

ESTUDIO DE CONDICIONES PARA LA GENERACION DE DEFECTOS EN
MUESTRAS FABRICADAS EMPLEANDO SOLDADURA SMAW

JOSE TRINIDAD CARDENAS OSORIO
SAÚL ADOLFO ORDÓÑEZ VARGAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES
BUCARAMANGA

2015

ESTUDIO DE CONDICIONES PARA LA GENERACION DE DEFECTOS EN
MUESTRAS FABRICADAS EMPLEANDO SOLDADURA SMAW

JOSE TRINIDAD CARDENAS OSORIO
SAÚL ADOLFO ORDÓÑEZ VARGAS

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

DIRECTORA
MSc. LUZ AMPARO QUINTERO ORTIZ
CODIRECTOR
MSc. JULIAN ORLANDO HERRERA ORTIZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE LOS MATERIALES
BUCARAMANGA

2015

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado en primer lugar a mi hijita amada quien se convirtió en la fuente de mi fortaleza, a mis padres Trino Cárdenas y Fanny Osorio, mi soporte y mi guía quienes con la formación que me dieron garantizaron que sobrepasara los obstáculos con disciplina y perseverancia.

A mis hermanos Achet y Tato junto con sus familias que son la mía también, que siempre han estado ahí para una voz de aliento y un abrazo que renueva nuestras esperanzas.

A mi amor Jessica Victoria quien con su entrega y su ternura ha hecho de este camino, un sendero lleno de sonrisas y buenos momentos.

A mi compañero de proyecto Saúl Adolfo Ordoñez Vargas, quien con sus habilidades y fortalezas enriqueció el presente trabajo, así como algunas materias que logre estudiar en su compañía.

A Tunar-T UIS en cabeza de la profesora Patricia Casas Fernández que convirtieron mi paso por la universidad en una escuela de vida en donde la integralidad de la persona prima, así también a mis amigos y compañeros de estudio que completan este círculo de confianza.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado a mi abuelita, Rosa María Quiroga, quien con su ejemplo me inspira a ser cada día mejor y con sus bendiciones me acompaña siempre desde el cielo.

A mis padres que con esmero, esfuerzo, educación y amor han hecho que un día como hoy alcance esta tan anhelada meta, especialmente mi Madre Martha Vargas Quiroga, quien nunca ha dejado de ser ese apoyo incondicional en todos los proyectos que he emprendido en mi vida, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona cada día mejor, pero más que nada, por su amor.

A mi hermano porque siempre he contado con él para todo, gracias a la confianza que siempre nos hemos tenido, por el apoyo y amistad.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos en primer lugar a Dios por permitirnos la oportunidad de realizar este trabajo, a nuestras familias quienes con su acompañamiento y confianza garantizaron las condiciones para la puesta en marcha de nuestros anhelos.

A nuestra directora de proyecto M. Sc Luz Amparo Quintero Ortiz quien con sus conocimientos, su entrega y disposición iluminó el transcurso del presente trabajo, a nuestro codirector M. Sc Julián Orlando Herrera Ortiz por sus constantes aportes para la mejora en nuestro proceso académico.

A la escuela de Ingeniería Metalúrgica, así como a la Universidad Industrial de Santander que fundamentaron todos los conocimientos a través de nuestra vida universitaria para consolidarnos como profesionales íntegros y con gran sentido de pertenencia.

A los técnicos de laboratorio participes activos de nuestro proyecto, Ambrosio Carrillo y Domingo, además del técnico en soldadura Javier Chávez quien contribuyo con la fabricación de las probetas estudiadas.

A todas las personas, amigos y compañeros que realizaron un acompañamiento a nuestro trabajo de grado, así como a nuestro proceso de formación como ingenieros metalúrgicos.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.	19
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.	19
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	20
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.	20
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	21
2.1. GENERALIDADES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.	21
2.2. PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO (SMAW):	21
2.2.1. Capacidades y limitaciones del proceso.	22
2.3. DEFECTOLOGÍA Y CAUSAS DE GENERACIÓN.....	22
2.4. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.	23
2.5 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO.	25
2.5.1 Criterio de aceptación del código AWS para inspección visual y líquidos penetrantes.....	26
2.5.2 Criterio de aceptación del código AWS para radiografía industrial.	27
2.5.3 Criterio de aceptación del código AWS para ultrasonido.	28
3. METODOLOGÍA.	31
3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	32
3.2 ESTABLECIMIENTO DE LAS CONDICIONES DE FABRICACIÓN.	32
3.3 ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS SOLDADAS.....	34
3.4 EVALUACIÓN DE LAS MUESTRAS.	38
3.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	40
3.6 INFORME FINAL.	40
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	41

4.1 ESTABLECIMIENTO DE LAS CONDICIONES DE FABRICACION.	41
4.2 ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS SOLDADAS.	48
4.3 EVALUACIÓN DE LAS MUESTRAS.	50
4.3.1 Evaluación de las muestras con porosidad inducida.	50
4.3.2 Evaluación de las muestras con socavadura inducida.....	55
4.3.3 Evaluación de las muestras con falta de penetración inducida.....	59
4.3.4 Evaluación de las muestras con falta de fusión inducida.....	63
4.4 ANÁLISIS COMPARATIVOS DE LOS MÉTODOS.....	68
5. CONCLUSIONES.	70
6. RECOMENDACIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	78
ANEXOS.....	83

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1.Requisitos de calidad de soldadura para discontinuidades alargadas según lo determinado en radiografía para estructuras no tubulares cargadas estáticamente.....	28
Figura 2. Esquema de la metodología desarrollada en el presente trabajo.	31
Figura 3. Etapas de la preparación de la Junta.....	36
Figura 4. Proceso de soldeo.	37
Figura 5. Imágenes fotográficas de probetas soldadas con defectología inducida visible.....	49
Figura 6. Esquema de las probetas con porosidad inducida métodos uno y dos. .	54
Figura 7. Fotografías del ensayo de líquidos penetrantes aplicado a las probetas con porosidad inducida generadas con el método uno y dos.	55
Figura 8. Esquema de las probetas con socavadura inducida métodos uno y dos.	58
Figura 9. Fotografías del ensayo de líquidos penetrantes aplicado a las probetas con socavadura inducida generadas con el método uno y dos.	58
Figura 10. Radiografía digitalizada y esquema gráfico de la defectología de la probeta con falta de penetración generada con el método uno.	60
Figura 11. Radiografía digitalizada y esquema gráfico de la defectología de la probeta con falta de penetración generada con el método dos.	60
Figura 12. Fotografías tomadas al equipo de ultrasonido cuando se obtuvo la discontinuidad al 80%.	64
Figura 13. Radiografía digitalizada y esquema gráfico de la defectología de la probeta con falta de fusión generada con el método uno.	66
Figura 14. Radiografía digitalizada y esquema gráfico de la defectología de la probeta con falta de fusión generada con el método dos.	66
Figura 15. Fotografías tomadas al equipo de ultrasonido cuando se obtuvo la discontinuidad al 80%.	68

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Defectos y causas.....	23
Tabla 2. Aplicación, ventajas y limitaciones de los ensayos no destructivos.	24
Tabla 3. Criterios de aceptación de inspección visual y líquidos penetrantes para uniones soldadas a tope expuestas a cargas estáticas.	26
Tabla 4. Criterios de aceptación de radiografía industrial para uniones soldadas a tope expuestas a cargas estáticas.....	27
Tabla 5. Criterios de aceptación y rechazo de ultrasonido para uniones soldadas no tubulares expuestas a cargas estáticas.....	29
Tabla 6. Procedimiento de soldadura preliminar.....	33
Tabla 7. Causas seleccionadas para la fabricación de defectos.....	35
Tabla 8. Tipo de defecto, técnica de inspección y norma aplicada para realizar los procedimientos de ensayos no destructivos.	38
Tabla 9. Técnicas no destructivas, equipos y materiales.....	39
Tabla 10. Causas ajustadas para generar los defectos.....	43
Tabla 11. Procedimiento de soldadura para falta de fusión método1.	44
Tabla 12. Procedimiento de soldadura para porosidad agrupada método 1.....	45
Tabla 13. Procedimiento de soldadura para generar socavadura método 1.....	46
Tabla 14. Procedimiento de soldadura para falta de penetración método 1.....	47
Tabla 15. Resultados de inspección visual y evaluación de la defectología de la probetas con porosidad inducida, generadas con los métodos uno y dos.....	51
Tabla 16. Resultados de líquidos penetrantes y evaluación de la defectología de las probeta con porosidad inducida generadas con los método uno y dos.....	52
Tabla 17. Resultados de inspección visual y evaluación de la defectología de la probetas con socavadura inducida, generadas con los métodos uno y dos.	56
Tabla 18. Resultados de líquidos penetrantes y evaluación de la defectología de las probeta con socavadura inducida generadas con los método uno y dos.	57
Tabla 19. Resultados de radiografía industrial y evaluación de las probeta con falta de penetración inducida generadas con los método uno y dos.	61

Tabla 20. Resultados de ultrasonido y evaluación de las probeta con falta de penetración inducida generadas con los método uno y dos.63

Tabla 21. Resultados de radiografía industrial y evaluación de las probeta con falta de fusión inducida generadas con los método uno y dos.65

Tabla 22. Resultados de ultrasonido y evaluación de las probeta con falta de fusión inducida generadas con los método uno y dos.67

Tabla 23. Cuadro comparativo de los métodos empleados para generar la defectología propuesta.69

LISTA DE ANEXOS.

ANEXO A. Procedimiento de soldadura para generar porosidad superficial empleando el método dos.....	83
ANEXO B. Procedimiento de soldadura para generar falta de fusión empleando el método dos.	85
ANEXO C. Procedimiento de soldadura para generar socavadura empleando el método dos.	86
ANEXO D. Procedimiento de soldadura para generar falta de penetración empleando el método dos.....	87

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO DE CONDICIONES PARA LA GENERACIÓN DE DEFECTOS EN MUESTRAS FABRICADAS EMPLEANDO SOLDADURA SMAW. *

AUTORES: JOSÉ TRINIDAD CÁRDENAS OSORIO.
SAÚL ADOLFO ORDÓÑEZ VARGAS. **

PALABRAS CLAVES: *Soldadura, defectología inducida, Ensayos no destructivos.*

DESCRIPCIÓN:

En la industria cada vez es más común el uso de aceros de mayor resistencia que facilitan la construcción de juntas soldadas con chapas de acero más delgadas, el hecho de emplear estos nuevos materiales puede generar defectos más pequeños y críticos. Por tal motivo es indispensable capacitar gente en el uso de los END para detectar con alta fiabilidad el tamaño y ubicación de la defectología presente en dichas uniones.

El uso de patrones de referencia con defectos reales inducidos, en la evaluación de soldaduras por métodos no destructivos es esencial, pues a través de éstos es posible correlacionar las características de las discontinuidades de dicho patrón con aquellas encontradas en piezas en condiciones de servicio. En la búsqueda de estos patrones de carácter imprescindible para la formación de inspectores se encuentran en el mercado compañías que se dedican a la elaboración de estas probetas con el inconveniente de que su consecución implica altos costos, tiempo de gestión y sobrecostos de importación.

Con el fin de contribuir en la capacitación de los ensayos no destructivos se desarrolló este trabajo, el cual se inició haciendo una revisión minuciosa de la bibliografía disponible con referencia a los defectos presentes en uniones soldadas mediante proceso SMAW, también se realizó el reconocimiento de las técnicas empleadas para la detección de la defectología implicada en estos mismos procesos. Se generaron procedimientos preliminares, con el fin de producir las discontinuidades, previamente seleccionadas: Porosidad, socavadura, falta de fusión y falta de penetración. Este trabajo permitió elaborar 24 probetas con defectología interna, superficial y su respectiva caracterización empleando ensayos no destructivos y aplicando criterios de aceptación y rechazo.

* Trabajo de investigación.

** Facultad de Ingeniería físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales. Directora: Luz Amparo Quintero Ortiz. Codirector: Julián Herrera Ortiz.

ABSTRACT

TITLE: STUDY OF THE CONDITIONS FOR THE CREATION OF DEFECTS IN MANUFACTURED SAMPLES, USING SHIELDED METAL ARC WELDING (SMAW).*

AUTHORS: JOSE TRINIDAD CÁRDENAS OSORIO.
SAÚL ADOLFO ORDÓÑEZ VARGAS. **

KEYWORDS: *welding, induced weld defects, Nondestructive testing NDT.*

ABSTRACT

The use of high-strength low-alloy steel eases the construction of weld joints with thinner steel plates is more common practice in the industry today. However, using this new kind of materials can generate smaller and critical defects; it is essential to train people in the usage of NDT to detect, with reliability, the size and location of discontinuities and defects in the aforementioned joints.

Reference patterns with real induced defects are of high relevance in the assessment of welding by nondestructive methods; through these patterns, it's possible to correlate the characteristics of discontinuities in them, with those found in the pieces in the condition of service. In the search of these patterns, which are indispensable for inspector's training, you can find companies dedicated to the manufacture of these tubes, having problems with high expenses, time management and extra charges in importations.

This research project was developed to contribute in the training of NDT trials. It began with a detailed review of the bibliography regarded to discontinuities and defects presented in the joints welded by the SMAW process. Besides, an acknowledgement of the techniques, for the detection of defectology involved in this process, has been done. Preliminary procedures were created, looking for the production of discontinuities, previously selected: porosity, undercuts and overlaps, cold shut and shrinkage cavities. This research allowed the manufacture of twenty-four test tubes with internal and superficial defectology, and their corresponding characterization using NDT, applying standards of acceptance and rejection.

* Research project.

** Faculty of Physical and Chemical Engineering, Metallurgical Engineering and Materials Science School. Director: Luz Amparo quintero Ortiz. Co-director: Julián Herrera Ortiz.

INTRODUCCIÓN

Para los diferentes sectores de la industria cumple un papel determinante la soldadura de estructuras, contenedores, ductos transportadores de diferentes fluidos, entre otros. Durante el proceso de soldadura es inevitable encontrar discontinuidades en las áreas de unión de las piezas de trabajo, es por todo esto que las uniones soldadas han sido materia de estudio, y sus procesos se han ido modificando con los años, hasta el punto de contar hoy con fuentes bibliográficas que relacionan defectos propios de procesos de soldadura con las condiciones específicas que los provocan.

En la evaluación acertada de defectos en soldaduras, el área de los ensayos no destructivos ha sufrido un cambio rápido, y con ella los avances tecnológicos, regulatorios y económicos. Cada vez es más común el uso de aceros de mayor resistencia que facilitan la construcción de juntas soldadas con chapas de acero más delgadas, el hecho de emplear estos nuevos materiales puede generar defectos más pequeños y críticos, de manera que el uso de los END para detectar con alta fiabilidad el tamaño y ubicación de la defectología presente en la unión se hace cada vez más indispensable.

Hay agencias y organizaciones internacionales [20] que promueven aplicaciones industriales de tecnología, que incluyen programas de ensayos no destructivos (END), con los cuales se han establecido sistemas para el entrenamiento y certificación de personal en estas técnicas [29]. Un requerimiento importante para este proceso de certificación es contar con material adecuado para la formación que incluya además de los equipos para realizar los ensayos, patrones de dimensiones estándar que contenga defectología artificial establecida, simulando los defectos reales que ocurren en piezas industriales.

De acuerdo con lo anterior y con el fin de contribuir en la capacitación de los ensayos no destructivos se desarrolló este trabajo, el cual se inició haciendo una revisión minuciosa de la bibliografía disponible con referencia a los defectos presentes en uniones soldadas mediante proceso SMAW, también se realizó el reconocimiento de las técnicas empleadas para la detección de la defectología implicada en estos mismos procesos. Haciendo un recorrido por los fallos mencionados por varios estudiosos de la soldadura [20] [14], se generaron procedimientos preliminares, con el fin de producir las discontinuidades, previamente seleccionados: Porosidad, socavadura, falta de fusión y falta de penetración. Se tuvo en cuenta esta defectología como objeto de estudio por ser parte de los defectos característicos del proceso de soldadura empleado.

Una vez seleccionados los defectos y propuesto el procedimiento preliminar, se continuó con la elaboración de las probetas por parte de un soldador certificado, en las instalaciones del Centro Industrial Mantenimiento Integral SENA Girón.

Para efectos de estudiar las causas efectivas para la generación de las discontinuidades, fueron seleccionadas dos causas de generación de cada una de las discontinuidades y en busca de la reproducibilidad de los mismos se elaboraron tres probetas por cada uno de ellos.

