuerdo a lo visto en el marco teórico. Estas pruebas fueron de vital ayuda y se llevaron a cabo con las demás observaciones para garantizar la correcta inducción de discontinuidades según los arreglos defectológicos establecidos para cada probeta.

Ahora bien, con base en los resultados de las etapas anteriores y las pruebas preliminares realizadas se elaboraron las probetas según las actividades descritas a continuación:

3.4.1. Preparación de Juntas Teniendo en cuenta el diseño de las probetas y los procedimientos de soldadura planteados anteriormente se ejecutaron las siguientes actividades:

Corte del material base con una sierra sinfín: de acuerdo a las dimensiones descritas en el diseño de probetas se cortó el material base en placas de 10cm x 20cm y 20cm x 20cm. Estas placas se distribuyeron según la geometría de cada muestra.

Biselado: de acuerdo a los ángulos de bisel descritos en el diseño de procedimientos de soldadura se biselaron las placas con un ángulo de 30 grados y un hombro de raíz de 3mm en ambos tipos de probetas.

3.4.2. Elaboración de Probetas a Tope Con base en el corte y biselado del material base efectuado en la preparación de juntas se elaboró la muestra P1 soldando dos placas de 10cm x 20cm aplicando los pases 1 y 2 con sus respectivos electrodos, técnica y parámetros de corriente según el WPS correspondiente a este tipo de probetas. El pase 3 se realizó de acuerdo a la observación presentada en éste WPS para la inducción de porosidad. Las demás muestras se fabricaron variando el pase 3 según los arreglos defectológicos establecidos en el diseño de probetas.

3.4.3. Elaboración de Probetas en T Con base en el corte y biselado del material base efectuado en la preparación de juntas se elaboró la muestra T1 soldando las placas de 10cm x 20cm y 20cm x 20cm como se muestra en el diseño de probetas. Para la inducción de falta de fusión y porosidad se aplicaron los pases 1 y 3 respectivamente, de acuerdo a las observaciones presentadas en el WPS correspondiente a este tipo de probetas. El pase 2 se realizó según el electrodo, la técnica y parámetros de corriente descritos en éste WPS. Las demás muestras se fabricaron variando los pases según los arreglos defectológicos descritos en el diseño de probetas.

3.5. APLICACIÓN DE END

Luego de haber elaborado los ejemplares soldados con la defectología típica seleccionada se aplicaron los END correspondientes a cada una de las probetas con el fin de determinar, medir y clasificar los posibles tipos de defectos indicados en la etapa de diseño de procedimientos y su posterior evaluación. Todos los equipos y materiales utilizados en los ensayos fueron suministrados por el grupo de investigación de materiales GIMAT. Debido a las diferentes geometrías que se trabajaron se desarrollaron las siguientes actividades:

3.5.1. Inspección de Probetas a tope Para estas probetas y con base en la defectología inducida se aplicaron los END de VT, PT y MT sobre el cordón de soldadura y la zona afectada térmicamente (ZAT) teniendo en cuenta las normas o códigos respectivos. La aplicación de dichas técnicas se describe a continuación:

VT: Se aplicó la técnica de inspección visual directa consultada en el código ASME sección V artículo 9. Además se realizó el dimensionamiento de los cordones de soldadura utilizando como instrumentos de medición galgas y cinta métrica. Se trabajó dentro del laboratorio con una intensidad luminosa de 600 luxes registrada con la ayuda del luxómetro.

PT: Se empleó la técnica de líquidos penetrantes coloreados con un sistema de penetrantes Tipo II método C de acuerdo a la norma ASTM E165. A cada probeta se le realizó pre-limpieza con detergente para remover eficientemente suciedades y grasas que interrumpieran la acción del penetrante. El tiempo de acción del penetrante y revelador fue de 10 minutos según recomendaciones del fabricante. La remoción del penetrante se efectuó en un solo sentido y con una presión moderada para no generar una remoción excesiva del mismo sobre las discontinuidades; para ésta actividad se utilizó papel periódico y estopa humedecida con cleaner.

MT: Con el propósito de detectar la generación de posibles discontinuidades subsuperficiales se aplicó la técnica de campo magnético longitudinal a cada una de las probetas a tope según la norma ASTM E709. Se utilizaron como equipo de magnetización un Yugo y como medio indicador partículas magnéticas coloreadas secas. La magnetización aplicada en cada probeta fue de tipo local cada 5 centímetros con un campo magnético orientado perpendicularmente y a 45 grados con respecto a la normal del cordón de soldadura. La magnetización y desmagnetización se llevó a cabo con corriente continua con el fin de obtener

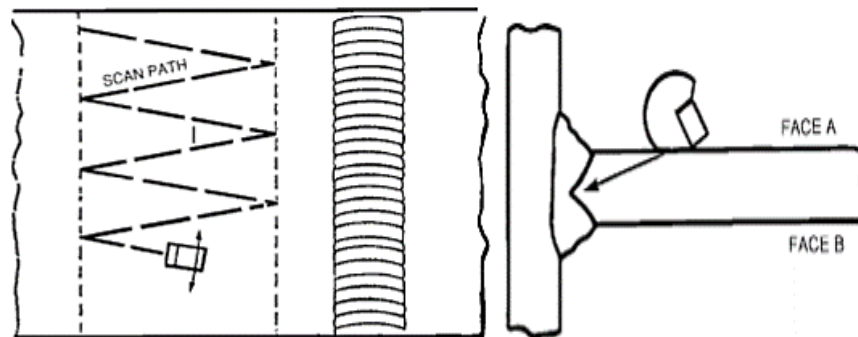
mejores resultados; además la desmagnetización se realizó aplicando un campo magnético alternado y decreciente.

3.5.2. Inspección de Probetas en T Para estas probetas y con base en la defectología inducida se aplicaron los END de VT, UT y RT sobre el cordón de soldadura y la zona afectada térmicamente (ZAT) teniendo en cuenta normas o códigos respectivos. La aplicación de dichas técnicas se describe a continuación:

VT: La inspección visual aplicada a las probetas en T se realizó de igual forma a la inspección visual efectuada en las probetas a tope.

UT: Se aplicó la técnica de pulso-eco consultada en la norma ASTM E797. Se utilizó un equipo ultrasónico de alta frecuencia Krautkramer USM 35XS con un palpador de frecuencia 5 MHz, una zapata de 70 grados y aceite mono-grado como medio acoplante; además, se realizó la calibración del equipo con un bloque de calibración IIW tipo 1 según la norma ASTM E 164 [33]. Se trabajó con un rango en pantalla de diez (10) pulgadas (25 cm), una ganancia de referencia de sesenta y siete (67) decibeles y un patrón de escaneo C o en zigzag (Ver figura 3) según el código AWS D1.1. A cada probeta en T se le efectuó un barrido de inspección uniforme por las dos caras adyacentes al cordón de soldadura.

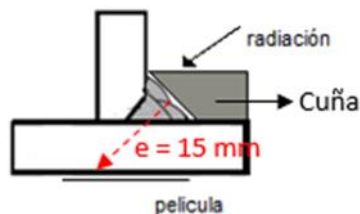
Figura 4. Patrón de escaneo C o en zigzag.



Fuente: Norma ASTM E164.

RT: Se empleó una técnica de radiación especial [34] la cual incluye el uso de una cuña sobre el cordón de soldadura para compensar los espesores de las placas que interactúan con la radiación. Se utilizó un equipo de radiación BALTOSPOT GFD 165, un dosímetro RADOS RAD-60R, un monitor de área NDS Products ND-200 y película radiográfica AGFA Structurix D7 con pantallas de plomo; además, en la toma radiográfica se utilizó un SET ASTM 1B 11 como indicador de calidad de imagen (IQI). Para la evaluación de la película radiográfica se utilizó un densitómetro SPEEDMASTER SM-10T y un negatoscopio de luz blanca. De acuerdo al valor promedio del espesor del arreglo propuesto en la figura 4 se ingresaron en el equipo de radiación los siguientes parámetros de trabajo: 160 Kilovoltios (Kv), 5 miliamperios (mA), 5 minutos 24 segundos de tiempo de exposición y 700 mm de distancia fuente película (FFD); estos valores se determinaron por recomendación del manual del equipo [35]. A cada probeta en T se le aplicó una radiación direccionada a 45 grados con respecto a las caras adyacentes del cordón de soldadura.

Figura 5. Ilustración de la técnica de radiación aplicada a las probetas en T.



Donde e corresponde al valor promedio del espesor del arreglo propuesto para la aplicación de la técnica especial de radiación.

3.6. EVALUACIÓN SEGÚN NORMAS TÉCNICAS

Una vez se realizaron las pruebas de END a las probetas, se interpretaron y evaluaron los resultados obtenidos siguiendo los criterios de aceptación y rechazo del código AWS D1.1 y se caracterizó cada defecto según sus cualidades y dimensiones. En la tabla 14 se presentan en detalle los criterios de aceptación y rechazo que se tuvieron en cuenta para la evaluación de las discontinuidades inducidas en ambos tipos de muestras.

Tabla 13. Criterios de aceptación y rechazo según el código AWS D1.1.

Código	Técnica de END	Discontinuidad	Criterio de Aceptación
AWS D1.1	Inspección Visual	Grietas	No aceptable.
		Falta de fusión	No aceptable.
		Socavadura	1/16" máximo para una longitud acumulada de 2" en 12" de soldadura.
		Porosidad	No deberá exceder de 3/8" (10mm) de diámetro en cualquier pulgada lineal de soldadura.
		Falta de penetración	No aceptable.
	Líquidos Penetrantes y Partículas Magnéticas	Lineales	No debe exceder 1/32".
		Falta de fusión	No aceptable.
		Falta de penetración	No aceptable.
		Grietas	No aceptable.
		Volumétricas	Indicaciones redondeadas superiores a 5 mm, cuatro o mas indicaciones redondeadas alineadas por 1,5 mm, mas de 10 indicaciones redondeadas sobre el cordón de soldadura.
	Radiografía.	Cualquier discontinuidad	No debe exceder discontinuidades individuales mayores que 2/3 del espesor o 20 mm.
			Al borde de la soldadura, no debe exceder tres veces la máxima dimensión de la discontinuidad.
			La distancia entre dos discontinuidades, adyacentes, debe ser menor que tres veces la dimensión mayor de la más grande de las discontinuidades.
			La suma de discontinuidades alineadas, mayor que 10 mm en 25 mm de soldadura lineal.
		Grietas	No aceptable.
		Porosidad	Según tabla del anexo B.
		Ultrasonido	Según la 'clasificación' (Rating o d)
	Clase A (menor que +5)		Debe ser rechazada independientemente su longitud.
	Clase B (+6 a +7)		No debe exceder 20 mm de longitud.
	Clase C (+7 a +8)		No debe exceder una longitud mayor de 50 mm
	Clase D (+8 o mayores)		Aceptable.
Clase B y C	Deben estar separadas por 2 veces el espesor.		

3.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base en los resultados obtenidos se llevaron a cabo los respectivos análisis teniendo en cuenta los diseños de probetas, materiales utilizados, procedimientos de soldadura, END aplicados y evaluación bajo normas técnicas aplicables.

3.8. ELABORACIÓN DE INFORME FINAL

Para concluir el trabajo de investigación se recopiló la información de cada una de las fases desarrolladas durante el proyecto, se realizaron las respectivas conclusiones, observaciones, propuestas, recomendaciones y se elaboró el informe final.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Antes de comenzar con la presentación de los resultados obtenidos en el presente proyecto y sus respectivos análisis resaltamos la importancia de las pruebas preliminares que se realizaron para la fabricación de las probetas finales, ya que gracias a éstas se lograron generar satisfactoriamente las discontinuidades planteadas en los arreglos defectológicos según la variación y control de parámetros establecidos en los WPS para ambos tipos de muestras. La inspección de las probetas se realizó de acuerdo a las descripciones, parámetros generales y características descritas en la metodología. La evaluación de las discontinuidades inducidas en los ejemplares a tope y en T se efectuó según los criterios de aceptación y rechazo del código AWS D1.1 presentados en el capítulo anterior.

4.1. RESULTADOS DE LA INSPECCION DE MUESTRAS SOLDADAS A TOPE

Para los análisis de resultados de las muestras a tope se tomó como referencia la probeta P1. A continuación se presentan la descripción de estos análisis por medio de los END realizados:

VT: Se realizó el dimensionamiento del cordón de soldadura tomando tres medidas de la altura del cordón de la probeta P1, obteniéndose un valor promedio de 2,7 mm. Luego se llevó a cabo una minuciosa inspección del cordón de soldadura y la ZAT. En la figura 6 se presenta en detalle la zona de interés analizada de la muestra P1.

Se encontraron sobre el cordón de soldadura poros agrupados (8 en total) de diámetro promedio 2 mm ubicados a una distancia axial de 142 mm. Estos poros

se generaron por la excesiva humedad en el revestimiento del electrodo la cual propició el atrapamiento de gases durante la solidificación del cordón de soldadura. En la tabla 14 se muestran los resultados obtenidos de la inspección visual realizada a la muestra P1 junto con su respectiva evaluación.

Figura 6. Vista de interés de la muestra P1.




Tabla 14. Inspección y evaluación por VT en la muestra P1.