Para la fabricación de cada una de estas se realizaron ajustes que afinaban la consecución de los defectos propuestos, teniendo como base los resultados de los respectivos ensayos aplicados. El trabajo permitió elaborar 24 probetas con defectología interna, superficial y su respectiva caracterización empleando ensayos no destructivos y aplicando criterios de aceptación y rechazo.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

En el transcurso de la actividad ingenieril en el área de los Ensayos No Destructivos (END), las empresas dedicadas a este sector ven la constante necesidad de disponer de procedimientos específicos y normalizados para el entrenamiento y calificación de sus inspectores, y de esta forma brindar un servicio con mayor calidad.

Para fortalecer métodos de enseñanza en este campo se deben estandarizar los procedimientos para elaborar muestras soldadas con defectos inducidos cercanos a los fenómenos presentes en campo. El uso de patrones de referencia con defectos artificiales controlados, en la evaluación de soldaduras por métodos no destructivos es indispensable, pues a través de éstos es posible correlacionar las características de las discontinuidades de dicho patrón con aquellas encontradas en piezas en condiciones de servicio, adicionalmente se debe incluir el estudio de criterios de aceptación y rechazo establecidos en normas y códigos [24].

En la búsqueda de estos recursos de carácter imprescindible para la formación de inspectores se encuentran en el mercado compañías [31] [29] que se dedican a la elaboración de estas probetas con el inconveniente de que su consecución implica altos costos, tiempo de gestión y sobrecostos de importación. Esta dificultad se transfiere a los estamentos de formación técnica e ingenieril en donde es necesario introducir al personal en formación dentro de procesos prácticos que lo enfrenten a las diferentes situaciones o hallazgos que están en la cotidianidad de la industria y que forman parte de un sin número de experiencias determinantes en el momento de tomar decisiones.

La elaboración de estas probetas que involucran múltiples variables, implica un estudio profundo del proceso de soldadura y la identificación de la materia prima apropiada, de tal manera que se reproduzcan las condiciones reales de trabajo y generen costos razonables para su fabricación.

La UIS como parte activa de este sector de interés y consciente de la problemática, ha tomado la iniciativa de generar proyectos de investigación con el fin de elaborar material de apoyo para el entrenamiento de personal en las áreas de soldadura (SMAW) y ensayos no destructivos, con lo cual se mejoran los procesos de enseñanza.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO.

1.2.1 OBJETIVO GENERAL.

Estudiar las condiciones para la generación de defectos en muestras fabricadas empleando soldadura SMAW.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Establecer condiciones de operación para la fabricación de muestras soldadas a tope con junta en V y defectología inducida seleccionada empleando el proceso de soldadura SMAW.
- Evaluar mediante Ensayos No Destructivos los defectos inducidos en las muestras fabricadas aplicando criterios de aceptación y rechazo establecidos en normas técnicas.
- Determinar los métodos y/o condiciones que produzcan los mejores resultados para la generación de la defectología seleccionada.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

2.1. GENERALIDADES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.

La especificación de procedimiento de soldadura (W.P.S) determina la apropiada combinación de las variables usadas para realizar cierta soldadura con requerimientos precisos a casos particulares. Los términos “procedimiento de soldadura” son empleados para generar uniones reproducibles y con características óptimas de funcionalidad y apariencia. Como mínimo, un W.P.S contiene el proceso, especificación, clasificación y diámetro del electrodo; características eléctricas, especificación del metal base; temperatura mínima de precalentamiento entre pasadas; corriente de soldadura; voltaje del arco, velocidad de avance; posición de la soldadura; tratamiento térmico post soldadura, velocidad de flujo y tipo de gas de protección y detalles del diseño de la junta [22] [30] [32].

2.2. PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO (SMAW):

Este proceso generalmente se refiere a una soldadura por arco con electrodo manual que utiliza el calor de un arco eléctrico entre la pieza a soldar y un electrodo de metal recubierto. El extremo del electrodo, el baño de metal fundido, el arco y el área adyacente de la pieza a soldar son protegidas de la contaminación atmosférica por una cubierta gaseosa obtenida de la fusión y descomposición del recubrimiento del fundente [17]. El proceso SMAW se usa para aplicaciones de unión y recubrimiento sobre diversos metales base. La idoneidad del proceso para un metal base específico depende de la disponibilidad

de un electrodo cubierto cuyo metal de aporte tenga la composición y propiedades requeridas [30].

2.2.1. Capacidades y limitaciones del proceso.

La soldadura por arco de metal protegido es uno de los procesos más ampliamente utilizados, sobre todo para soldaduras cortas en trabajos de producción, mantenimiento y reparación, y para construcción en el campo. Las siguientes son ventajas del proceso [13]:

1. El equipo es relativamente sencillo, económico y portátil.
2. El electrodo cubierto proporciona el metal de aporte el mecanismo para proteger dicho metal y el metal de soldadura contra una oxidación perjudicial durante la soldadura.
3. No se requiere protección con gas auxiliar ni un fundente granular como en GMAW o SAW respectivamente.
4. Se puede utilizar en áreas de acceso relativamente limitado.
5. El proceso es adecuado para la mayor parte de los metales y aleaciones de uso común.

2.3. DEFECTOLOGÍA Y CAUSAS DE GENERACIÓN.

Un defecto en soldadura es una discontinuidad cuyo tamaño, forma, orientación, ubicación o propiedades son inadmisibles para alguna norma específica. En particular, al realizar un ensayo no destructivo (END) se cataloga como defecto a toda discontinuidad o grupo de discontinuidades cuyas indicaciones no se encuentran dentro de los criterios de aceptación especificados por la norma aplicable [34]. Los defectos en la unión soldada se pueden manifestar tanto en la superficie del cordón como en su interior, dificultándose en este caso su

localización. También se pueden relacionar ciertos defectos con variables que influyen su formación. [25]

En la tabla 1 se muestran cuatro defectos asociados al proceso de soldadura SMAW, relacionados con las causas que los ocasionan.

Tabla 1. Defectos y causas.

DEFECTOS	CAUSAS DE LOS DEFECTOS
<p>POROSIDADES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cavidades producidas por inclusiones gaseosas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gas de protección inadecuado o insuficiente [16]. • Empleo de electrodos con el extremo desprovisto de recubrimiento [16]. <ul style="list-style-type: none"> • Arco demasiado largo [27]. • Electrodos húmedos [16].
<p>SOCAVADURAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ranura o garganta en la superficie de la chapa a lo largo del borde de soldadura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Intensidad de soldeo demasiado elevada [14]. • Ángulo de desplazamiento excesivamente pequeño [16]. <ul style="list-style-type: none"> • Arco largo [27]. • Velocidad de desplazamiento elevada [16]. • Electrodo demasiado grueso [27].
<p>FALTA DE FUSION:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Defecto en dos dimensiones debido a una falta de unión entre el metal de aportación y el de base. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inadecuada limpieza, presencia de algún óxido o material extraño que impide la correcta fusión del material base [16]. • Orientación inadecuada del electrodo [16]. • Intensidad de soldeo insuficiente o velocidad excesiva [27].
<p>FALTA DE PENETRACION:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Falta de fusión en la raíz de la soldadura o ranura debida a que el metal aportado no ha rellenado la raíz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Talón de raíz excesivo o separación en la raíz insuficiente. Desalineamiento entre las piezas excesivo [16]. • Intensidad de soldeo insuficiente o velocidad excesiva [16]. • Diámetro del electrodo demasiado grande que no permite el acercamiento del electrodo a la raíz de la unión [27]. • Diámetro del electrodo demasiado fino que no tolera la intensidad necesaria para conseguir buena penetración [14].

2.4. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.

Los ensayos no destructivos son un mecanismo tecnológico que involucra una serie de métodos los cuales permiten obtener información de las propiedades, estructura y condición de un material o componente, sin afectar la aptitud de la muestra durante la prestación de su servicio [17].

Estos ensayos no destructivos constituyen una herramienta de suma importancia en la aplicación de la investigación y análisis de falla, ante todo para la caracterización de las mismas. Aunque estas técnicas no indican las causas, ni predicen la ocurrencia, contribuyen con gran precisión a su identificación [23]. En la tabla 2 se describen y relacionan algunas ventajas y limitaciones que tienen los ensayos no destructivos seleccionados, lo cual fue tomado del código AWS B1.1 [11].

Tabla 2. *Aplicación, ventajas y limitaciones de los ensayos no destructivos.*

ENSAYO NO DESTRUCTIVO	APLICACION	VENTAJAS	LIMITACIONES.
INSPECCION VISUAL	Se aplica a piezas soldadas que tienen discontinuidades sólo en la superficie.	El método es económico y conveniente, y requiere relativamente poco entrenamiento y relativamente poco equipo para sus aplicaciones.	El método se limita sólo a las condiciones externas o superficiales de las soldaduras y por la agudeza visual del observador o inspector.
LIQUIDOS PENETRANTES	Se aplica a piezas soldadas que tienen discontinuidades sólo en la superficie.	Los equipos son portátiles y relativamente baratos. Los resultados se interpretan fácilmente. No requiere energía eléctrica a excepción de las fuentes de luz.	Películas superficiales tales como revestimientos, metal sucio pueden enmascarar u ocultar discontinuidades. El sangrado afuera de las superficies porosas también puede enmascarar indicaciones. Las piezas deben ser limpiadas antes y después de la inspección.
PARTICULAS MAGNETICAS	Se aplica a piezas soldadas que tienen discontinuidades subsuperficiales como superficiales.	El método es relativamente económico. Equipo de inspección se considera portátil. A diferencia de líquidos penetrantes, las partículas magnéticas puede detectar algunas discontinuidades ligeramente por debajo de la superficie.	El método se aplica sólo materiales ferromagnéticos. Las piezas deben ser limpiadas antes y después de la inspección. Los recubrimientos gruesos pueden enmascarar discontinuidades rechazables. Se deben desmagnetizar las piezas después de la inspección. La inspección con partículas magnéticas requiere el uso de la energía eléctrica para la mayoría de aplicaciones.
RADIOGRAFIA GAMA	Se aplica a soldaduras que tienen discontinuidades voluminosas tales como porosidad, falta de penetración, escoria, etc. Y a defectología planares como grietas	El método generalmente no está restringido por el tipo de grano o estructura del material. Este detecta discontinuidades superficiales e internas. Las imágenes radiográficas ayudan en la caracterización de las discontinuidades. La película	Discontinuidades planas deben estar favorablemente alineados con haz de radiación para detectar discontinuidades de forma confiable. La radiación presenta un peligro potencial para el personal. El costo del equipo radiográfico, instalaciones,

	y falta de fusión estas se pueden detectar con un menor grado de fiabilidad que las anteriores. También se puede usar en ciertas aplicaciones para evaluar requisitos dimensionales tales como las condiciones de la raíz, y espesor de pared.	ofrece un registro permanente para una futura revisión.	programas de seguridad, y la concesión de licencias relacionado es relativamente alto. El tiempo entre el proceso de exposición y la disponibilidad de los resultados es relativamente largo. Se requiere accesibilidad a ambos lados de la soldadura.
<i>RADIOGRAFIA (RAYOS X)</i>	Tiene la misma aplicación que la técnica anterior.	Tiene las mismas ventajas que la radiografía gamma, excepto que la radiografía de rayos X puede utilizar niveles ajustables de energía, y por lo general produce radiografías de mayor calidad que las fuentes de rayos gamma.	Alto costo inicial de los equipos de rayos X. No es considerado generalmente como una técnica que sea portátil. Además, tiene las mismas limitaciones que la radiografía gamma.
<i>ULTRASONIDO</i>	Con este método se puede detectar la mayoría de las discontinuidades de las soldaduras incluyendo grietas, inclusiones de escoria, y la falta de fusión. También se puede utilizar para verificar el espesor del metal de base.	Este método es más sensible a las discontinuidades de tipo planar. Los resultados del ensayo son conocidos inmediatamente. El método es portátil, y la mayoría de los detectores ultrasónicos de defectos funcionan con baterías. El método tiene una alta capacidad de penetración.	Las condiciones de la superficie deben ser adecuadas para el acoplamiento del transductor. Soldaduras pequeñas y finas pueden ser difíciles de inspeccionar. Se requieren normas de referencia e inspectores u operadores entrenados y calificados.
<i>CORRIENTES DE EDDY</i>	Se aplica a piezas soldadas que tienen discontinuidades en o cerca de la superficie. Los aceros con elementos de aleación y las piezas con tratamiento térmico pueden afectar los resultados de la técnica.	El equipo utilizado con sondas superficiales generalmente es ligero y portátil. Las Soldaduras pintadas o con recubrimiento pueden ser inspeccionadas. El método se puede automatizar parcial o completamente para una velocidad alta, y este examen es relativamente económico.	Tiene relativamente poca profundidad de inspección. Muchos variables como materiales y ensayos pueden afectar la señal de prueba.

Fuente: AWS B1.1 [11].

2.5 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO.

En las piezas sometidas al proceso de soldadura es inevitable encontrar discontinuidades en los puntos de unión de las mismas. Cuando las discontinuidades son inaceptables debido a que su magnitud ejerce un rol fundamental en las propiedades mecánicas de las partes soldadas, estas son consideradas defectos y se opta por el rechazo de la unión. Por tal motivo se hace

indispensable el uso de un criterio de aceptación y rechazo al ser sometidas a algún tipo de inspección que evidencie la falla [22].

2.5.1 Criterio de aceptación del código AWS para inspección visual y líquidos penetrantes.

En el código AWS D1.1 [12] se indica que todas las soldaduras se deben inspeccionar visualmente y serán aceptadas si estas cumplen los criterios relacionados en la tabla 3.

Tabla 3. Criterios de aceptación de inspección visual y líquidos penetrantes para uniones soldadas a tope expuestas a cargas estáticas.

DISCONTINUIDAD	CRITERIOS AWS D1.1
<i>GRIETAS.</i>	Cualquier grieta es inaceptable independientemente de su tamaño y localización.
<i>FALTA DE FUSIÓN.</i>	Deberá existir fusión completa entre capas adyacentes de metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base.
<i>SOCAVADO.</i>	Para materiales de menos de 1 pulgada (25 mm) de espesor, la socavación no podrá ser superior a 1/32 pulgada (1 mm), excepto que se permite un máximo de 1/16 de pulgada (2 mm) para longitudes acumuladas de 2 pulgadas (50mm), Para materiales iguales o mayores a 1 pulgada de espesor, el socavado no excederá 1/16 de pulgada para cualquier longitud de soldadura.
<i>POROSIDAD.</i>	Para todas las soldaduras de ranura y soldaduras de filete, la suma de la porosidad tubular visibles de 1/32 pulgada (1 mm) o más de diámetro no deberá exceder 3/8 pulgada (10 mm) en cualquier pulgada lineal de soldadura y tampoco excederá los 3/4 pulgada (20 mm) en 12 pulgadas (300 mm) de longitud de soldadura.

Fuente: AWS D1.1 [12].

Para la evaluación de las indicaciones obtenidas de la técnica de líquidos penetrantes se aplican los mismos criterios expuestos en la tabla 3.

2.5.2 Criterio de aceptación del código AWS para radiografía industrial.

Según este código las soldaduras que estén sujetas a ensayo de radiografía además de la inspección visual no deberán tener ninguna grieta y serán rechazadas si las radiografías muestran que las discontinuidades exceden los siguientes límites indicados en la tabla 4 y la figura 1; tomados del AWS D1.1 [12].

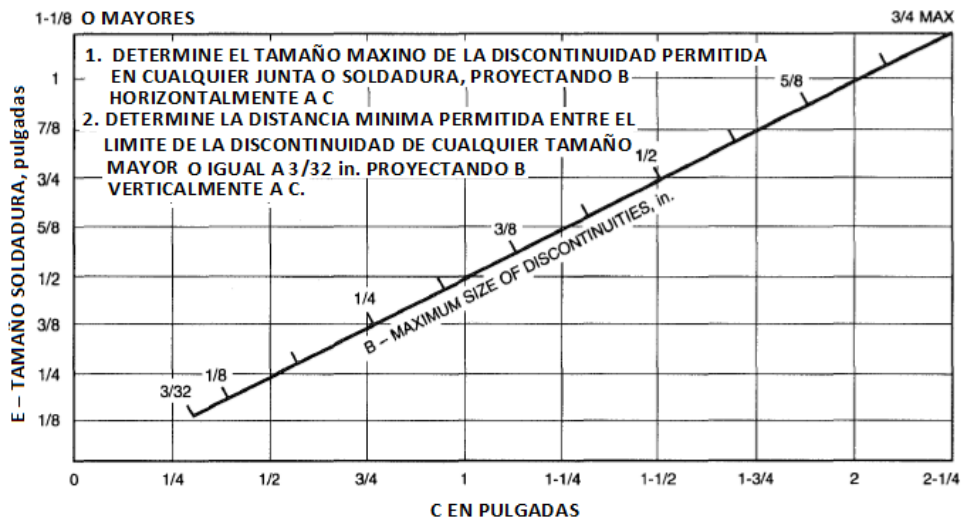
Tabla 4. Criterios de aceptación de radiografía industrial para uniones soldadas a tope expuestas a cargas estáticas.