MUESTRAP1					
	Discontinuidad	Tamaño (mm)	Distancia axial (mm)		
	Poros	2	142		
	Porosidad agrupada (8 Poros)				
	Penetración			Buena	
	Altura del cordón			2,7 mm	
Código	Técnica	Discontinuidad	Criterio	Evaluación	
AWS D1.1	Inspección Visual	Porosidad	No deberá exceder de 3/8" (10mm) de diámetro en cualquier pulgada lineal de soldadura.	Rechazado	

PT: Por medio de esta técnica se encontró sobre el cordón de soldadura una indicación de tipo redondeada de tamaño promedio 2 mm a una distancia axial de 142 mm. Estas indicaciones corresponden con los defectos encontrados en la inspección por VT realizada a la probeta P1 y la defectología propuesta en el diseño de probetas. En la tabla 15 se muestran los resultados obtenidos de la

inspección por líquidos penetrantes aplicada a la muestra P1 junto con su respectiva evaluación.

Tabla 15. Inspección y evaluación por PT en la muestra P1.

Muestra P1				
		Indicación	Tamaño (mm)	Distancia axial (mm)
		Poros	2	142
Porosidad agrupada (8 Poros)				
Código	Técnica	Discontinuidad	Criterio	Evaluación
AWS D1.1	Líquidos penetrantes	Redondeada	Indicaciones redondeadas superiores a 5 mm, cuatro o mas indicaciones redondeadas alienadas por 1,5 mm, mas de 10 indicaciones redondeadas sobre el cordón de soldadura.	Rechazado

MT: Se realizó la inspección por partículas magnéticas sobre el cordón de soldadura de la muestra P1 con el propósito de detectar posibles discontinuidades subsuperficiales no determinadas en los arreglos defectológicos descritos en el diseño de probetas. No se encontraron indicaciones provenientes de fugas de campo magnético, lo que indica que no se generaron discontinuidades subsuperficiales de tipo planar sobre el cordón de soldadura. Sin embargo, se generaron acumulaciones de partículas sobre las discontinuidades superficiales (Poros determinados por VT y PT) que presenta la probeta, estas indicaciones no se evaluaron bajo los criterios de aceptación y rechazo debido a que no se detectaron por la fuga del campo magnético. En la tabla 16 se muestran los resultados obtenidos de la inspección por partículas magnéticas aplicada a la muestra P1.

Los resultados de discontinuidad y/o indicación, tamaño, distancia axial, penetración y altura del cordón determinados de las demás probetas a tope mediante la inspección por VT, PT y MT están consignados en las tablas 17, 18 y

19 respectivamente. En la tabla 20 se presentan los resultados de la evaluación de los defectos encontrados en las muestras a tope según los criterios de aceptación y rechazo consultados en el código AWS D1.1 para cada técnica de END aplicada.

Tabla 16. Inspección por MT en la muestra P1.


Muestra P1			
	Indicación	Tamaño (mm)	Distancia axial (mm)
	Poros	2	142
	Porosidad agrupada (8 Poros)		
	Indicación generada por la acumulación de partículas		

Tabla 17. Inspección de muestras soldadas a tope por VT.






Muestra P1			
	Discontinuidad	Tamaño (mm)	Distancia axial (mm)
	Poros	2	142
	Porosidad agrupada (8 Poros)		
	Penetración		Buena
	Altura del cordón		2,7 mm
Muestra P2			
	Discontinuidad	Tamaño (mm)	Distancia axial (mm)
	Poros	2	10
	Socavadura	60	25
	Socavadura	15	180
	Penetración		Buena
Altura del cordón		2 mm	
Muestra P3			
	Discontinuidad	Tamaño (mm)	Distancia axial (mm)
	Poros	3	85
	Porosidad agrupada (3 Poros)		
	Poro	1	195
	Penetración		Buena
Altura del cordón		2,9 mm	
Muestra P4			
	Discontinuidad	Tamaño (mm)	Distancia axial (mm)
	Socavadura	45	10
	Penetración		Buena
	Altura del cordón		3,2 mm
Muestra P5			
	Discontinuidad	Tamaño (mm)	Distancia axial (mm)
	Poros	4	125
	Porosidad agrupada (3 Poros)		
	Poro	2	10
	Penetración		Buena
Altura del cordón		2,7 mm	

Tabla 18. Inspección de muestras soldadas a tope por PT.






Muestra P1			
	Indicación	Tamaño (mm)	Distancia axial (mm)
	Poros	16	142
	Porosidad agrupada (8 Poros)		
Muestra P2			
	Indicación	Tamaño (mm)	Distancia axial (mm)
	Poros	3	10
	Socavadura	40	25
	Socavadura	10	180
Muestra P3			
	Indicación	Tamaño (mm)	Distancia axial (mm)
	Poros	6	85
	Porosidad agrupada (3 Poros)		
	Poros	1	195
Muestra P4			
	Indicación	Tamaño (mm)	Distancia axial (mm)
	No se presenta evidencia de discontinuidades		
Muestra P5			
	Indicación	Tamaño (mm)	Distancia axial (mm)
	Poros	6	125
	Porosidad agrupada (3 Poros)		
	Poros	3	10

Tabla 19. Inspección de muestras soldadas a tope por MT.


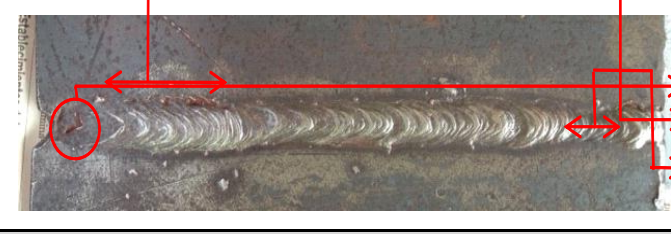



Muestra P1			
	Indicación	Tamaño (mm)	Distancia axial (mm)
	Poros	2	142
Porosidad agrupada (8 Poros)			
Muestra P2			
	Indicación	Tamaño (mm)	Distancia axial (mm)
	Poros	2	10
	Socavadura	60	25
Socavadura	15	180	
Muestra P3			
	Indicación	Tamaño (mm)	Distancia axial (mm)
	Poros	3	85
	Porosidad agrupada (3 Poros)		
Poros	1	195	
Muestra P4			
	Indicación	Tamaño (mm)	Distancia axial (mm)
	Socavadura	45	10
Muestra P5			
	Indicación	Tamaño (mm)	Distancia axial (mm)
	Poros	4	125
	Porosidad agrupada (3 Poros)		
Poros	2	10	
<p>Todas las indicaciones presentadas durante este ensayo se llevaron a cabo por acumulación de partículas magneticas.</p>			

Tabla 20. Resultados de la evaluación de las muestras soldadas a tope según el código AWS D1.1.

Ref. probeta	Discontinuidad diseñada	Defecto encontrado	Evaluación según técnica VT	Evaluación según técnica PT
P1	Porosidad	Poros agrupados	Rechazado	Rechazado
P2	Socavaduras	Socavaduras	Rechazado	Rechazado
	Porosidad	Poros agrupados	Aceptado	Aceptado
P3	Porosidad	Poros agrupados y poros dispersos	Rechazado	Rechazado
P4	Socavaduras	Socavaduras	Rechazado	Rechazado
P5	Porosidad	Poros agrupados y poros dispersos	Aceptado	Aceptado

De acuerdo a los resultados presentados en las tablas 17, 18, 19 y 20 referentes a la inspección y evaluación realizada a las probetas a tope, se puede corroborar que las discontinuidades encontradas, los END y criterios de evaluación aplicados a dichas muestras corresponden con lo establecido en la metodología para este tipo de geometrías.