DISCONTINUIDAD	CRITERIO
(1) ALARGADAS	Si excede el máximo tamaño calculado en la figura 1.
(2) AGRUPADA	Las discontinuidades más cerca que la distancia mínima asignada en la figura 1.
(3) REDONDEADA	Discontinuidades redondeadas mayores a un tamaño de E/3, no excederán un 1/4 de pulgada (6mm). Sin embargo cuando el espesor es mayor a 2 pulgadas (50mm), la máxima indicación redondeada podría ser de 3/8 de pulgada (10mm). La mínima separación de este tipo de discontinuidades mayores o iguales a 3/32 de pulgada a una discontinuidad alargada o redondeada aceptable o a un borde o final de soldadura será de tres veces la dimensión mayor de la mayor de las discontinuidades que se considere.
(4) AISLADA	Discontinuidades aisladas, como un conjunto de indicaciones redondeadas, que tienen una suma de sus mayores dimensiones que superen el tamaño máximo permitido para una sola discontinuidad en la Figura 1. La distancia mínima a otra agrupación o una discontinuidad alargada o redondeada o a un borde o al final de una soldadura será de tres veces la dimensión mayor de la mayor de las discontinuidades que se considere.
(5) SUMA DE DISCONTINUIDADES.	La suma de discontinuidades individuales cada una con la mayor dimensión menor a 3/32 pulgadas (2.5 mm) no excederá 2E / 3 o 3/8 pulgadas (10 mm), lo que sea menor, en cualquier pulgada lineal de soldadura. Este requisito es independiente de (1), (2) y (3) anteriores.

(6) EN LINEA	Las discontinuidades en línea, donde la suma de las mayores dimensiones de las discontinuidades supere a E en cualquier longitud de 6E. Cuando la longitud de la soldadura siendo examinada es menor a 6E, la suma permisible de las dimensiones mayores será proporcionalmente menor.
--------------	--

E: Tamaño de la soldadura. Fuente: AWS D1.1 [12].

Figura 1. Requisitos de calidad de soldadura para discontinuidades alargadas según lo determinado en radiografía para estructuras no tubulares cargadas estáticamente.



Fuente: AWS D1.1 [12].

2.5.3 Criterio de aceptación del código AWS para ultrasonido.

El código AWS D 1.1 [12] indica como evaluar la defectología presente en una unión soldada empleando la técnica de ultrasonido y este señala aplicar la siguiente formula:

$$d = a - b - c.$$

Donde,

d: Es el promedio de la indicación.

a: Es el nivel de la indicación de la falla cuando se lleva al 80% de la amplitud de la pantalla dado en decibeles.

b: Indica el nivel de referencia (sensibilidad al 80% de la amplitud de la pantalla, ajustada durante la calibración del equipo) dada en decibeles

c: Representa el factor de atenuación que se puede obtener aplicando, $c = (senda - 1) * 2$ [dB].

Una vez obtenido el promedio de la indicación (d), se ubica en la tabla 5, teniendo en cuenta el espesor de la soldadura y el ángulo de la zapata empleado para la inspección ultrasónica. Esta tabla relaciona el valor obtenido con los siguientes criterios de evaluación:

Clase A (Discontinuidades grandes): Cualquier discontinuidad en esta categoría será rechazada (independientemente de su longitud) [3].

Clase B (Discontinuidades medianas): Cualquier discontinuidad que tenga en esta categoría una longitud mayor que 3/4 de pulgada (20mm) será rechazada [3].

Clase C (Discontinuidades pequeñas): Cualquier discontinuidad que tenga en esta categoría una longitud mayor que 2 pulgadas (50mm) será rechazada [3].

Clase D (Discontinuidades menores): Cualquier discontinuidad en esta categoría será aceptable independientemente de su longitud o ubicación en la soldadura [3].

Tabla 5. Criterios de aceptación y rechazo de ultrasonido para uniones soldadas no tubulares expuestas a cargas estáticas.

CLASE DE SEVERIDAD DE LA DISCONTINUIDAD.	ESPESOR DE LA SOLDADURA EN PULGADAS Y ÁNGULO DE INSPECCIÓN										
	5/16 hasta 3/4	>3/4 hasta 1-1/2	>1-1/2 hasta 2-1/2			>2-1/2 hasta 4			>4 hasta 8.		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°
CLASE A.	+5 & menores	+2 & menores	-2 & menores	+1 & menores	+3 & menores	-5 & menores	-2 & menores	0 & menores	-7 & menores	-4 & menores	-1 & menores
CLASE B.	+6	+3	-1 0	+2 +3	+4 +5	-4 -3	-1 0	+1 +2	-6 -5	-3 -2	0 +1
CLASE C.	+7	+4	+1 +2	+4 +5	+6 +7	-2 a +2	+1 +2	+3 +4	-4 a +2	-1 a +2	+2 +3
CLASE D	+8 & mayores	+5 & mayores	+3 & mayores	+6 & mayores	+8 & mayores	+3 & mayores	+3 & mayores	+5 & mayores	+3 & mayores	+3 & mayores	+4 & mayores

Fuente: AWS D1.1 [12].

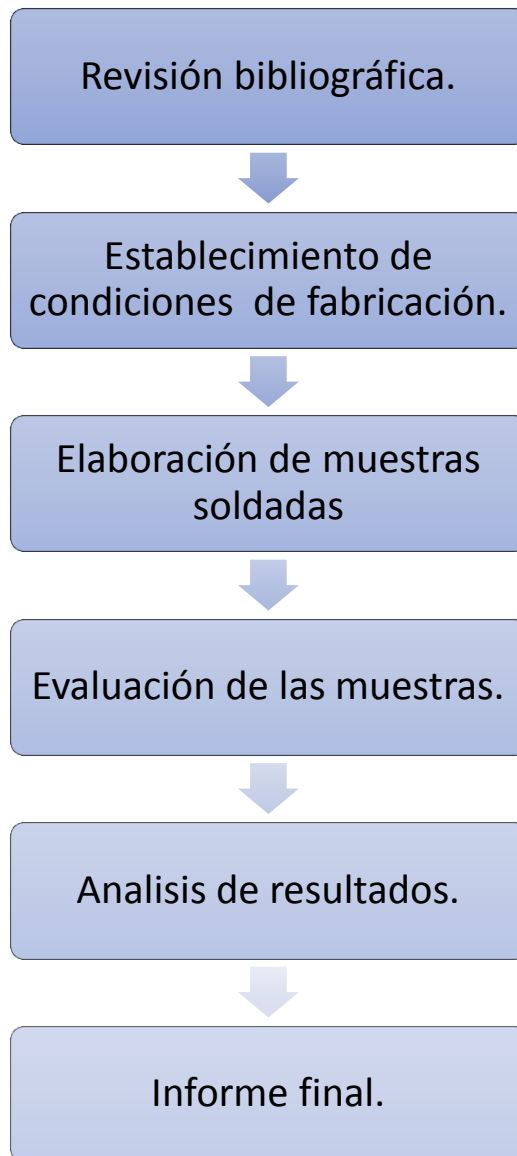
Notas:

1. Las discontinuidades B y C deberán estar separadas por una distancia $2L$, donde L es la longitud de la discontinuidad más larga, excepto que cuando dos o más de dichas discontinuidades no están separadas por lo menos $2L$, pero la longitud combinada de las discontinuidades y su distancia de separación es igual o menor que la longitud máxima admisible bajo las condiciones de la clase B o C, esta será considerada como una sola discontinuidad aceptable [12].
2. Las discontinuidades de las clases C y B no deberán estar a una distancia menor a $2L$ desde los extremos de soldadura que llevan esfuerzo de tracción primaria, donde L es la longitud de la discontinuidad [12].

3. METODOLOGÍA.

En la figura 2. Se presentan las etapas básicas llevadas a cabo para el desarrollo del presente proyecto. A continuación se presentan detalles de cada una de ellas.

Figura 2. Esquema de la metodología desarrollada en el presente trabajo.



3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Para la realización de este trabajo de grado se acudió a la revisión del material bibliográfico disponible en la Biblioteca de la UIS y base de datos de la misma. Adicionalmente se consultó información disponible en internet tales como normas técnicas y códigos vigentes con relación a soldadura e inspección no destructiva. Esta actividad se llevó a cabo durante todo el desarrollo del trabajo.

3.2 ESTABLECIMIENTO DE LAS CONDICIONES DE FABRICACIÓN.

En esta etapa se establecieron parámetros de operación tales como el tipo de metal base, los materiales consumibles, el diseño de la junta y la intensidad de corriente, todas estas están consignadas en el procedimiento de soldadura de la tabla 6. Además se seleccionó la defectología de estudio, junto con las causas que la generan.

Se escogió como metal base el acero al carbono ASTM A 36, partiendo de una lámina de 3/8 de pulgada de espesor con la cual se elaboraron las muestras soldadas. Se seleccionó este material por su variada aplicación en estructuras soldadas y su bajo costo.

De acuerdo con la selección hecha y teniendo como referencia la especificación AWS A5.1 se empleó para el pase de raíz el electrodo E 6010 de 3,175 mm (1/8 de pulgada) de diámetro el cual trabaja en un rango de intensidad de 60 – 80 A, y para los pases de relleno y presentación un electrodo E 7018 de 3,175 mm (1/8 de pulgada) de diámetro. Se trabajó en un rango de intensidad de 90 – 110 A para los pases de relleno y de 100 – 120 amperios para el pase de presentación.

En cuanto al diseño de la junta en lo relacionado con el ángulo del bisel y la altura del hombro se siguieron las recomendaciones del código AWS D1.1. El número de pases de la unión se determinaron teniendo en cuenta las indicaciones del fabricante del electrodo.

Para la determinación de la defectología a inducir en las muestras, se partió de la bibliografía seleccionada, se analizaron los diferentes defectos que se presentan en las uniones soldadas, realizadas mediante el proceso de soldadura SMAW. Se escogió este proceso debido a que es uno de los más utilizados en la industria. A partir de la evaluación hecha se seleccionaron cuatro defectos típicos: Socavadura, Porosidad, Falta de Fusión y Falta de Penetración, de los cuales se estudiaron los factores que los ocasionan. La tabla resumen de esta información se presentó en el capítulo anterior (tabla 1.)

A partir de la información indicada se seleccionaron dos causas por cada defecto, las cuales se presentan en la tabla 7 y se hicieron pruebas preliminares. Los resultados de éstas permitieron realizar ajustes al procedimiento de fabricación de las muestras, modificando las causas y en algunos casos incluyendo nuevas, con el fin de obtener los mejores resultados. Determinadas las condiciones finales se elaboraron tres muestras por cada procedimiento ajustado. Los resultados obtenidos en esta etapa se presentan en el siguiente capítulo.

3.3 ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS SOLDADAS.

En esta etapa para la elaboración de las muestras se realizaron las siguientes actividades: corte de las platinas, preparación del bisel, montaje de la junta y proceso de soldeo (ver figuras 3 y 4). El corte de las láminas se realizó en un taller especializado de la ciudad y las demás actividades se llevaron a cabo en las instalaciones del Centro Industrial de Mantenimiento Integral regional Santander

SENA, donde se contó con la colaboración de personal certificado en el proceso de soldadura SMAW.

Tabla 7. Causas seleccionadas para la fabricación de defectos.

DEFECTOS	CAUSAS DE GENERACION.
POROSIDADES	Causa 1: Electrodo húmedo. Para poner en práctica esta causa se sumergió el electrodo en agua durante 48 horas, para luego ser utilizado.
	Causa 2: Electrodo desprovisto de recubrimiento. Esta causa fue empleada retirando 50 mm del recubrimiento del electrodo a 50 mm del extremo de inicio del mismo, usado en el cordón de presentación.
SOCAVADURAS	Causa 1: Intensidad de soldeo demasiado elevada. Se aplicaron intensidades superiores a las sugeridas para el cordón de presentación hasta un 30%
	Causa 2: Velocidad de desplazamiento elevada.
FALTA DE FUSION	Causa 1: baja intensidad de corriente. Se aplicaron intensidades hasta en un 30% por debajo de las sugeridas para el cordón de presentación.
	Causa 2: Limpieza inadecuada entre pases. Se realizó limpieza solo en los pases de raíz y presentación, en los pases de relleno solo se percibió la escoria sin hacer cepillado.
FALTA DE PENETRACION	Causa 1: Separación de junta insuficiente. Se tomó una separación entre juntas de 2,5mm.
	Causa 2: Intensidad de soldeo insuficiente y excesiva longitud de arco. Se empleó una intensidad de soldeo entre 70 y 90 A.

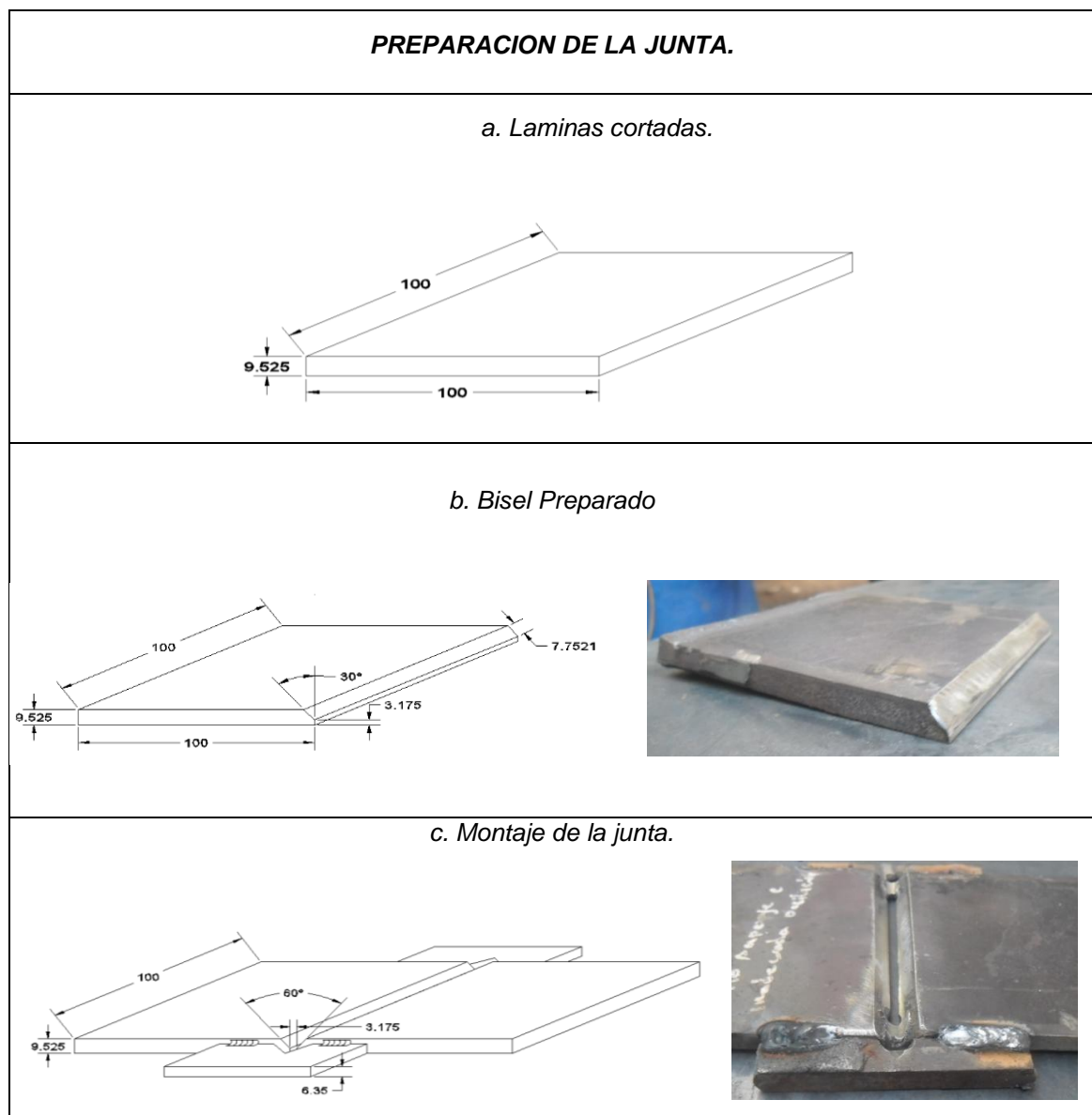
Para la elaboración de las muestras se realizaron cortes de platinas de cien milímetros por cien milímetros (Ver figura 3.a) utilizando una guillotina hidráulica HACO TS, estas dimensiones se determinaron teniendo en cuenta las condiciones mínimas para la aplicación de pruebas no destructivas seleccionadas para la evaluación.

Una vez realizados los cortes se procedió a la preparación de los biseles empleando una pulidora con un disco abrasivo de siete pulgadas marca 3M y referencia 982c cubitron II, estos se ajustaron a las dimensiones establecidas en las figura 3.b.

Después de preparado los biseles se procedió al montaje de la junta empleando pequeñas platinas de apoyo punteadas a lado y lado de la junta para conservar la distancia entre biseles y evitando así un posible desalineamiento como se muestra en la figura 3.c.

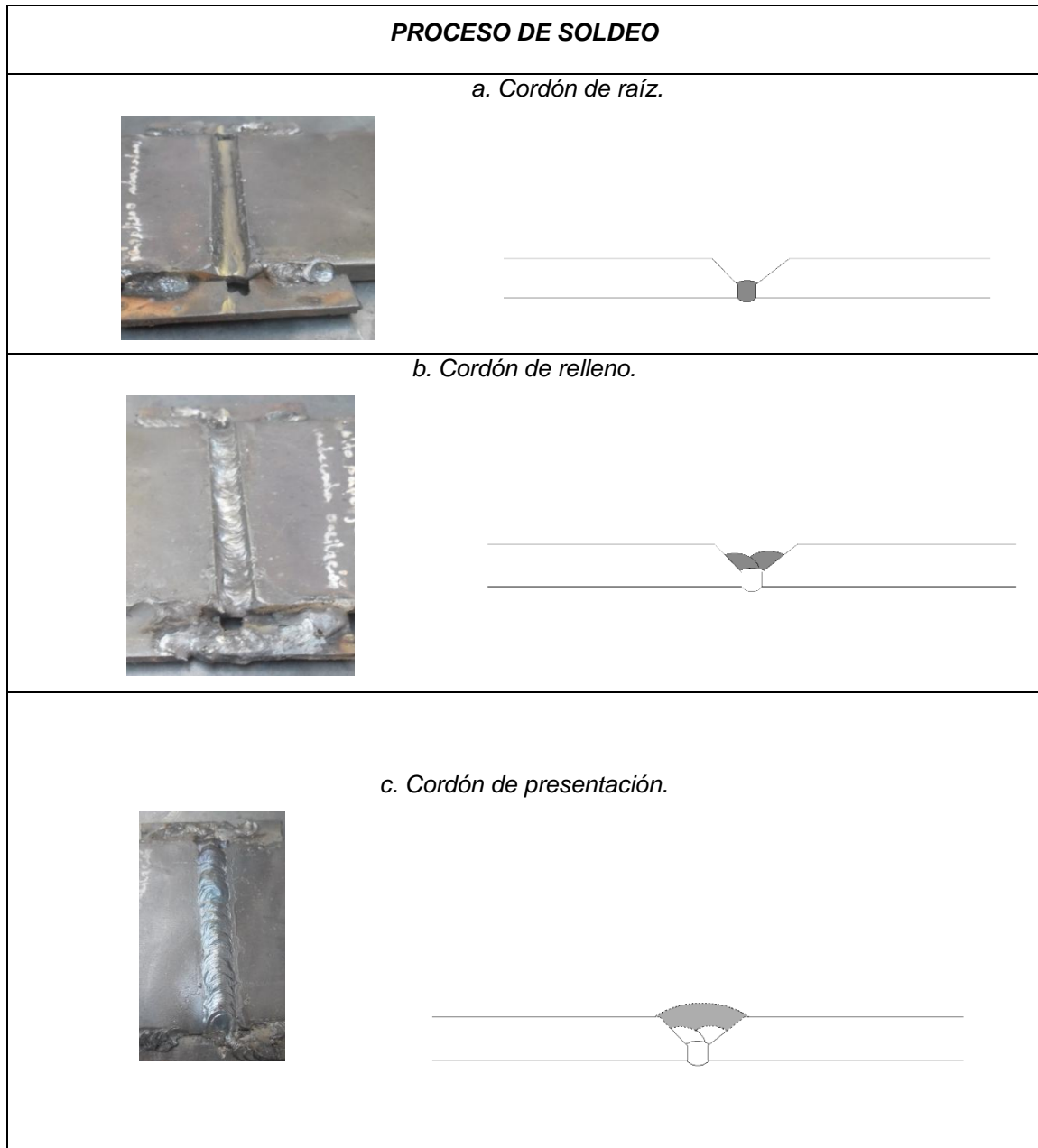
En la figuras 4.a, 4.b, 4.c, se muestran las tres etapas aplicadas durante la ejecución de la soldadura: Pase de raíz, pase de relleno y pase de presentación respectivamente realizados por un soldador certificado valiéndose de un equipo Miller Maxstar 150 STL y empleando las condiciones de fabricación establecidas en la sección anterior, además la limpieza de cada cordón de soldadura se hizo mediante cepillado manual.

Figura 3. Etapas de la preparación de la Junta.



Para inducir en las muestras los defectos seleccionados se implementaron inicialmente las causas relacionadas en la tabla 7 estas fueron modificadas en común acuerdo de los autores con el soldador a medida que se fabricaban las dos réplicas de cada muestra para mejorar la defectología propuesta.

Figura 4. Proceso de soldeo.



3.4 EVALUACIÓN DE LAS MUESTRAS.

En esta actividad se realizó la selección de los ensayos no destructivos utilizados para la caracterización de la defectología inducida en las muestras, además se establecieron los criterios de aceptación y rechazo empleados durante el desarrollo de este proyecto.

Para la caracterización de la defectología inducida en las muestras se eligieron las técnicas no destructivas atendiendo al tipo de discontinuidad según su ubicación (superficiales e internas), a su forma (planares o volumétricas) y teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de estas técnicas, así como los equipos y materiales disponibles en el laboratorio.

En la tabla 8 se presentan para cada defecto seleccionado las técnicas de inspección aplicadas, así como las normas técnicas correspondientes.

Tabla 8. Tipo de defecto, técnica de inspección y norma aplicada para realizar los procedimientos de ensayos no destructivos.

TIPO DE DEFECTO	TÉCNICA DE INSPECCIÓN	NORMAS APLICADAS PARA REALIZAR LOS PROCEDIMIENTOS DE LOS END.
POROSIDAD. (Volumétrico/superficial)	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección visual. • Líquidos Penetrantes. 	<p>ASTM E 165 Método estándar para la examinación con el ensayo de líquidos penetrantes [5].</p> <p>ASTM E 1220 Método para el examen de líquidos penetrantes removibles por solventes [9].</p> <p>ASTM E 1316 Terminología de la Examinación no destructiva [10].</p>
SOCAVADURA. (Volumétrico/superficial)	<ul style="list-style-type: none"> • Inspección visual. • Líquidos Penetrantes. 	<p>ASTM E 165 Método estándar para la examinación con el ensayo de líquidos penetrantes [5].</p> <p>ASTM E 1220 Método para el examen de líquidos penetrantes removibles por solventes [9].</p> <p>ASTM E 1316 Terminología de la Examinación no destructiva [10].</p>
FALTA DE FUSIÓN. (Planar/interno)	<ul style="list-style-type: none"> • Radiografía Industrial. • Ultrasonido Industrial. 	<p>ASTM E 94 Practica estándar recomendada para el ensayo de radiografía [2].</p> <p>ASTM E 142 Método estándar para el control de calidad del ensayo de radiografía [3].</p> <p>ASTM E 747 Norma practica para diseño, manufactura y materiales de indicador de calidad de imagen de alambre usados en radiografía [7].</p> <p>ASTM E 1032 Examinación radiográfica de piezas</p>

		<p>soldadas [8].</p> <p>ASTM E 587. Práctica estándar para ensayo ultrasónico Pulso-Eco, haz recto por el método de contacto [6].</p> <p>ASTM E 164 Práctica estándar para examen ultrasónico por contacto de Piezas soldadas [4].</p> <p>ASTM E 1316 Terminología de la Examinación no destructiva [10].</p>
<p>FALTA DE PENETRACIÓN. (Planar/interno)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Radiografía Industrial. • Ultrasonido Industrial. 	<p>ASTM E 94 Practica estándar recomendada para el ensayo de radiografía [2].</p> <p>ASTM E 142 Método estándar para el control de calidad del ensayo de radiografía [3].</p> <p>ASTM E 747 Norma practica para diseño, manufactura y materiales de indicador de calidad de imagen de alambre usados en radiografía [7].</p> <p>ASTM E 1032 Examinación radiográfica de piezas soldadas [8].</p> <p>ASTM E 587 Práctica estándar para ensayo ultrasónico Pulso-Eco, haz angular por el método de contacto [6].</p> <p>ASTM E 164 Práctica estándar para examen ultrasónico por contacto de Piezas soldadas [4].</p> <p>ASTM E 1316 Terminología de la Examinación no destructiva [10].</p>

Los equipos y materiales empleados en la realización de los ensayos se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Técnicas no destructivas, equipos y materiales.

TECNICA NO DESTRUCTIVA	EQUIPOS Y MATERIALES.
INSPECCION VISUAL	<ul style="list-style-type: none"> • Galga (CAM TYPE GAGE). • Galga (V WAG GAGE). • Calibrador pie de rey. • Lupa 60 mm. de diámetro. • Regla.
LIQUIDOS PENETRANTES	<ul style="list-style-type: none"> • Líquido penetrante (Spotcheck SKL – SP2) marca Magnaflux. • Revelador (Spotcheck SKD – S2) marca Magnaflux. • Cleaner (Spotcheck SKC – S) marca Magnaflux. • Estopa. • Regla.
RADIOGRAFIA	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo Baltospot GFD 165. • Película radiográfica Fuji 100. • Productos de revelado Kodak. • Negatoscopio marca Bausch & Lamb. • Densitómetro speedmaster. • Indicador de calidad de imagen ASTM B1.
ULTRASONIDO	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo Kautkramer USM 35 X • Palpador de 5 MHz marca Kautkramer. • Zapata de 70° • Acoplante aceite monogrado. • Bloque de calibración I.I.W. REFERENCE CALIBRATION BLOCK 203808 marca Magnaflux.

En cuanto a los criterios de aceptación y rechazo de la defectología se asumieron los que se aplican a las técnicas no destructivas de inspección visual, líquidos penetrantes, radiografía industrial y ultrasonido industrial, los cuales están expuestos en el código AWS D1.1. Se usaron los que hacen referencia a soldaduras en estructuras sometidas a cargas estáticas, debido a que son aplicables al tipo de unión soldada propuesta, resumen de esto se presentó en el capítulo dos. Los resultados obtenidos durante esta actividad están expuestos en el siguiente capítulo.

3.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Con base en los resultados de la caracterización de la defectología presente en las muestras soldadas obtenidos a partir de la evaluación no destructiva, se realizó un análisis comparativo de los dos métodos empleados en la generación de cada defecto y se establecieron los procedimientos para lograr la defectología propuesta.

3.6 INFORME FINAL.

Con base en los resultados obtenidos se elaboró el informe final. A demás se llevará a cabo la sustentación y difusión del trabajo realizado.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en cada una de las etapas propuestas en la metodología llevada a cabo en el presente proyecto, realizando el respectivo análisis de cada uno de los métodos obtenidos para la generación de la defectología detectada mediante las técnicas no destructivas aplicadas, además se determinaron los cuatro procedimientos con los cuales se obtuvo los mejores resultados.

4.1 ESTABLECIMIENTO DE LAS CONDICIONES DE FABRICACION.

Una vez establecidas las causas de generación de los defectos, se adaptó el procedimiento preliminar (tabla 6) para obtener los nuevos procedimientos de soldadura que permitieron la obtención de cada uno de los defectos propuestos.

Por ejemplo con el fin de generar la falta de fusión, se utilizó inicialmente baja intensidad de corriente, causa indicada en la literatura. Las muestras preliminares mostraron que la causa en mención no era suficiente para el resultado esperado, así que se decidió combinar la baja intensidad de corriente con un pase de relleno interrumpido que arrojó en la primera muestra una falta de fusión identificable en el examen radiográfico. En busca de afianzar el procedimiento y obtener repetitividad se efectuó la segunda probeta con una alternativa más precisa y elaborada, así que se realizó un pase de raíz en condiciones normales teniendo en cuenta que se buscaba que la falta de fusión fuera interna, los pases de relleno se hicieron de forma ondulada y el pase de presentación con baja intensidad además de una velocidad de avance mayor a la usualmente empleada para este cordón. La tercera probeta se fabricó manteniendo los mismos parámetros con los cuales se elaboró la segunda probeta, en este caso se lograron mejores resultados gracias a

que ya se habían predeterminado los valores de los diferentes parámetros además del apoyo del soldador.

Mediante las pruebas preliminares se intentó provocar porosidad haciendo uso de un electrodo húmedo como señala la literatura. Para lograr humedad en el recubrimiento del electrodo éste fue sumergido en agua durante cuarenta y ocho horas, de esta forma se obtuvo un cordón de soldadura que no tenía signos de porosidad en la superficie, así pues que se procedió a combinar esta causa con una baja intensidad buscando que la salida de los gases del baño fundido fuera ineficiente, para este ejercicio el resultado mejoró sin ser aún muy preciso. Con el propósito de ubicar la porosidad en el cordón de presentación se ejecutaron los pases de raíz y de relleno como indica el procedimiento de soldadura preliminar y en el pase de presentación se aplicó el electrodo húmedo, baja intensidad de corriente y se colocó grasa en el segundo pase de relleno en busca de la presencia de material volátil que permitiera la existencia de poros y así sumar efectividad al método de generación de porosidad agrupada y descubierta a la superficie. El método anteriormente descrito presentó como resultado poros aislados de un tamaño perceptible desde la elaboración del cordón de soldadura.

De manera similar se hizo para las otras discontinuidades. Las causas empleadas en las pruebas preliminares se modificaron y combinaron convenientemente para obtener la forma más adecuada de generar los defectos buscados. Estas se indican en la tabla 10. Adicionalmente en las tablas 11, 12, 13 y 14 se presentan cuatro procedimientos realizados para la obtención de la defectología indicada. Los demás procedimientos se presentan en los anexos A, B, C, D.

Tabla 10. Causas ajustadas para generar los defectos.

DEFECTOS	CAUSAS DE GENERACION.
POROSIDADES	Método 1: Sumergir en agua el electrodo E-7018 durante 48 horas para aplicación del cordón de presentación, aplicar grasa sobre el segundo pase de relleno, realizar el pase de presentación con un rango de intensidad de corriente de 70 – 90 Amperios.
	Método 2: Retirar 50 mm del recubrimiento del electrodo a 50 mm del extremo de inicio del mismo, luego de este paso utilizar el electrodo para realizar el cordón de presentación, y emplear un rango de intensidad de corriente de 70 – 90 amperios.
SOCAVADURAS	Método 1: Aplicar el pase de presentación trabajando el electrodo con un ángulo de desplazamiento menor a 30°, a un rango de intensidad de corriente de 120 -150amperios, además realizar este pase a una velocidad de avance de 0.040 pulgadas por segundo.
	Método 2: Trabajar el electrodo para el pase de presentación con una longitud de arco 60 % por encima de la distancia de trabajo convencional, a un rango de intensidad de corriente de 120 – 150 amperios y una velocidad de avance de 0.040 pulgadas por segundo.
FALTA DE FUSION	Método 1: Realizar los dos pases de relleno de forma ondulada de bisel a bisel dejando espacios en los biseles sin fundir, la oscilación máxima fue 2.5 veces el diámetro del electrodo, aplicar un rango de intensidad de corriente de 70 -90 amperios y una velocidad de avance de 0.095 pulgadas por segundo para generar el pase de presentación.
	Método 2: Realizar limpieza con cepillado manual solo en los pases de raíz y presentación, para los pases de relleno retirar la escoria con el martillo sin aplicar cepillado manual, para realizar el pase de presentación aplicar una intensidad de corriente en un rango de 80 – 100 amperios.
FALTA DE PENETRACION	Método 1: Posicionar las platinas a una distancia de 2.5 mm entre biseles, realizar el pase de raíz con una intensidad de corriente en un rango de 50 – 60 amperios.
	Método 2: Trabajar el electrodo para el pase de raíz con una longitud de arco 60% por encima de la distancia de trabajo convencional, además de aplicar una intensidad de corriente en un rango de 50 – 60 amperios para la realización del mismo pase.