4.2. RESULTADOS DE LA INSPECCION DE MUESTRAS SOLDADAS EN T

Para los análisis de resultados de las muestras en T se tomó como referencia la probeta T1. A continuación se presentan la descripción de estos análisis por medio de los END realizados:

VT: Se realizó el dimensionamiento del cordón de soldadura tomando tres medidas de la garganta del cordón de la muestra T1, obteniéndose un valor promedio de 9 mm. Luego se llevó a cabo una minuciosa inspección del cordón de soldadura y la ZAT y una breve revisión de la cara posterior a la soldadura con el

fin de determinar la penetración de ésta. En la figura 7 se presenta en detalle la zona de interés analizada de la muestra T1.

Figura 7. Vistas de interés de la muestra T1.

Parte frontal




Parte posterior



Se encontraron sobre el cordón de soldadura poros agrupados de diámetro promedio 1 mm ubicados a una distancia axial de 80 mm. Estos poros se generaron por la excesiva humedad en el revestimiento del electrodo la cual propició el atrapamiento de gases durante la solidificación del cordón de soldadura. También se detectó una falta de fusión de 65 mm de longitud ubicada a una distancia axial de 80 mm. Esta falta de fusión se generó por la alta velocidad de avance en el cordón de relleno la cual ocasionó falta de temperatura suficiente para fundir el metal base o el cordón anterior ya sólido. Por otra parte, aunque en el diseño de probetas no se estableció generar falta de penetración para la muestra T1, presentó dicha discontinuidad a lo largo de toda la probeta (200 mm) debido a que el metal fundido en el pase de raíz no penetró de forma adecuada probablemente por falta de temperatura suficiente para fundir el metal base;

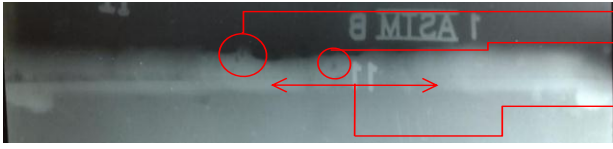
además, ésta falta de penetración se evaluó bajo criterios de aceptación y rechazo. En la tabla 21 se muestran los resultados obtenidos de la inspección visual realizada a la muestra T1 junto con su respectiva evaluación.

Tabla 21. Inspección y evaluación por VT en la muestra T1.

Muestra T1				
		<i>Discontinuidad</i>	<i>Tamaño promedio (mm)</i>	<i>Distancia axial (mm)</i>
		Poros	1	80
		Falta de fusión	65	80
		<i>Penetración</i>	<i>Altura cordón</i>	<i>Homogeneidad</i>
		0mm (mala)	6,3 mm	Irregular
Código	Técnica	Discontinuidad	Criterio	Evaluación
AWS D1.1	Inspección Visual	Falta de fusión	No aceptable.	Rechazado
		Porosidad	No deberá exceder de 3/8" (10mm) de diámetro en cualquier pulgada lineal de soldadura.	Aceptado
		Falta de penetración	No aceptable.	Rechazado

RT: Se evaluó la calidad de la película radiográfica tomando valores del grado de ennegrecimiento sobre el cordón de soldadura y sus caras adyacentes; se obtuvo una densidad promedio de 2,5 que se encuentra dentro del rango óptimo según la norma ASTM E94. También se lograron observar 5 hilos del indicador de calidad (IQI) usado sobre la película, número aceptado por la norma ASTM E747 [36]. En la radiografía se observaron dos poros agrupados de diámetro promedio 1 mm ubicados a una distancia axial de 80 mm y 120 mm y una falta de fusión de 65 mm de longitud ubicada a una distancia axial de 80 mm. Además se verificó la falta de penetración (200 mm) vista por VT, la cual no fue diseñada para esta probeta pero si se evaluó bajo criterios de aceptación y rechazo. En la tabla 21 se muestran los resultados obtenidos de la evaluación radiográfica aplicada a la muestra T1.

Tabla 22. Inspección y evaluación por RT en la muestra T1.

Muestra T1					
			<i>Discontinuidad</i>	<i>Tamaño promedio (mm)</i>	<i>Distancia axial (mm)</i>
			Porosidad	1	80
			Porosidad	1	120
			Falta de penetración		200 mm
			Falta de fusión	65	80
			<i>Densidad</i>	<i>IQI</i>	
	2,5	5			
Código	Técnica	Discontinuidad	Criterio	Evaluación	
AWS D1.1	Radiografía.	Cualquier discontinuidad	No debe exceder discontinuidades individuales mayores que 2/3 del espesor o 20 mm.	Rechazado	
		Porosidad	Según tabla del anexo G.	Aceptado	

UT: Aplicando el patrón de escaneo en zigzag y mediante la caída de los 6 decibles se encontraron dos indicaciones de tipo volumétrica ubicadas a 111,76 mm y 134,16 mm del plano axial con longitudes de 1 mm y 3 mm respectivamente, así como también una indicación de tipo lineal ubicada a 91,44 mm del plano axial con una longitud de 65 mm. Además, se detectó un eco en pantalla a lo largo de todo el barrido correspondiente a una indicación de tipo lineal el cual fue generado por la falta de penetración que se encontró en esta probeta por los END de VT y RT; esta última indicación fue evaluada en el punto donde se encontró la mayor altura del eco. Por último, se evaluaron todas las indicaciones encontradas en el cordón de soldadura de la muestra T1 según el rating (d) registrado en pantalla por el equipo de ultrasonido. En la tabla 23 se muestran los resultados obtenidos de la inspección por ultrasonido realizada a la muestra T1 junto con su respectiva evaluación.

Los resultados de discontinuidad y/o indicación, tamaño, distancia axial, penetración, altura de garganta, densidad, IQI y rating (d) determinados en las demás probetas en T mediante la inspección por VT, UT y RT, están consignados en las tablas 24, 25 y 26 respectivamente. En la tabla 27 se presentan los resultados de la evaluación de los defectos encontrados en las muestras en T

según los criterios de aceptación y rechazo consultados en el código AWS D1.1 para cada técnica de END aplicada.

Tabla 23. Inspección y evaluación por UT en la muestra T1.