En la tabla 11 se muestra el procedimiento para la generación de la falta de fusión obtenido a partir de los ajustes realizados al procedimiento preliminar aplicando el método uno.

Tabla 11. Procedimiento de soldadura para falta de fusión método 1.

QW – 482 ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS								
Nombre de la compañía: Laboratorio de ensayos no destructivos Universidad industrial de Santander. Especificación del procedimiento de soldadura N° : 001 Fecha: 30/09/14 RCP Soportante N°: Revisión N° : 001 Fecha: 30/09/14 Proceso(s) de soldadura: Por arco eléctrico y electrodo revestido - SMAW Tipo(s): Manual.								
JUNTAS (QW - 402) Diseño de la junta: Junta a tope bisel en "V" Respaldo: SI <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Material de respaldo Tipo: N.A. Metal Metal No Fusible No Metálico Otros				DETALLES 				
METALES BASE (QW - 403) No. P1 Grupo No.1 a No. P1 Grupo No.1 Especificación Tipo y Grado: ASTM A36 Tipo: lámina Tamaño nominal: 3/8"				METALES DE RELLENO (QW - 404) Especificación: ASME SFA. 5.1 Clase AWS No. E- 6010 y E- 7018 Diámetro: 1/8" No. F: 3 y 4 No. A: 1				
CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS (QW – 409) Para electrodo: E – 6010 Corriente: continua Polaridad: inversa / positiva Intensidad: 60A – 80A Tensión 18V – 24V Para electrodo: E – 7018 Corriente: continua Polaridad: inversa / positiva Intensidad: 100A – 120A Tensión 20V – 24V				PRECALENTAMIENTO (QW – 406) Temperatura Pre calentamiento: N.A. Temperatura entre pasadas Máxima: N.A. Mantenimiento del pre calentamiento: N.A. TÉCNICA (QW – 410) Cordoneado y oscilación máxima de 2.5 veces el diámetro del electrodo. Limpieza inicial y entre pasadas con cepillado manual y esmerilado.				
Pases de Soldadura	Proceso	Metal de Relleno		Corriente		Rango de Tensión	Rango de velocidad de avance.	Entrada de Calor.
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Rango de Intensidad			
1	SMAW	6010	1/8"	CD – PI	60 - 80	18 - 24	0.053 in./s.	
2-3	SMAW	7018	1/8"	CD – PI	90 - 110	20 - 24	0.074 in./s.	
4	SMAW	7018	1/8"	CD – PI	70 - 90	20 - 24	0.095 in./s.	
Nota: Realizar los dos pases de relleno de forma ondulada de bisel a bisel dejando espacios en los biseles sin fundir y la oscilación máxima fue 2.5 veces el diámetro del electrodo.								
Aprobado por: _____						Fecha: _____		

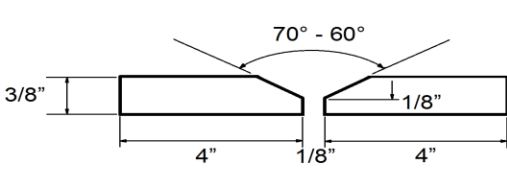
En la tabla 12 se muestra el procedimiento para la generación de la porosidad agrupada aplicando el método obtenido del ajuste del método uno.

Tabla 12. Procedimiento de soldadura para porosidad agrupada método 1.

QW – 482 ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS								
<p>Nombre de la compañía: Laboratorio de ensayos no destructivos Universidad industrial de Santander. Especificación del procedimiento de soldadura N° : 001 Fecha: 30/09/14 RCP Soportante N°: Revisión N° : 001 Fecha: 30/09/14 Proceso(s) de soldadura: Por arco eléctrico y electrodo revestido - SMAW Tipo(s): Manual.</p>								
<p>JUNTAS (QW - 402) Diseño de la junta: Junta a tope bisel en "V" Respaldo: SI ___ No <u>X</u> Material de respaldo Tipo: N.A. Metal Metal No Fusible No Metálico Otros</p>				<p>DETALLES</p>				
<p>METALES BASE (QW - 403) No. P1 Grupo No.1 a No. P1 Grupo No.1 Especificación Tipo y Grado: ASTM A36 Tipo: lámina Tamaño nominal: 3/8"</p>				<p>METALES DE RELLENO (QW - 404) Especificación: ASME SFA. 5.1 Clase AWS No. E- 6010 y E- 7018 Diámetro: 1/8" No. F: 3 y 4 No. A: 1</p>				
<p>CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW – 409) Para electrodo: E – 6010 Corriente: continua Polaridad: inversa / positiva Intensidad: 60A – 80A Tensión 18V – 24V Para electrodo: E – 7018 Corriente: continua Polaridad: inversa / positiva Intensidad: 100A – 120A Tensión 20V – 24V</p>				<p>PRECALENTAMIENTO (QW – 406) Temperatura Pre calentamiento: N.A. Temperatura entre pasadas Máxima: N.A. Mantenimiento del pre calentamiento: N.A.</p>				
				<p>TÉCNICA (QW – 410) Cordoneado y oscilación máxima de 2.5 veces el diámetro del electrodo. Limpieza inicial y entre pasadas con cepillado manual y esmerilado.</p>				
Pases de Soldadura	Proceso	Metal de Relleno		Corriente		Rango de Tensión	Rango de velocidad de avance.	Entrada de Calor.
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Rango de Intensidad			
1	SMAW	6010	1/8"	CD – PI	60 - 80	18 - 24	0.053 in./s.	
2-3	SMAW	7018	1/8"	CD – PI	90 - 110	20 - 24	0.074 in./s.	
4	SMAW	7018	1/8"	CD – PI	70 - 90	20 - 24	0.057 in./s.	
<p>Nota: Sumergir en agua el electrodo E-7018 para aplicación del cordón de presentación durante 48 horas. Se debe aplicar grasa sobre el segundo pase de relleno.</p>								
Aprobada por: _____						Fecha: _____		

En la tabla 13 se muestra el procedimiento para la generación de la socavadura aplicando el método obtenido del ajuste del método uno.

Tabla 13. Procedimiento de soldadura para generar socavadura método 1.

QW – 482 ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS								
Nombre de la compañía: Laboratorio de ensayos no destructivos Universidad industrial de Santander. Especificación del procedimiento de soldadura N° : 001 Fecha: 30/09/14 RCP Soportante N°: Revisión N° : 001 Fecha: 30/09/14 Proceso(s) de soldadura: Por arco eléctrico y electrodo revestido - SMAW Tipo(s): Manual.								
JUNTAS (QW - 402) Diseño de la junta: Junta a tope bisel en "V" Respaldo: SI ___ No <u>X</u> Material de respaldo Tipo: N.A. Metal Metal No Fusible No Metálico Otros				DETALLES 				
METALES BASE (QW - 403) No. P1 Grupo No.1 a No. P1 Grupo No.1 Especificación Tipo y Grado: ASTM A36 Tipo: lámina Tamaño nominal: 3/8"				METALES DE RELLENO (QW - 404) Especificación: ASME SFA. 5.1 Clase AWS No. E- 6010 y E- 7018 Diámetro: 1/8" No. F: 3 y 4 No. A: 1				
CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW – 409) Para electrodo: E – 6010 Corriente: continua Polaridad: inversa / positiva Intensidad: 60A – 80A Tensión 18V – 24V Para electrodo: E – 7018 Corriente: continua Polaridad: inversa / positiva Intensidad: 100A – 120A Tensión 20V – 24V				PRECALENTAMIENTO (QW – 406) Temperatura Pre calentamiento: N.A. Temperatura entre pasadas Máxima: N.A. Mantenimiento del pre calentamiento: N.A. TÉCNICA (QW – 410) Cordoneado y oscilación máxima de 2.5 veces el diámetro del electrodo. Limpieza inicial y entre pasadas con cepillado manual y esmerilado.				
Pases de Soldadura	Proceso	Metal de Relleno		Corriente		Rango de Tensión	Rango de velocidad de avance.	Entrada de Calor.
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Rango de Intensidad			
1	SMAW	6010	1/8"	CD – PI	60 - 80	18 - 24	0.053 in./s.	
2-3	SMAW	7018	1/8"	CD – PI	90 - 110	20 - 24	0.074 in./s.	
4	SMAW	7018	1/8"	CD – PI	120 - 150	20 - 24	0.040 in./s.	
Nota: Aplicar el pase de presentación trabajando el electrodo con un ángulo de desplazamiento menor a 30°.								
Aprobada por: _____						Fecha: _____		

4.2 ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS SOLDADAS.

Siguiendo la metodología del capítulo anterior se elaboraron 24 probetas soldadas con junta a tope y bisel en V. En la figura 5 se presentan imágenes fotográficas de algunos de las probetas con defectología superficial inducida por cada método aplicado a las mismas. No se presentan imágenes de los muestras con defectología interna pues esta no se puede visualizar.

Dentro del proceso de elaboración de las probetas se observaron varios aspectos importantes para establecer las mejores prácticas para la obtención de la defectología seleccionada. Aspectos como facilidad de aplicación, disponibilidad de los recursos, dependencia de la experiencia del soldador para su generación se tuvieron en cuenta.

En el caso de la porosidad el método dos, fue el más conveniente dada su facilidad de generación, disponibilidad de materiales y equipos necesarios, además de que implica un menor tiempo para su ejecución.

Para la generación de socavaduras el método que ofreció las mejores condiciones fue el método uno, debido a que para la ejecución de la soldadura el ángulo de desplazamiento es más controlable que la longitud de arco y en este caso estos son los parámetros que diferencian los métodos uno y dos.

En el proceso de la generación de Falta de Fusión es evidente que el método dos señala condiciones que dependen de los parámetros de operación principalmente, mientras que el método uno necesita más de la manipulación y técnica del soldador al momento de aplicar el cordón de relleno.

Figura 5. Imágenes fotográficas de probetas soldadas con defectología inducida visible.



Finalmente analizando los procedimientos diseñados para la obtención de falta de penetración se identifica que acortar la distancia entre biseles es una causa que permite de manera adecuada la repetitividad del método uno y esta es una característica a favor del propósito del proyecto.

4.3 EVALUACIÓN DE LAS MUESTRAS.

En esta fase se procedió a evaluar la defectología obtenida teniendo en cuenta lo recomendado por la literatura y los códigos señalados en la metodología del presente trabajo. Se aplicaron las técnicas de inspección visual y líquidos penetrantes para evaluar la defectología superficial además de Radiografía Industrial y Ultrasonido industrial, esta última técnica se utilizó de manera complementaria para la verificación de algunos defectos internos. Aunque la caracterización de las muestras se realizó para las 24 probetas, en este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la evaluación realizada a las ocho probetas finales fabricadas a partir de cada uno de los métodos ajustados durante el desarrollo de este estudio, además se hace un análisis comparativo de los métodos uno y dos empleados para la generación de cada uno de los defectos propuestos.

4.3.1 Evaluación de las muestras con porosidad inducida.

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de la inspección visual y líquidos penetrantes aplicados a estas probetas, elaboradas aplicando los métodos uno y dos.

En la tabla 15 se presentan los resultados obtenidos luego de aplicar la técnica de inspección visual. En ella se aprecia el tipo de probeta (método 1 y método 2) defecto encontrado, dimensión, ubicación, según origen de coordenadas demarcado con el nombre de la probeta en la esquina superior izquierda de los esquemas realizados, y el resultado de la evaluación según los criterios de la AWS D1.1.

De la observación de la tabla se puede decir que: el método dos (Ver tabla 15) permitió obtener tanto porosidad agrupada, como aislada, las dimensiones fueron similares a las obtenidas con el método uno. Adicionalmente se apreciaron defectos como socavaduras y salpicaduras, esto implica la dificultad para obtener un solo tipo de defecto, pese a la aplicación de las causas indicadas en la literatura.

Tabla 15. Resultados de inspección visual y evaluación de la defectología de la probetas con porosidad inducida, generadas con los métodos uno y dos.

Método 1.					
Probeta	#	Discontinuidad.	Dimensión	Ubicación.	Evaluación
PI3	1	Porosidad.	D < 1 mm.	X = 22.5 mm. Y = 107.2 mm.	Rechazado.
	2	Porosidad.	D = 1 mm.	X = 78.5 mm. Y = 107 mm.	Rechazado.
	3	Porosidad.	D = 1 mm.	X = 73.6 mm. Y = 98.3 mm.	Rechazado.
	4	Porosidad.	D < 1 mm.	X = 96.9 mm. Y = 95.8 mm.	Rechazado.
	5	Porosidad.	D = 1 mm.	X = 98.3 mm. Y = 96.4 mm.	Rechazado.
Método 2.					
Probeta	#	Discontinuidad.	Dimensión	Ubicación.	Evaluación
PII3	1	Porosidad agrupada.	L = 6.3 mm.	X = 47.7 mm. Y = 100.5 mm.	Rechazado.
	2	Porosidad.	D < 1 mm.	X = 63 mm. Y = 99.2 mm.	Rechazado.
	3	Socavadura.	L = 2.1 mm.	X = 16.3 mm. Y = 107 mm.	Rechazado.
	4	Salpicadura.	D = 2.9 mm.	X = 25.2 mm. Y = 109.1 mm.	Rechazado.
	5	Porosidad.	D < 1 mm.	X = 98.2 mm. Y = 103.2 mm.	Rechazado.

En la tabla 16 se muestran los resultados de aplicarle la técnica de líquidos penetrantes a las muestras mencionadas anteriormente.

Tabla 16. Resultados de líquidos penetrantes y evaluación de la defectología de las probeta con porosidad inducida generadas con los método uno y dos.

Método 1.					
Probeta	#	Indicación	Dimensión	Ubicación.	Evaluación
PI3	1	Redondeada	D= 6.5 mm	X= 18 mm	Rechazado.
	2	Redondeada	D= 9 mm.	X= 58 mm.	Rechazado.
	3	Redondeada	D= 4.5 mm	X= 75 mm	Rechazado.
	4	Redondeada	D= 5.5 mm	X= 94.5	Rechazado.
Método 2.					
Probeta	#	Indicación	Dimensión	Ubicación.	Evaluación
PII3	1	Redondeada	D= 8.5 mm.	X= 50 mm.	Rechazado.
	2	Redondeada	D= 4 mm	X= 62 mm.	Rechazado.
	3	Redondeada	D= 3.3 mm	X= 96.5 mm	Rechazado.

En esta tabla se encuentra el dimensionamiento de las indicaciones, la ubicación de las mismas con respecto al origen de coordenadas que para este caso está ubicado al extremo izquierdo de los cordones de soldadura, además en esta se puede apreciar los resultados de la evaluación según los criterios del código AWS D1.1.

A partir de este ensayo se apreciaron indicaciones redondeadas para las probetas realizadas por los dos métodos, los mayores tamaños de las indicaciones revelan que sus dimensiones son mucho mayores que las medidas por inspección visual.

Comparando los resultados obtenidos de aplicar las dos técnicas no destructivas a las probetas con porosidad inducida (ver tablas 15 y 16) se observa que para el caso de la muestra realizada con el método uno, en la inspección visual se identificaron cinco discontinuidades y con líquidos penetrantes solo se obtuvo cuatro indicaciones, esto se debe a que las discontinuidades número 4 y 5 de la tabla 15 para el método uno, tienen una distancia de separación muy corta y esto provoca que a la hora de aplicar los líquidos penetrantes solo muestre una sola

indicación para estas dos discontinuidades. Para el caso de la probeta fabricada con el método dos se pueden observar cinco discontinuidades al aplicar inspección visual, mientras que con la técnica de líquidos penetrantes solo se marcaron tres indicaciones. No se observó la discontinuidad número 3 de la tabla 15 para el método dos, la cual es una socavadura, pues se ve solo como una indicación falsa debido a que es ancha y además es poco profunda. La discontinuidad número 4 de la tabla 15 del método dos, corresponde a una salpicadura la cual no reveló ninguna indicación cuando se le aplicaron las tintas. Cabe resaltar que las discontinuidades 2 y 5 del método uno en la tabla 15 que tienen un tamaño menor a un milímetro son profundas, esto se observa en las dimensiones de las indicaciones 2 y 3 obtenidas en la tabla 16 para el método dos.

En la figura 6 se presentan esquemas con la defectología observada de la inspección visual realizada a las muestras generadas con los métodos uno y dos de porosidad, y en la figura 7 se muestran las fotografías tomadas a las probetas con porosidad inducida generadas con los métodos uno y dos, luego de su inspección por líquidos penetrantes.

Figura 6. Esquema de las probetas con porosidad inducida métodos uno y dos.

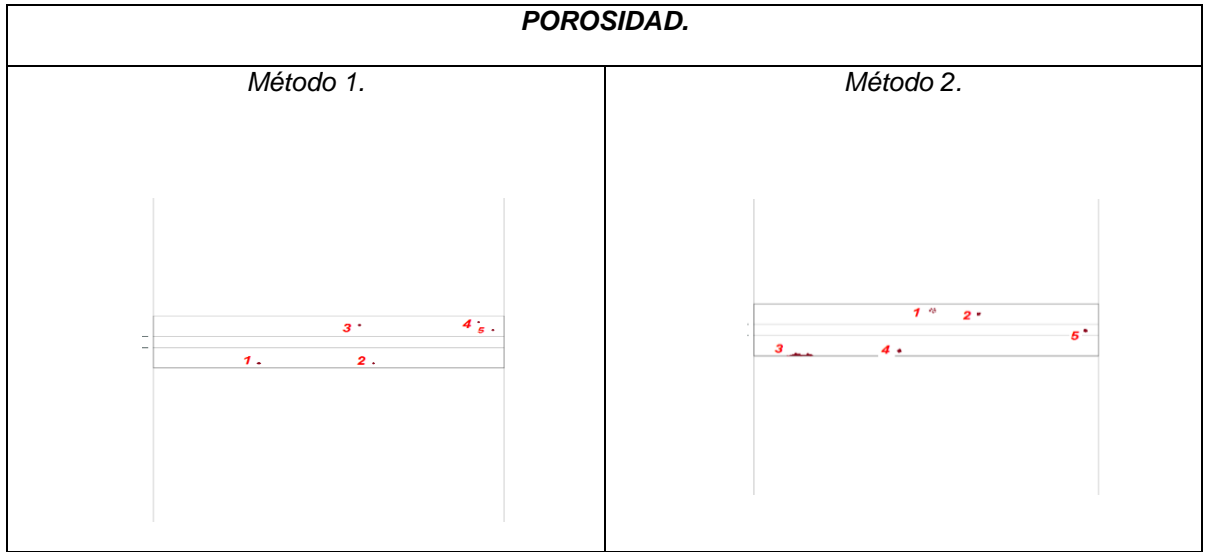
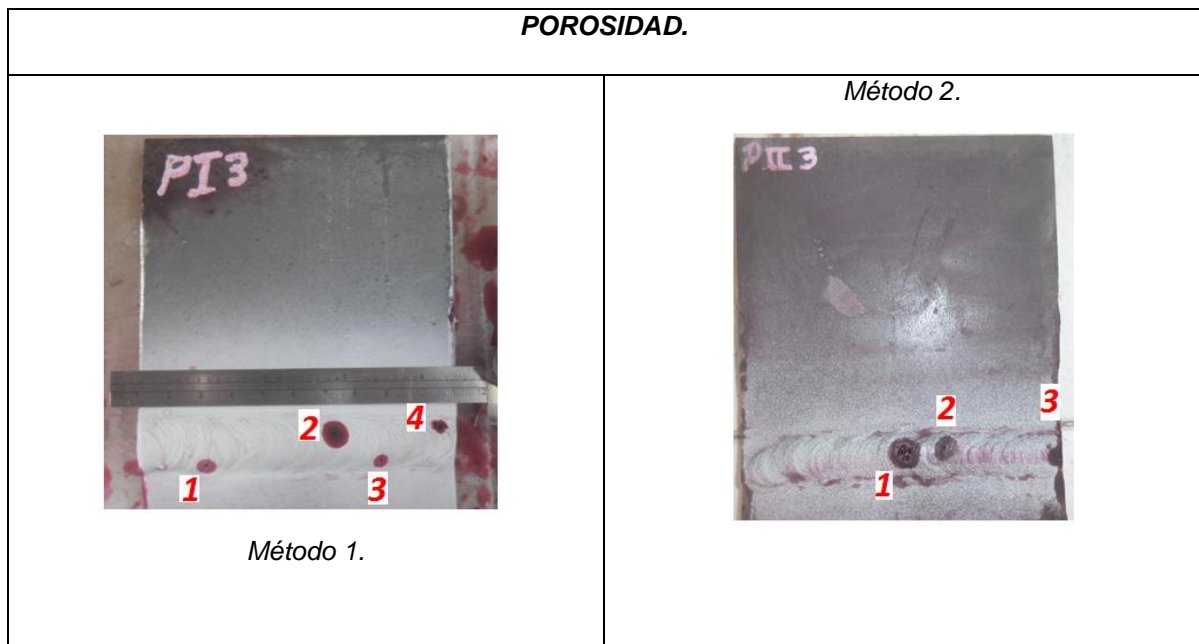


Figura 7. Fotografías del ensayo de líquidos penetrantes aplicado a las probetas con porosidad inducida generadas con el método uno y dos.



Los resultados obtenidos en la evaluación de las muestras fabricadas aplicando los métodos uno y dos para la obtención de porosidad, muestran que el método uno fue más preciso puesto que para éste se obtuvo como resultado solo el defecto propuesto para este caso, mientras que para el método dos además de porosidad agrupada de características detectables con END se presentó salpicadura y socavado que no son de interés para esta probeta.

4.3.2 Evaluación de las muestras con socavadura inducida.

Una vez sometidas a los respectivos END las muestras de socavadura inducida mediante los métodos uno y dos, se presentan los resultados obtenidos mediante la inspección visual (ver tabla 17) y líquidos penetrantes (ver tabla 18).

Tabla 17. Resultados de inspección visual y evaluación de la defectología de la probetas con socavadura inducida, generadas con los métodos uno y dos.

Método 1.					
Probeta	#	Discontinuidad.	Dimensión	Ubicación.	Evaluación
SI3	1	Socavadura.	L = 33 mm. p = 0.5 mm.		Rechazado.
	2	Socavadura.	L = 84.4 mm. p = 1 mm.		Rechazado.
	3	Socavadura.	L = 5.4 mm. p = 0.5 mm.	X = 94.6 mm. Y = 108.9 mm.	Rechazado.
	4	Porosidad.	D < 1 mm.	X = 2.8 mm. Y = 109.6 mm.	Rechazado.
Método 2.					
Probeta	#	Discontinuidad	Dimensión	Ubicación.	Evaluación
SI/3	1	Socavadura.	L = 5.3 mm.	X = 21.6 mm. Y = 94.9 mm.	Rechazado.
	2	Socavadura.	L = 6.6 mm.	X = 32.2 mm. Y = 94.9 mm.	Rechazado.
	3	Socavadura.	L = 4.4 mm.	X = 52.4 mm. Y = 94.9 mm.	Rechazado.
	4	Socavadura.	L = 10.7 mm.	X = 63.3 mm. Y = 94.9 mm.	Rechazado.
	5	Socavadura.	L = 7.3 mm.	X = 84.1 mm. Y = 94.9 mm.	Rechazado.
	6	Socavadura.	L = 28.9 mm.	X = 14.6 mm. Y = 107.4 mm.	Rechazado.
	7	Socavadura.	L = 6.7 mm.	X = 64.3 mm. Y = 107.4mm.	Rechazado.

En la tabla 17 se muestran la denominación de la probeta, el número, tipo, ubicación y dimensión de las discontinuidades, además del resultado de la evaluación luego de aplicar los criterios de la AWS D 1.1.

De la observación de esta tabla se puede afirmar que el método 1 genera socavadura de gran longitud (de hasta 84.4 mm.) y de poca profundidad, mientras que el método 2 genera discontinuidades con dimensiones menores a 28.9 mm.

En la tabla 18 se encuentra el dimensionamiento de las indicaciones, la ubicación de las mismas con respecto al origen de coordenadas que para este caso está ubicado al extremo izquierdo de los cordones de soldadura, además en esta se puede apreciar los resultados de la evaluación según los criterios del código AWS D1.1.

El ensayo de líquidos penetrantes presentó indicaciones de tipo redondeado para las dos probetas ensayadas. Las dimensiones leídas están influenciadas por el sangrado del líquido penetrante y la profundidad de la discontinuidad.

Tabla 18. Resultados de líquidos penetrantes y evaluación de la defectología de las probeta con socavadura inducida generadas con los método uno y dos.

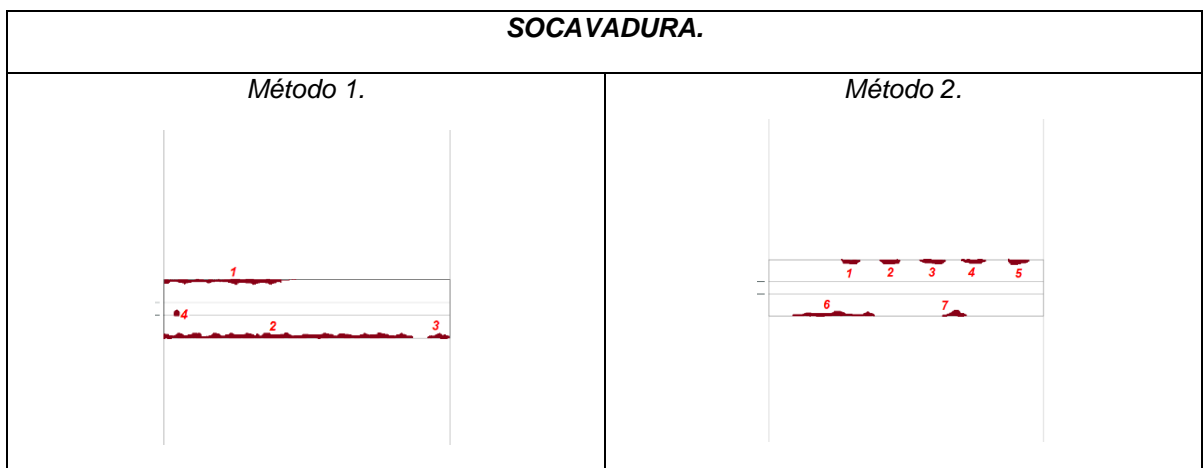
Método 1.					
Probeta	#	Indicación	Dimensión	Ubicación.	Evaluación
SI3	1	Redondeada	D= 4 mm.	X= 13 mm	Rechazado.
	2	Redondeada	D= 3.5	X= 16 mm	Rechazado.
	3	Redondeada	D= 4 mm.	X= 22 mm	Rechazado.
	4	Redondeada	D= 1 mm.	X= 2 mm.	Rechazado.
	5	Redondeada	D= 5 mm.	X = 28 mm.	Rechazado.
	6	Redondeado	D = 6 mm.	X = 93 mm.	Rechazado.
Método 2.					
Probeta	#	Indicación	Dimensión	Ubicación.	Evaluación
SI3	1	Redondeada	D= 3.5 mm	X= 22 mm.	Rechazado.
	2	Redondeada	D= 4.3 mm x 2 mm.	X= 40 mm.	Rechazado.
	3	Redondeada	D= 6 mm.	X= 65 mm.	Rechazado.
	4	Redondeada	D= 12 mm x 7 mm.	X= 78 mm.	Rechazado.

Analizando los resultados obtenidos de la inspección no destructiva presentados en las tabla 17 y 18 se determinó que en la probeta generada con el método uno el número de indicaciones es mayor que el número de discontinuidades halladas por medio de inspección visual, esto se debe a que la longitud de las socavaduras halladas con inspección visual son considerablemente largas, esto hace que cuando se realice la limpieza del penetrante se extraiga parte de este líquido en las zonas en que la socavadura no es muy profunda pero si muy abierta a la superficie. En el caso de la probeta generada con el método dos ocurre el fenómeno contrario, se observan más discontinuidades en la tabla 17 que las indicaciones encontradas en la tabla 18, esto se puede atribuir a que las discontinuidades 3, 6 y 7 halladas con inspección visual son poco profundas y no

hay suficiente penetración del tinte en ellas. Este hecho evita la aparición de las indicaciones de esas discontinuidades.

En la figura 8 se presentan esquemas con la defectología observada de la inspección visual realizada a las muestras con socavadura generadas con los métodos uno y dos.

Figura 8. Esquema de las probetas con socavadura inducida métodos uno y dos.



En la figura 9 se muestran las fotografías tomadas a las probetas con socavadura inducida generadas con los métodos uno y dos.

Figura 9. Fotografías del ensayo de líquidos penetrantes aplicado a las probetas con socavadura inducida generadas con el método uno y dos.



Los procedimientos propuestos para obtener socavado mostraron buenos resultados con las dos técnicas no destructivas aplicadas. Sin embargo el método uno produjo socavaduras con longitudes mayores.

4.3.3 Evaluación de las muestras con falta de penetración inducida.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las técnicas de radiografía industrial y ultrasonido aplicadas a las probetas con falta de penetración fabricadas con los métodos uno y dos.

La técnica de radiografía industrial se ejecutó con el Equipo Baltospot GFD 165, bajo parámetros de operación que se calcularon teniendo en cuenta tanto las recomendaciones y gráficos del equipo, las dimensiones de las 12 probetas a las que se le realizó el ensayo y el tipo de película radiográfica empleada. Los valores de estos parámetros fueron los siguientes: 160 Kv, 5 mA, 700 mm de distancia fuente - película utilizando un tiempo de exposición de dos minutos con cuarenta y cinco segundos.

Las imágenes digitalizadas de la radiografías tomadas a las probetas con falta de penetración generadas con el método uno y dos junto con un esquema gráfico de la defectología encontrada en dichas radiografías se presentan en la figura 10 y 11 respectivamente.

A partir de las radiografías tomadas se realizó el cálculo de la densidad de película, para esto se tomaron cuatro medidas aleatorias sobre el cordón de soldadura y para el material base seis medidas tres en la parte superior del cordón y tres en la parte inferior, estos valores se promediaron y se presentan en las

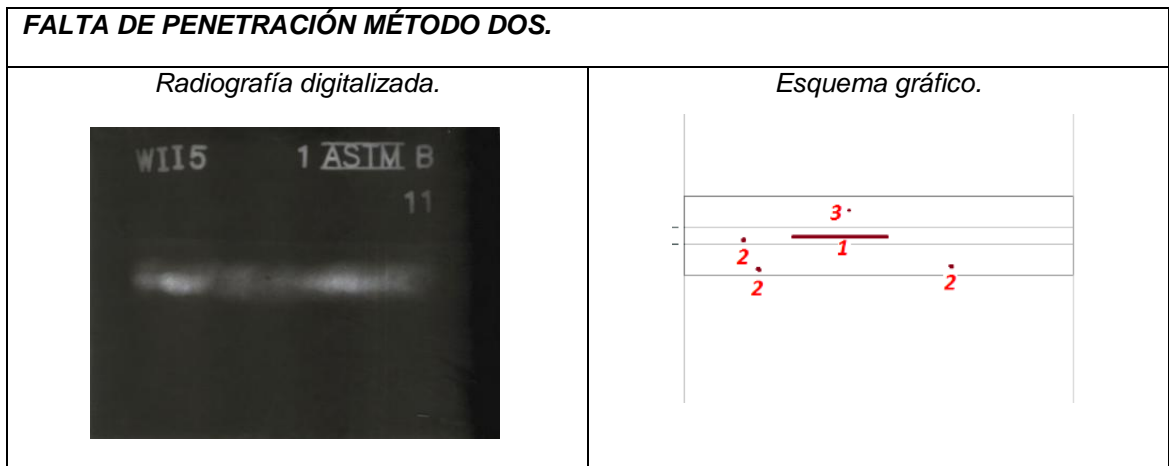
tablas de resultados de este capítulo, este procedimiento se realizó a todas las radiografías tomadas.

Figura 10. Radiografía digitalizada y esquema gráfico de la defectología de la probeta con falta de penetración generada con el método uno.



penetración generada con el método uno.