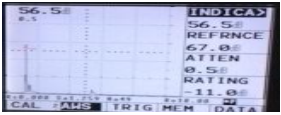
Muestra T1							
Muestra	Ganancia	Plano axial (mm)	Longitud indicación	Tipo de indicación	Rating (d)	Registro	
T1	56,5	0	200	Lineal	-11		
	65,5	81,44	67	Lineal	-2,8		
	64,5	137,16	3	Volumétrica	-3,3		
	75	111,76	1	Volumétrica	6,7		
Código	Técnica		Discontinuidad	Criterio		Evaluación	
AWS D1.1	Ultrasonido		Según la 'clasificación' (Rating o d).				
			Clase A (menor que +5)	Debe ser rechazada independientemente su longitud.		Rechazado	
			Clase B (+6 a +7)	No debe exceder 20 mm de longitud.		Aceptado	

Tabla 24. Inspección de muestras soldadas en T por VT.

Muestra T1			
Discontinuidad	Tamaño promedio (mm)	Distancia axial (mm)	
		Poros	1
Falta de fusión	65	80	
Penetración	Altura garganta	Homogeneidad	
Mala (0mm)	6,3 mm	Irregular	

Muestra T2			
Discontinuidad	Tamaño promedio (mm)	Distancia axial (mm)	
		Socavadura	3
Socavadura	1	160	
Penetración	Altura garganta	Homogeneidad	
Mala (0mm)	9 mm	Regular	

Muestra T3			
Discontinuidad	Tamaño promedio (mm)	Distancia axial (mm)	
		Porosidad	1
Porosidad	1	90 y 190	
Penetración	Altura garganta	Homogeneidad	
Mala (0mm)	6,4 mm	Irregular	

Muestra T4			
Discontinuidad	Tamaño promedio (mm)	Distancia axial (mm)	
		Porosidad	1
Porosidad	1	160 y 170	
Porosidad	1	175 Y 200	
Penetración	Altura garganta	Homogeneidad	
Mala (0mm)	6,4 mm	Regular	





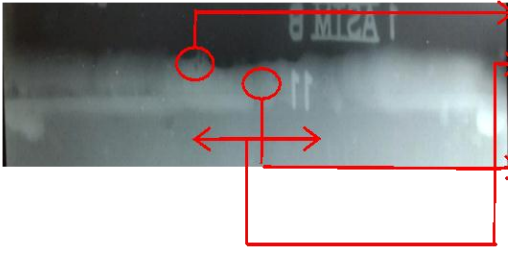
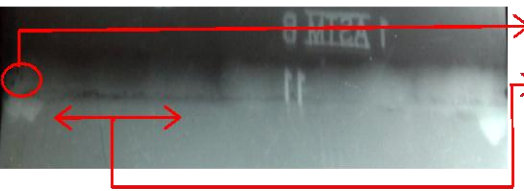
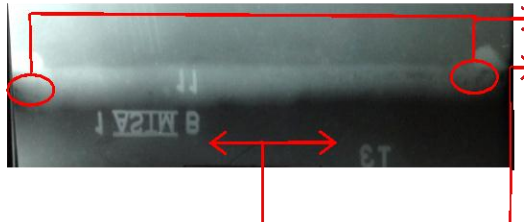
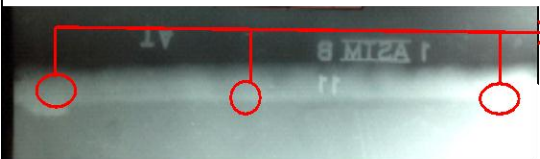
Muestra T5			
	Discontinuidad	Tamaño promedio (mm)	Distancia axial (mm)
	Porosidad	1	10
	Peretración	Altura garganta	Homogeneidad
	Media (50mm)	6,6mm	Regular
Muestra T6			
	Discontinuidad	Tamaño promedio (mm)	Distancia axial (mm)
	Porosidad	2	10
	Falta de fusión	2	70
	Falta de fusión	2	110 Y 180
	Peretración	Altura garganta	Homogeneidad
Media (50mm)	9 mm	Regular	
Muestra T7			
	Discontinuidad	Tamaño promedio (mm)	Distancia axial (mm)
	Porosidad	1	70
	Falta de fusión	2	125 Y 145
	Porosidad	3	160 Y 170
	Peretración	Altura garganta	Homogeneidad
Buena (200mm)	6,5mm	Regular	
Muestra T8			
	Discontinuidad	Tamaño promedio (mm)	Distancia axial (mm)
	Porosidad	1	10
	Falta de fusión	40	30
	Peretración	Altura garganta	Homogeneidad
Buena (200mm)	8 mm	Regular	

Tabla 25. Inspección de muestras soldadas en T por RT.

Muestra T1			
	Discontinuidad	Tamaño promedio (mm)	Distancia axial (mm)
	Porosidad	1	80
	Falta de fusión	65	80
	Falta de Penetración		200
	Porosidad	1	120
	Densidad	IQI	
	2,5	5	
Muestra T2			
	Discontinuidad	Tamaño promedio (mm)	Distancia axial (mm)
	Porosidad	1	10
	Inclusión de escoria	45	15
	Falta de Penetración		200
	Densidad	IQI	
2,86	4		
Muestra T3			
	Discontinuidad	Tamaño promedio (mm)	Distancia axial (mm)
	Porosidad	1	10
	Grieta	30	85
	Falta de Penetración		200
	Densidad	IQI	
2,83	5		
Muestra T4			
	Discontinuidad	Tamaño promedio (mm)	Distancia axial (mm)
	Porosidad	1	10,75 y 190
	Falta de Penetración		200
	Densidad	IQI	
1,9	5		

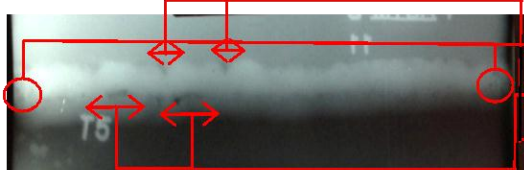
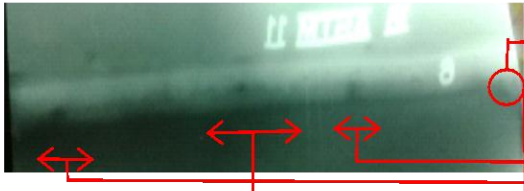

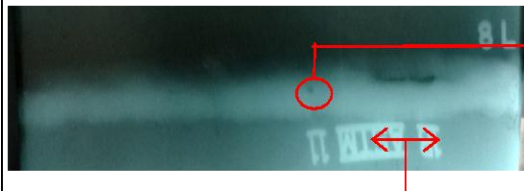
Muestra T5			
	Discontinuidad	Tamaño promedio (mm)	Distancia axial (mm)
	Porosidad	1	10 y 190
	Falta de fusión	9	35
	Falta de fusión	15	75
	Densidad	IQI	
	2,38	4	
Muestra T6			
	Discontinuidad	Tamaño promedio (mm)	Distancia axial (mm)
	Porosidad	1	10
	Falta de Fusión	45	70
	Falta de Fusión	15	110
	Falta de Fusión	12	185
Densidad	IQI		
	2,34	4	
Muestra T7			
	Discontinuidad	Tamaño promedio (mm)	Distancia axial (mm)
	Porosidad	2	10 y 195
	Falta de Fusión	20	172
	Falta de Fusión	45	110
	Falta de Fusión	24	20
Densidad	IQI		
	2,45	4	
Muestra T8			
	Discontinuidad	Tamaño promedio (mm)	Distancia axial (mm)
	Porosidad	2	65
	Falta de Fusión	38	40
	Densidad	IQI	
	2,07	4	

Tabla 26. Inspección de muestras soldadas en T por UT.