Figura 11. Radiografía digitalizada y esquema gráfico de la defectología de la probeta con falta de penetración generada con el método dos.



En la tabla 19 se muestran los resultados de la técnica de radiografía tomada a las probetas con falta de penetración inducida.

En esta tabla se presentan la denominación de las muestras, el valor promedio de la densidad para el cordón de soldadura y el material base, el número, el tipo y la dimensión de la discontinuidad, y la evaluación según los criterios del código AWS D1.1 de las probetas con falta de penetración métodos uno y dos. Durante este ensayo se utilizó un indicador de imagen ASTM B1 y se alcanza a identificar el alambre número seis lo cual indica una sensibilidad en el ensayo de 2.155 %.

En cuanto a la densidad radiográfica obtenida, solo el cordón de la muestra generada con el método uno, presentó un valor ligeramente menor del indicado por el código (1.8 a 4), sin embargo se pudo hacer la detección de las discontinuidades inducidas. Mediante el ensayo radiográfico se identificó falta de penetración, porosidad y falta de fusión en las muestras. Esto confirma la efectividad de los métodos utilizados para generar la falta de penetración. El método uno permitió obtener una discontinuidad de mayor longitud, pero presentó mayor número de defectos asociados incluso una pequeña falta de fusión.

Tabla 19. Resultados de radiografía industrial y evaluación de las probeta con falta de penetración inducida generadas con los método uno y dos.

Método 1.						
Probeta	Densidad de película		#	Discontinuidad.	Dimensión.	Evaluación
	En el cordón.	En la platina.				
WI5	1.5	2.47	1	Falta de fusión.	3mmx2mm.	Rechazado.
			2	Falta de penetración.	34mmx1mm.	Rechazado.
			3	2 poros	2mm.	Rechazado.
			4	3 poros	1mm.	Rechazado.
			5	6 poros	< 1mm.	Rechazado.
Método 2.						
Probeta	Densidad de película		#	Discontinuidad.	Dimensión.	Evaluación
	En el cordón.	En la platina.				
WI15	2.105	3.2525	1	Falta de penetración.	18mmx1mm	Rechazado.
			2	3 poros	1mm.	Rechazado.
			3	1 poro	< 1mm	Rechazado.

Esta técnica permitió detectar la defectología propuesta para los dos métodos de los cuales se puede resaltar para el método uno la generación de una falta de penetración con una dimensión de treinta y cuatro milímetros a la cual se le rotuló como discontinuidad 2 y que es evidentemente rechazada. Esta misma se puede confirmar posteriormente en la misma zona mediante el ensayo de ultrasonido.

El análisis para la probeta obtenida con el método dos, se puede identificar una falta de penetración (discontinuidad #1) con una longitud de dieciocho milímetros que es representativa teniendo en cuenta la dimensión del cordón de soldadura. Del mismo modo coincide con las indicaciones observadas en el equipo de ultrasonido, realizadas posteriormente.

Con el objeto de verificar la presencia de la falta de penetración en las muestras en estudio, se aplicó el ensayo de ultrasonido a las probetas, utilizando un equipo kautkramer USM 35X con transductor de 5 MHz y empleando la técnica de haz angular con zapata de 70°. Los resultados de la aplicación de esta técnica están expuestos en la tabla 20.

En esta tabla se presentan los resultados de la evaluación de las indicaciones según AWS, número y clase de discontinuidad identificada, y evaluación de la misma.

Mediante la evaluación ultrasónica se identificaron tres discontinuidades clase A en ambas probetas generadas con el método uno y dos. Con este ensayo se confirmaron las mayores dimensiones para la falta de penetración inducida por el método uno.

Como soporte visual, en la figura 12 se relacionan algunos picos emitidos por el equipo de ultrasonido que se lograron gracias a la presencia de falta de

penetración en la muestra, esta información corrobora los hallazgos realizados mediante radiografía industrial.

Tanto la técnica de radiografía industrial como la de ultrasonido aplicada a las probetas generadas por los métodos uno y dos, fueron complementarias para la identificación y caracterización de las discontinuidades inducidas.

Tabla 20. Resultados de ultrasonido y evaluación de las probeta con falta de penetración inducida generadas con los método uno y dos.

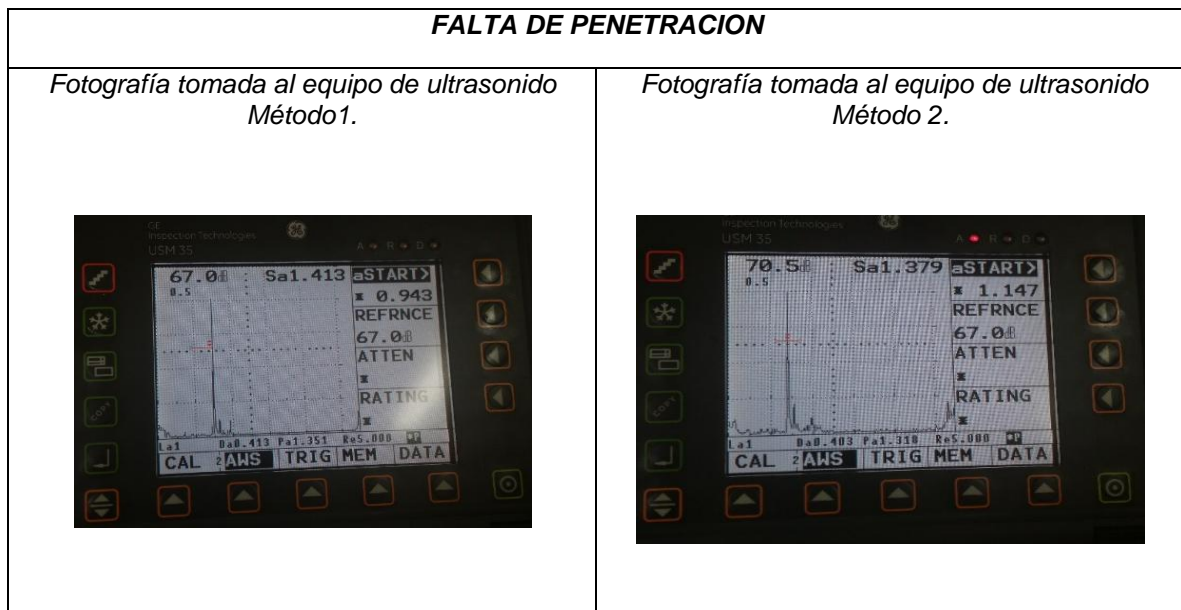
Método 1.						
Resultados evaluación indicaciones según AWS D1.1.				#	Clase de la discontinuidad.	Evaluación.
Nivel de la indicación. a [dB].	Nivel de referencia. b [dB].	Factor de atenuación. c [dB].	Promedio de la indicación. d [dB].			
74	80	0	-6	1	A	Rechazada.
72	80	0	-8	2	A	Rechazada.
67	80	1	-14	3	A	Rechazada.
Método 2.						
Resultados evaluación indicaciones según AWS D1.1.				#	Clase de la discontinuidad.	Evaluación.
Nivel de la indicación. a [dB].	Nivel de referencia. b [dB].	Factor de atenuación. c [dB].	Promedio de la indicación. d [dB].			
70	80	1	-11	1	A	Rechazada.
71	80	1	-10	2	A	Rechazada.
71	80	1	-10	3	A	Rechazada.

Fuente: Autor.

4.3.4 Evaluación de las muestras con falta de fusión inducida.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de radiografía industrial y ultrasonido a las probetas con falta de fusión inducida mediante los métodos uno y dos. La tabla 21 relaciona las discontinuidades, la ubicación y dimensión de las mismas observadas en las radiografías tomadas a las respectivas probetas.

Figura 12. Fotografías tomadas al equipo de ultrasonido cuando se obtuvo la discontinuidad al 80%.



Las radiografías obtenidas para estas probetas fueron debidamente digitalizadas y se presentan en la figura 13 y 14 respectivamente para las probetas obtenidas aplicando el método uno y dos. Además se presenta un esquema que permite evidenciar gráficamente la defectología presente, además de dar una idea clara de su ubicación y tamaño.

La tabla 21 muestra los resultados de la aplicación de la técnica de Radiografía Industrial, especificando la dimensión y evaluación de las discontinuidades presentes en las probetas obtenidas a partir de la aplicación de los métodos uno y dos para la generación de falta de fusión. También se relacionan los valores de densidad de película obtenidas en el cordón de soldadura y en el metal base que están acorde a lo indicado por el código AWS D1.1 [12] (1.8 a 4).

Para este ensayo podemos resaltar la presencia de siete discontinuidades generadas por el método uno de las cuales cinco son faltas de fusión lo cual

señala que este es un método bastante acertado para el logro de la discontinuidad propuesta. En este sentido el método dos solo provoco en este caso dos faltas de fusión que aunque son rechazadas por los criterios aplicados, representan menores dimensiones que las obtenidas mediante el método uno. En cuanto a los defectos asociados para los dos métodos se presentaron inclusiones de escoria y porosidad, aunque es de mayor dimensión la porosidad que se presentó al aplicar el método dos.

Tabla 21. Resultados de radiografía industrial y evaluación de las probeta con falta de fusión inducida generadas con los método uno y dos.

Método 1.						
Probeta	Densidad de película		#	Discontinuidad.	Dimensión.	Evaluación
	En el cordón.	En la platina.				
QI5	1.9025	3.1375	1	Falta de fusión.	18mmx2mm	Rechazado.
			2	Falta de fusión.	9mmx3mm	Rechazado.
			3	Falta de fusión.	18mmx1.5mm	Rechazado.
			4	Falta de fusión.	6mmx1.5mm	Rechazado.
			5	Porosidad	1 mm	Rechazado.
			6	Inclusiones de escoria.	3mmx2mm	Rechazado.
			7	Inclusiones de escoria.	2mmx1mm	Rechazado.
Método 2.						
Probeta	Densidad de película		#	Discontinuidad.	Dimensión.	Evaluación
	En el cordón.	En la platina.				
QII5	1.82	3.115	1	Porosidad agrupada	5mmx13mm	Rechazado.
			2	2 Falta de fusión.	3mmx1mm	Rechazado.
			3	Inclusion de escoria.	1mmx1mm	Rechazado.
			4	Inclusion de escoria.	1mmx1mm	Rechazado.

Como evidencia de la aplicación de la técnica de ultrasonido para la verificación de la presencia de falta de fusión, en la tabla 22 se muestran los resultados más relevantes encontrados sobre estas discontinuidad. En la tabla 22 se presentan los resultados de la evaluación de las indicaciones según AWS, número y clase de discontinuidad identificada, y evaluación de la misma.

Figura 13. Radiografía digitalizada y esquema gráfico de la defectología de la probeta con falta de fusión generada con el método uno.

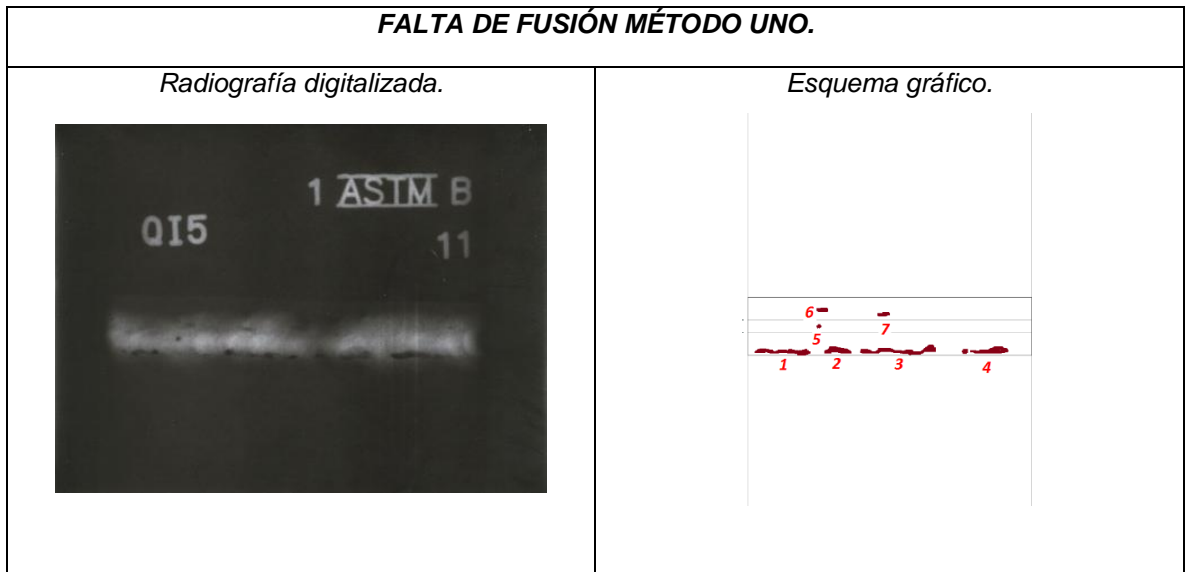
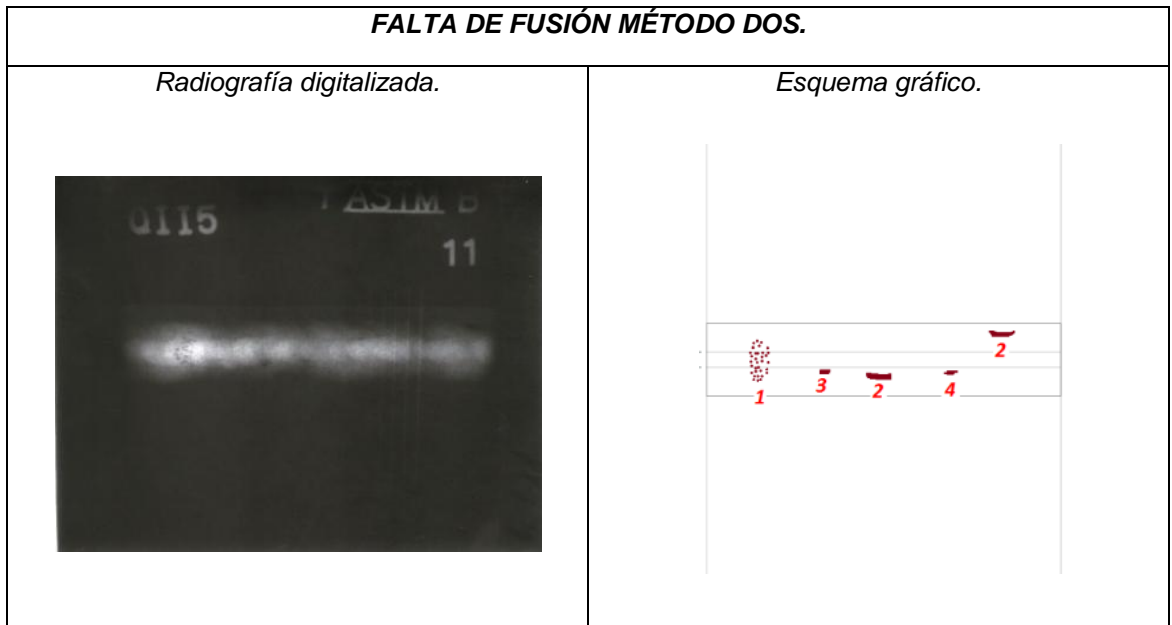


Figura 14. Radiografía digitalizada y esquema gráfico de la defectología de la probeta con falta de fusión generada con el método dos.



Mediante la técnica de ultrasonido se identificaron tres discontinuidades significativas clase “A” en cada una de las probetas analizadas. Se puso de manifiesto la mayor dimensión de las discontinuidades generadas por el método uno, por la amplitud de la señal y su permanencia en el barrido.

Tabla 22. Resultados de ultrasonido y evaluación de las probeta con falta de fusión inducida generadas con los método uno y dos.

Método 1.						
Resultados evaluación indicaciones según AWS D1.1.				#	Clase de la discontinuidad.	Evaluación.
Nivel de la indicación. a [dB].	Nivel de referencia. b [dB].	Factor de atenuación. c [dB].	Promedio de la indicación. d [dB].			
71	80	2	-11	1	A	Rechazada.
82	80	1	1	2	A	Rechazada.
78	80	1	-3	3	A	Rechazada.
Método 2.						
Resultados evaluación indicaciones según AWS D1.1.				#	Clase de la discontinuidad.	Evaluación.
Nivel de la indicación. a [dB].	Nivel de referencia. b [dB].	Factor de atenuación. c [dB].	Promedio de la indicación. d [dB].			
81	80	1	0	1	A	Rechazada.
85	80	1	4	2	A	Rechazada.
73	80	1	-8	3	A	Rechazada.