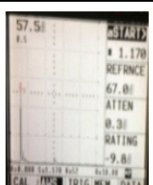

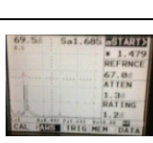
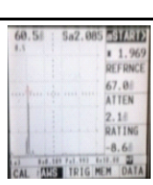
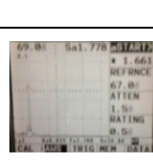
Muestra	Ganancia	Plano axial (mm)	Longitud indicación	Tipo de indicación	Rating	Registro
T1	56,5	0	200	Lineal	-11	
	65,5	91,44	65	Lineal	-2,8	
	64,5	137,16	3	Volumétrica	-3,3	
	75	111,76	1	Volumétrica	6,7	
T2	63	0	200	Lineal	-4,3	
	77	129,54	45	Volumétrica	8,4	
T3	68,5	20,32	3	Volumétrica	1,4	
	73,5	83,82	30	Lineal	3,2	
	78	104,14	3	Volumétrica	8,1	
	71,5	0	200	Lineal	4,1	
T4	75	0	200	Lineal	6,3	
	57,5	71,12	2	Volumétrica	-9,8	
	71	185,42	2	Volumétrica	1,9	
	76	106,68	2	Volumétrica	5,6	
T5	66,5	34,29	3	Volumétrica	-4,1	
	73,5	172,72	9	Lineal	2,9	
	75,5	182,88	2	Volumétrica	5	
	65,5	78,74	15	Lineal	-1,8	
T6	69,5	109,22	25	Lineal	1,2	
	65,5	205,74	10	Lineal	-2,4	
	67,5	20,32	15	Lineal	-0,6	
T7	69	12,7	10	Volumétrica	0,5	
	63,5	38,1	15	Lineal	-4,4	
	66,5	76,2	35	Lineal	-1,8	
	67,5	101,6	28	Lineal	-3,2	
T8	60,5	177,8	35	Lineal	-8,6	
	66,5	76,2	5	Volumétrica	-1,4	
	72	165,1	9	Lineal	3,3	

Tabla 27. Resultados de la evaluación de las muestras soldadas en T según el código AWS D1.1.

Ref. probeta	Discontinuidad diseñado	Defecto encontrado	Evaluacion según técnica VT	Evaluacion según técnica RT	Evaluacion según técnica UT
T1	Falta de fusión	Falta de fusión	Rechazado	Rechazado	Rechazado
	Porosidad	Porosidad	Aceptado	Aceptado	Aceptado
T2	Socavadura	Socavadura	Rechazado	Rechazado	Aceptado
	Inclusión de escoria	Inclusión de escoria	Rechazado	Rechazado	Rechazado
T3	Falta de penetración	Falta de penetración	Rechazado	Rechazado	Rechazado
	Grietas	Grietas	Rechazado	Rechazado	Rechazado
T4	Falta de penetración	Falta de penetración	Rechazado	Rechazado	Rechazado
	Porosidad	Porosidad	Aceptado	Aceptado	Aceptado
T5	Falta de fusión	Falta de fusión	Rechazado	Rechazado	Rechazado
	Porosidad	Porosidad	Aceptado	Aceptado	Aceptado
T6	Falta de fusión	Falta de fusión	Rechazado	Rechazado	Rechazado
	Porosidad	Porosidad	Aceptado	Aceptado	Aceptado
T7	Falta de fusión	Falta de fusión	Rechazado	Rechazado	Rechazado
	Porosidad	Porosidad	Aceptado	Aceptado	Rechazado
T8	Porosidad	Porosidad	Aceptado	Aceptado	Rechazado
	Falta de fusión	Falta de fusión	Rechazado	Rechazado	Rechazado

De acuerdo a los resultados presentados en las tablas 24, 25, 26 y 27 referentes a la inspección y evaluación realizada a las probetas en T, se puede corroborar que las discontinuidades encontradas, los END y criterios de evaluación aplicados a dichas muestras corresponden con lo establecido en la metodología para este tipo de geometrías.

5. CONCLUSIONES

Partiendo de los resultados obtenidos durante el proyecto de FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROBETAS SOLDADAS CON DEFECTOLOGÍA INDUCIDA PARA ENTRENAMIENTO EN END, se obtienen las siguientes conclusiones:

De acuerdo a los arreglos defectológicos planteados en el diseño de probetas y los resultados obtenidos en la inspección de muestras a tope y en T, se puede concluir que se logró satisfactoriamente la fabricación de probetas soldadas con defectología inducida para entrenamiento en END, ya que las discontinuidades encontradas corresponden a las discontinuidades diseñadas.

Según la variación y control de parámetros realizados en el diseño de procedimientos de soldadura y los resultados obtenidos en la inspección de muestras a tope y en T, se concluye que las observaciones planteadas en los WPS permitieron la correcta generación de discontinuidades específicas, como es el caso de la humectación con agua a temperatura ambiente aplicada a los electrodos durante 5 minutos para la inducción de porosidad en las probetas.

La información consultada sobre las discontinuidades típicas del proceso SMAW y sus principales causas permitió establecer satisfactoriamente los parámetros específicos a variar y controlar en los WPS para llevar a cabo la generación de la defectología seleccionada en el diseño de probetas, como es el caso de la aplicación del valor máximo de corriente especificado por el electrodo E7018 de diámetro 5/32 de pulgada para la inducción de socavadura y la no limpieza posterior a la aplicación del pase de raíz para la inducción de inclusión de escoria en las probetas.

Teniendo en cuenta las descripciones, parámetros generales y características descritas en la aplicación de END y los resultados obtenidos en la inspección de muestras, se concluye que los ensayos aplicados a las probetas a tope (VT y PT) y en T (VT, UT y RT) permitieron detectar satisfactoriamente discontinuidades superficiales e internas inducidas en los cordones de soldadura, como por ejemplo los poros encontrados en las probetas P1 y T1, respectivamente. Además, el ensayo de MT aplicado en las muestras a tope permitió corroborar que no se generaron discontinuidades subsuperficiales en dichos ejemplares.

De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo descritos en la evaluación según normas técnicas y los resultados obtenidos en la evaluación de las muestras a tope y en T, se concluye que los criterios de la norma AWS D1.1 permitieron evaluar y clasificar las discontinuidades inducidas en las probetas según cada técnica aplicada, como por ejemplo la porosidad encontrada en la probeta T1 la cual fue rechazada por VT, UT y RT.

Los END de ultrasonido y radiografía permitieron hallar satisfactoriamente defectología inducida en muestras soldadas en T como es el caso de la probeta T1, la cual de acuerdo al arreglo defectológico descrito en el diseño de probetas y los resultados obtenidos en la inspección por UT y RT presenta porosidad y falta de fusión además de la falta de penetración a lo largo de todo el cordón de soldadura que no fue diseñada en dicho arreglo, contrario a lo expresado por Lampman [37] quien no recomienda estos END para la inspección de soldaduras en filete.

6. RECOMENDACIONES

Con el propósito de complementar el presente proyecto se recomienda profundizar en la variación y control de parámetros de soldadura del proceso SMAW para implementar nuevas formas de inducción de discontinuidades en probetas soldadas para entrenamiento en END.

Con el fin de mejorar la oferta por parte del laboratorio de END en materia de probetas soldadas para entrenamiento en END se recomienda fabricar nuevas geometrías con defectología inducida.

Con el objetivo de complementar la evaluación realizada a las probetas fabricadas en el presente trabajo se recomienda consultar normas técnicas aplicables a estructuras soldadas para implementar nuevos criterios de aceptación y rechazo.

Con el propósito de crear un programa viable de comercialización de las probetas fabricadas en el presente proyecto se recomienda llevar a cabo un análisis económico que permita establecer la reproducción sistemática de estas muestras para beneficio del laboratorio de END.

REFERENCIAS

- [1] CALDERON GARCIA, Jeisson Andrés. Elaboración de un plan de calidad para las construcciones soldadas en la empresa Prodimal Ltda Bogotá, Universidad Libre de Colombia, 2011. 27p.
- [2] CANO MONTOYA, Mauricio. Elaboración de la documentación para la certificación de personal en el END de líquidos penetrantes con base en las normas ISO 17024 y ASNT CP 189-2001. Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira, 2007. 82p.
- [3] URBÁN BROTONS, Pascual. Construcción de estructuras metálicas 4a edición, Editorial Club Universitario, 2008. 72p.
- [4] RAMIREZ. Heriberto, NUÑEZ. Enrique, SALCEDO. Jaime. Diseño para la fabricación y ensamble de productos soldados. Universidad del Norte, Edición Uninorte, 2009. 16p.
- [5] ECHEVARRIA, Ricardo. DEFECTOLOGIA, Universidad Nacional de Comahue, Facultad de Físicoquímicas, Laboratorio de Ensayos No Destructivos, 2002. 9-24p.
- [6] ASTA, Eduardo. Fundamentos de la Soldadura por arco eléctrico, 1a ed. – Buenos Aires: Fundación Latinoamericana de Soldadura, 2006. 32p.
- [7] OLIVA MINILO, Carlos. Inspector de soldadora AWS QC1, Instituto Chileno de soldadura, 2007. 177-191p.

[8] INSPECCION VISUAL Niveles I y II, Manual de instrucción, Departamento teórico, 2010. 14-40p.

[9] ECHEVARRIA, Ricardo. LIQUIDOS PENETRANTES, Universidad Nacional de Comahue, Facultad de Fisicoquímicas, Laboratorio de Ensayos No Destructivos, 2003. 3-20p.

[10] ECHEVARRIA, Ricardo. PARTICULAS MAGNETIZABLES, Universidad Nacional de Comahue, Facultad de Fisicoquímicas, Laboratorio de Ensayos No Destructivos, 2002. 4-33p.

[11] MELENDEZ CORDOBA, Germán. Inspección Radiográfica de Soldaduras, Asociación Colombiana de Soldadura, Tunja, 2001. 200p.

[12] ECHEVARRIA, Ricardo. ULTRASONIDO, Universidad Nacional de Comahue, Facultad de Fisicoquímicas, Laboratorio de Ensayos No Destructivos, 2001. 12p

[13] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME). Boiler and Pressure Vessel Code V, Nondestructive Examination, Visual Examination, article 9, 2013. 223p.

[14] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME). Boiler and Pressure Vessel Code V, Nondestructive Examination, Liquid Penetrant examination, article 6, 2013. 163p.

[15] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME). Boiler and Pressure Vessel Code V. Nondestructive Examination, Magnetic Particle Examination, article 7, 2013. 172p.

[16] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME). Boiler and Pressure Vessel Code V. Nondestructive Examination, Radiographic Examination, article 2, 2013. 7p.

[17] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME). Boiler and Pressure Vessel Code V. Nondestructive Examination, Ultrasonic Examination Methods for Welds, article 4 & 5, 2013. 51-155p.

[18] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E165 - Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry, 2013. 3p.

[19] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E1417 - Standard Practice for Liquid Penetrant Testing, 2013. 4p.

[20] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E709 - Standard Guide for Magnetic Particle Testing, 2013. 5p.

[21] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E1444 - Standard Practice for Magnetic Particle Testing, 2012. 4p.

[22] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E94 - Standard Guide for Radiographic Examination, 2010. 3p.

[23] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E1742 - Standard Practice for Radiographic Examination, 2011. 6p.

[24] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E797 - Standard Practice for Measuring Thickness by Manual Ultrasonic Pulse-Echo Contact Method, 2010. 7p.

[25] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E1901 - Standard Guide for Detection and Evaluation of Discontinuities by contact Pulse-Echo Straight-Beam Ultrasonic Methods, 2008. 8p.

[26] AMERICAN SOCIETY FOR NONDESTRUCTIVE TESTING (ASNT). ANSI/ASNT CP-105-2011, Standard Topical Outlines for Qualification of Nondestructive Testing Personnel, 2011. 8p.

[27] AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). Standard Specification for Carbon Structural. 2008. 7p.

[28] STEEL CONSTRUCTION MANUAL, 8th Edition, second revised edition, American Institute of Steel Construction, 1986, Ch. 1 page 1-5.

[29] AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). A5.1 - Specification for Carbon Steel Electrodes, 2008. 15p.

[30] WELDING PROCEDURE GUIDE, Canada standards association, CWE Group., 2008. 4p.

[31] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E112 - Standard Test Methods for Determining Average Grain Size, 2012. 6p.

[32] ASM HANDBOOK, Volume 09 - Metallographic and Microstructures, The Materials Information Company, 1992. 34p.

[33] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E164 - Standard Practice for Ultrasonic Contact Examination of Weldments, 2008. 12p.

[34] RUIZ RUBIO, Alfonso. Inspección Radiográfica de las uniones soldadas, Edición URMO S.A., 1981. 65p.

[35] BALTOSPOT WITH CF2000 CONTROL UNIT, Operating and Maintenance Manual, 2009. 10p.

[36] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E747 - Standard Practice for Design, Manufacture and Material Grouping Classification of Wire Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology, 2004. 12p.

[37] LAMPMAN, Steven R. Weld Integrity and Performance. ASM international, 1997. 311p.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY FOR NONDESTRUCTIVE TESTING (ASNT). ANSI/ASNT CP-105-2011, Standard Topical Outlines for Qualification of Nondestructive Testing Personnel, 2011. 8p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E112 -Standard Test Methods for Determining Average Grain Size, 2012. 6p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E1417 - Standard Practice for Liquid Penetrant Testing, 2013. 4p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E1444 - Standard Practice for Magnetic Particle Testing, 2012. 4p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E164 - Standard Practice for Ultrasonic Contact Examination of Weldments, 2008. 12p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E165 -Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry, 2013. 3p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E1742 - Standard Practice for Radiographic Examination, 2011. 6p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E1901 - Standard Guide for Detection and Evaluation of Discontinuities by contact Pulse-Echo Straight-Beam Ultrasonic Methods, 2008. 8p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E709 -Standard Guide for Magnetic Particle Testing, 2013. 5p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E747 - Standard Practice for Design, Manufacture and Material Grouping Classification of Wire Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology, 2004. 12p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E797 - Standard Practice for Measuring Thickness by Manual Ultrasonic Pulse-Echo Contact Method, 2010. 7p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E94 - Standard Guide for Radiographic Examination, 2010. 3p.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME). Boiler and Pressure Vessel Code V, Nondestructive Examination, Visual Examination, article 9, 2013. 223p.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME). Boiler and Pressure Vessel Code V, Nondestructive Examination, Liquid Penetrant examination, article 6, 2013. 163p.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME). Boiler and Pressure Vessel Code V. Nondestructive Examination, Magnetic Particle Examination, article 7, 2013. 172p.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME). Boiler and Pressure Vessel Code V. Nondestructive Examination, Radiographic Examination, article 2, 2013. 7p.

AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). A5.1 - Specification for Carbon Steel Electrodes, 2008. 15p.

AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). Standard Specification for Carbon Structural. 2008. 7p.

ASM HANDBOOK, Volume 09 - Metallographic and Microstructures, The Materials Information Company, 1992. 34p.

ASTA, Eduardo. Fundamentos de la Soldadura por arco eléctrico, 1a ed. – Buenos Aires: Fundación Latinoamericana de Soldadura, 2006. 32p.

BALTOSPOT WITH CF2000 CONTROL UNIT, Operating and Maintenance Manual, 2009. 10p.

CALDERON GARCIA, Jeisson Andrés. Elaboración de un plan de calidad para las construcciones soldadas en la empresa Prodimetal Ltda Bogotá, Universidad Libre de Colombia, 2011. 27p.

CANO MONTOYA, Mauricio. Elaboración de la documentación para la certificación de personal en el END de líquidos penetrantes con base en las normas ISO 17024 y ASNT CP 189-2001. Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira, 2007. 82p.

ECHEVARRIA, Ricardo. DEFECTOLOGIA, Universidad Nacional de Comahue, Facultad de Fisicoquímicas, Laboratorio de Ensayos No Destructivos, 2002. 9-24p.

ECHEVARRIA, Ricardo. LIQUIDOS PENETRANTES, Universidad Nacional de Comahue, Facultad de Fisicoquímicas, Laboratorio de Ensayos No Destructivos, 2003. 3-20p.

ECHEVARRIA, Ricardo. PARTICULAS MAGNETIZABLES, Universidad Nacional de Comahue, Facultad de Fisicoquímicas, Laboratorio de Ensayos No Destructivos, 2002. 4-33p.

ECHEVARRIA, Ricardo. ULTRASONIDO, Universidad Nacional de Comahue, Facultad de Fisicoquímicas, Laboratorio de Ensayos No Destructivos, 2001. 12p

INSPECCION VISUAL Niveles I y II, Manual de instrucción, Departamento teórico, 2010. 14-40p.

LAMPMAN, Steven R. Weld Integrity and Performance. ASM international, 1997. 311p.

MELLENDEZ CORDOBA, Germán. Inspección Radiográfica de Soldaduras, Asociación Colombiana de Soldadura, Tunja, 2001. 200p.

MERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME). Boiler and Pressure Vessel Code V. Nondestructive Examination, Ultrasonic Examination Methods for Welds, article 4 & 5, 2013. 51-155p.

OLIVA MINILO, Carlos. Inspector de soldadora AWS QC1, Instituto Chileno de soldadura, 2007. 177-191p.

RAMIREZ. Heriberto, NUÑEZ. Enrique, SALCEDO. Jaime. Diseño para la fabricación y ensamble de productos soldados. Universidad del Norte, Edición Uninorte, 2009. 16p.

RUIZ RUBIO, Alfonso. Inspección Radiográfica de las uniones soldadas, Edición URMO S.A., 1981. 65p.

STEEL CONSTRUCTION MANUAL, 8th Edition, second revised edition, American Institute of Steel Construction, 1986, Ch. 1 page 1-5.

URBÁN BROTONS, Pascual. Construcción de estructuras metálicas 4a edición, Editorial Club Universitario, 2008. 72p.

WELDING PROCEDURE GUIDE, Canada standards association, CWE Group., 2008. 4p.

ANEXOS

Anexo A. Propiedades mecánicas del acero estructural ASTM A36.

Propiedades	Valor
densidad, g/cm ³	7,85
Resistencia a la tracción, Mpa	400-552
Limite de Fluencia, MPa	250
Limite de Young, MPa	200000
Modulo de cortante, MPa	79300
Coefficiente de Poisson	0,26
Elongación, %	18
Dureza Rockwell B	67-83
Dureza Brinell	119-169

Fuente: Norma ASTM A36.

Anexo B. Porosidad máxima aceptable en radiografía para cualquier largo de soldadura igual o mayor que 75 mm.

Tamaño de la soldadura ³ (E), [mm]	Área total permitida ⁴ [mm ²]	Poros grandes		Poros medios		Poros pequeños	
		Mayor dimensión [mm]	Nº Máx.	Mayor dimensión [mm]	Nº Máx	Mayor dimensión [mm]	Nº Máx
3	5	0,84	9	0,64	16	0,46	31
6	11	1,70	4	0,81	21	0,50	54
10	15,5	2,54	3	0,94	23	0,56	65
12	21	3,17	2	1,04	25	0,66	62
16	27	3,17	3	1,09	28	0,74	63

Notas:

1. La porosidad puede ser elíptica, circular, cónica o de forma irregular. La dimensión mayor deberá ser medida para determinar el tamaño de una indicación de porosidad. La porosidad puede presentarse simplemente como un hueco, inclusión de tungsteno o inclusión no metálica. Cobre o inclusiones de hierro no son admitidas en la soldadura.
2. La porosidad será considerada relevante si su dimensión más grande es mayor que 0,4 mm en la evaluación hecha con RI
3. Los valores para tamaños intermedios serán determinados por interpolación.
4. La cantidad máxima de poros será determinada por el área total permitida para el tipo de poro (grande, medio o pequeño)

Fuente: Código AWS D1.1