Algunas de las indicaciones obtenidas para las probetas de cada método en este ensayo se presentan en la figura 15.

La evaluación mediante radiografía industrial y ultrasonido de las muestras con falta de fusión como defecto propuesto, muestra que los métodos aplicados son acertados, no obstante la radiografía tomada a la probeta del método uno, evidencia claramente una falta de fusión que cumple con lo expuesto en la literatura y con mejores características de detección que la probeta obtenida con el método dos.

Figura 15. Fotografías tomadas al equipo de ultrasonido cuando se obtuvo la discontinuidad al 80%.



4.4 ANÁLISIS COMPARATIVOS DE LOS MÉTODOS.

Con base en los resultados obtenidos de la caracterización de las discontinuidades y las condiciones de fabricación de las muestras realizadas, en la tabla 23 se presenta un cuadro comparativo entre los dos métodos empleados para generar cada defecto propuesto, además de la selección del procedimiento más adecuado para la generación del defecto buscado teniendo en cuenta todos los criterios expresados en la tabla.

Como criterios fueron analizados además de la capacidad del método para generar los defectos las discontinuidades indeseadas encontradas en la probeta donde se aplicó el mismo. También se tuvo en cuenta la aplicabilidad del método y la facilidad de ejecución, la reproducibilidad del mismo para generar las discontinuidades y los resultados obtenidos de la evaluación realizada con ensayos no destructivos aplicables.

Aplicados estos criterios se determinó que para la generación de socavadura, falta de penetración y falta de fusión el método uno es el más apropiado y para el caso de porosidad el método 2 fue el más acertado.

Tabla 23. Cuadro comparativo de los métodos empleados para generar la defectología propuesta.

POROSIDAD.	
Método 1.	Método 2.
<p>Defectología: Se obtuvo porosidad con dimensiones de hasta un milímetro, no se presentaron defectos indeseados.</p> <p>Aplicabilidad del método: Implica dificultad en cuanto al tiempo de humidificación del electrodo (48 horas).</p> <p>Reproducibilidad: Se logró inducir porosidad en las tres probetas fabricadas, con irregularidades en cuanto a su ubicación y número de poros.</p> <p>Evaluación: Presentó discontinuidades detectables mediante las técnicas aplicadas, rechazabas bajo criterio AWS D1.1</p>	<p>Defectología: Se presentó porosidad agrupada de 6.3 mm además de socavadura y salpicadura.</p> <p>Aplicabilidad del método: No presenta complejidad.</p> <p>Reproducibilidad: Se logró porosidad agrupada inducida con características como tamaño y ubicación similares en las tres probetas fabricadas.</p> <p>Evaluación: Presentó discontinuidades detectables mediante las técnicas aplicadas, rechazabas bajo criterio AWS D1.1</p>
SOCADURA.	
Método 1.	Método 2.
<p>Defectología: Se obtuvo socavadura con mayores dimensiones que el método dos, además de un defecto indeseado.</p> <p>Aplicabilidad del método: Dificultad en el control del ángulo del desplazamiento.</p> <p>Reproducibilidad: Se logró con mejores resultados la socavadura en las tres probetas realizadas que el método dos aunque hubo irregularidades en su ubicación.</p> <p>Evaluación: Presentó discontinuidades detectables mediante las técnicas aplicadas, rechazabas bajo criterio AWS D1.1</p>	<p>Defectología: Se presentó socavadura con menores dimensiones que el método uno, sin presentar defectología indeseada.</p> <p>Aplicabilidad del método: Dificultad en el control de la longitud de arco, depende mucho de habilidad del soldador.</p> <p>Reproducibilidad: Aunque se obtuvo socavadura en las tres muestras en dos de ellas fue mínima la cantidad.</p> <p>Evaluación: Presentó discontinuidades detectables mediante las técnicas aplicadas, rechazabas bajo criterio AWS D1.1</p>
FALTA DE PENETRACIÓN	
Método 1.	Método 2.
<p>Defectología: Se obtuvo falta de penetración con mayores dimensiones que el método dos, además presenta falta de fusión y abundante porosidad.</p> <p>Aplicabilidad del método: No es indispensable la habilidad del soldador.</p> <p>Reproducibilidad: Se consiguió la reproducibilidad del defecto en las tres probetas con características de ubicación y tamaño similares.</p> <p>Evaluación: Presentó discontinuidades detectables mediante las técnicas aplicadas, rechazabas bajo criterio AWS D1.1</p>	<p>Defectología: Se obtuvo falta de penetración, y se presenta poca porosidad.</p> <p>Aplicabilidad del método: Requiere de la habilidad del soldador para poder maniobrar la longitud de arco.</p> <p>Reproducibilidad: Aunque en las tres probetas se detectó la falta de penetración hubo casos en los que muy difícilmente se identificó.</p> <p>Evaluación: Presentó discontinuidades detectables mediante las técnicas aplicadas, rechazabas bajo criterio AWS D1.1</p>
FALTA DE FUSIÓN.	
Método 1.	Método 2.
<p>Defectología: Se obtuvo gran cantidad de falta de fusión con buenas dimensiones, además de porosidad e inclusiones de escoria.</p> <p>Aplicabilidad del método: Se requiere de habilidad por parte del soldador para generar el cordón de relleno.</p> <p>Reproducibilidad: Se obtuvo falta de fusión de características similares en las tres probetas realizadas con este método.</p> <p>Evaluación: Presentó discontinuidades detectables mediante las técnicas aplicadas, rechazabas bajo criterio AWS D1.1</p>	<p>Defectología: Se consiguió poca falta de fusión y de dimensiones pequeñas en comparación con el método uno, además se detectó gran cantidad defectos indeseados.</p> <p>Aplicabilidad del método: Depende principalmente de los parámetros de operación.</p> <p>Reproducibilidad: Se logró la falta de fusión en las tres probetas, aunque con características diferentes en cada una de ellas.</p> <p>Evaluación: Presentó discontinuidades detectables mediante las técnicas aplicadas, rechazabas bajo criterio AWS D1.1</p>

✓ Método más adecuado para la generación del defecto buscado.

5. CONCLUSIONES.

Después de ejecutado el presente proyecto dirigido a obtener procedimientos de soldadura para la generación de defectología en placas planas soldadas mediante proceso SMAW, y luego de realizar la inspección y evaluación para la caracterización de los mismos se concluye:

- Aunque la bibliografía señala varias causas que generan defectos típicos en uniones soldadas, estas no fueron tan efectivas en la generación de discontinuidades en las muestras fabricadas y fue necesario mejorarlas y combinarlas para lograr el objetivo propuesto.
- Mediante procedimientos de soldadura individuales se establecieron las condiciones de operación más adecuadas para fabricar muestras con porosidad, socavadura, falta de penetración y falta de fusión obteniéndose 24 probetas con la defectología detectable con ensayos no destructivos.
- Las variables físicas implícitas en el proceso de soldadura SMAW son la fuente del resultado final de la unión soldada, pero la experticia del soldador es determinante en el momento de generar discontinuidades, para patrones de entrenamiento, de tal forma que la técnica empleada para ejecutar el cordón de soldadura, puede ocasionar discontinuidades en la soldadura incluso cuando se emplean condiciones sugeridas en este tipo de unión, si no se tiene la habilidad necesaria.

- La evaluación de las muestras fabricadas se realizó empleando técnicas no destructivas como inspección visual, líquidos penetrantes, radiografía industrial y ultrasonido, pudiéndose verificar, caracterizar y evaluar los defectos presentes, teniendo en cuenta los criterios del código AWS D1.1
- Una vez evaluadas mediante ensayos no destructivos las probetas fabricadas aplicando los ocho procedimientos diseñados durante el desarrollo de este estudio, se pudieron seleccionar los cuatro procedimientos que logran en mejor forma la defectología propuesta, estos son: para porosidad se determinó el método dos, para socavadura, falta de penetración y falta de fusión el método uno. Señalados en la tabla 10 y en los procedimientos del anexo A y tablas 13, 14 y 11 respectivamente.
- Los procedimientos escogidos se pueden reconocer como procesos apropiados para la obtención de patrones que pueden ser empleados para el entrenamiento de inspectores en formación.

6. RECOMENDACIONES.

Continuar con esta línea de investigación, incluyendo nueva defectología, espesores y diseños de juntas, que den lugar a nuevas herramientas que puedan ser empleadas para la capacitación y entrenamiento de nuevos inspectores.

Realizar otros trabajos complementarios que implique el uso de técnicas no destructivas diferentes a las empleadas en este estudio para la evaluación de este tipo de probetas como ejercicio académico que contribuya a la formación de inspectores idóneos.

Para la fabricación de este tipo de probetas se debe contar con la participación de un soldador con la habilidad de variar sus técnicas de soldeo convenientemente para obtener de mejor manera la defectología que se pretenda elaborar.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Welding of Pipelines and Related Facilities; API STANDARD 1104. Washington. vigésima edición noviembre 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E 1032. Standard Test Method for Radiographic Examination of Weldments, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.

_____. E 1220. Standard Practice for Visible Penetrant Testing Using Solvent-Removable Process, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

_____. E 1316. Standard Terminology for Nondestructive Examinations, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.

_____. E 142. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

_____. E 164. Standard Practice for Contact Ultrasonic Testing of Weldments, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.

_____. E 165. Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.

_____. E 587 - 10. Standard Practice for Ultrasonic Angle-Beam Contact Testing, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E 747. Standard Practice for Design, Manufacture and Material Grouping Classification of Wire

Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E 94-04. Standard Guide for Radiographic Examination, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

AMERICAN WELDING SOCIETY. Guide for the Nondestructive Examination of Welds. Miami: AWS, 1999. 45p. (AWS B1.10).

AMERICAN WELDING SOCIETY. Structural welding code – steel. Miami: AWS, 2010. 565p. (AWS D1.1).

BAZÁN NAVARRO, C. Determinación de electrodos y cálculo de costos de soldadura al arco asistidos por computadora. Universidad de Piura. Perú. 2002

CONSONNI, M. WEE, C.F. SCHNEIDER, C. Manufacturing of welded joints with realistic defects. TWI Ltd. Telford, UK. 2011.

DITCHBURN, R.J. KURDE, S. K. y SACALA, C.M. NDT of welds: state of the art. Aeronautical and Maritime Research Laboratory, Defense Science and Technology Organization. Australia. 1996.

GOMEZ, O. Soldadura de Metales. Ediciones UIS. Colombia. 1993. 37 p.

GONZALEZ, J. SORIANO, G. GREGORY G. Soldadura del acero api 5l-x52 mediante el proceso flux cored arc welding (fcaw) con transferencia pulsada. Universidad central de Venezuela. Venezuela. 2001

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

INDURA S.A. Manual de sistemas y materiales de soldadura. Santiago de Chile. Ograma, 2007. 172 p.

INTERNATIONAL ATOMIC AGENCY. Guidebook for the fabrication of non-destructive testing (NDT) test specimens. Printed by the IAEA, Austria, June 2001.

KOU, Sindo. Welding Metallurgy. 2 ed. Hoboken, New Jersey.: John Wiley & Sons, Inc., 2003. 461 p.

MENDOZA, W. Especificación de procedimientos de soldaduras W.P.S. Según código D1.1-2008 A.N.S.I./A.W.S.

PEREZ, J. C. Diseño de la investigación de la evaluación y análisis del comportamiento de defectos inducidos de porosidad, falta de penetración y socavación en probetas de acero al carbono ASTM A 36 soldadas con soldadura de arco protegido a través de métodos de ensayos no destructivos (pt, mt, rt y ut) en condiciones de normas A.W.S. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2013.

RODRIGUEZ, E. Evaluación de defectos inducidos en probetas de acero aisi 304 a través de métodos convencionales y no convencionales de inspección ultrasónica. Universidad Simón Bolívar. Venezuela. 2006

RODRÍGUEZ, SALGADO D. Tecnología y Técnica de los procesos de soldadura. Segunda edición ampliada. Bellisco Ediciones. Madrid 2010.

S. M. TABATABAEIPOUR, F. HONARVAR. A comparative of evaluation of ultrasonic testing of AISI 316l welds made by shielded metal arc welding and gas tungsten arc welding processes. Toosi University of Technology. Tehran, Iran. 1999.

SEGOVIA, S. Manual de Soldadura: Ejercicios prácticos de soldadura al arco electrodo revestido. Primera Edición. AMV Ediciones. Madrid 2012.

SOL Y SOL. Soldeo manual con electrodo revestido (SMAW). Disponible en: <http://solysol.com.es/data/documents/soldadura=20electrodo=20rec.doc.pdf>. Consultado el 3 de marzo del 2014.

SONASPECTION. Custom Reference Blocks. Disponible en: <http://www.sonaspection.com/products>. Consultado 25 de abril 2014.

SUAREZ, E. Influencia del recocido y temple sobre la dureza de un depósito de recargue duro del tipo EFe5-B. Universidad Central de Venezuela. Venezuela. 2001.

TECNITEST. TecniTest Ingenieros, Madrid España. Disponible en: <http://www.tecnitest.com>. Consultado el 5 de marzo del 2014.

THE AMERICAN SOCIETY OF OF MECHANICAL ENGINEERS. Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids. New York. ASME, 2002. 127p. (ASME STANDARD B 31.4.)

THE AMERICAN SOCIETY OF OF MECHANICAL ENGINEERS. Qualification Standard for Welding and Brazing Operators. New York. Julio Del 2000. (ASME STARNDARD SEC IX)

VEGA, A. Ingeniería de la soldadura discontinuidades y defectos en soldadura. Disponible en: http://www.ipen.org.br/downloads/simposio_lima/adan_vega_01.pdf. Consultado 7 de marzo del 2014.

WEI, E. FARSON, D. y RICHARDSON, R. Detection of weld surface porosity by statistical analysis of arc current in gas metal arc welding. The Ohio State University. USA. 2001.

Y. ANREN, L. ZHEN, A. SANSAN. A CMOS Visual sensing system for welding control and information acquirement in SMAW process. Tainjin University. China. 2012.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

[1] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Welding of Pipelines and Related Facilities; API STANDARD 1104. Washington. vigésima edición noviembre 2005.

[2] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E 94-04. Standard Guide for Radiographic Examination, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

[3] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E 142. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

[4] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E 164. Standard Practice for Contact Ultrasonic Testing of Weldments, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.

[5] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E 165. Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.

[6] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E 587 - 10. Standard Practice for Ultrasonic Angle-Beam Contact Testing, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

[7] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E 747. Standard Practice for Design, Manufacture and Material Grouping Classification of Wire Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

- [8] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E 1032. Standard Test Method for Radiographic Examination of Weldments, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
- [9] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E 1220. Standard Practice for Visible Penetrant Testing Using Solvent-Removable Process, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.
- [10] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E 1316. Standard Terminology for Nondestructive Examinations, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- [11] AMERICAN WELDING SOCIETY. Guide for the Nondestructive Examination of Welds. Miami: AWS, 1999. 45p. (AWS B1.10).
- [12] AMERICAN WELDING SOCIETY. Structural welding code – steel. Miami: AWS, 2010. 565p. (AWS D1.1).
- [13] BAZÁN NAVARRO, C. Determinación de electrodos y cálculo de costos de soldadura al arco asistidos por computadora. Universidad de Piura. Perú. 2002
- [14] CONSONNI, M. WEE, C.F. SCHNEIDER, C. Manufacturing of welded joints with realistic defects. TWI Ltd. Telford, UK. 2011.
- [15] DITCHBURN, R.J. KURDE, S. K. y SACALA, C.M. NDT of welds: state of the art. Aeronautical and Maritime Research Laboratory, Defense Science and Technology Organization. Australia. 1996.
- [16] GOMEZ, O. Soldadura de Metales. Ediciones UIS. Colombia. 1993. 37 p.

- [17] GONZALEZ, J. SORIANO, G. GREGORY G. Soldadura del acero api 5l-x52 mediante el proceso flux cored arc welding (fcaw) con transferencia pulsada. Universidad central de Venezuela. Venezuela. 2001
- [18] HELLIER, CHARLES J. Handbook of nondestructive evaluation. McGRAW-HILL. London. 2001.
- [19] INDURA S.A. Manual de sistemas y materiales de soldadura. Santiago de Chile. Ograma, 2007. 172 p.
- [20] INTERNATIONAL ATOMIC AGENCY. Guidebook for the fabrication of non-destructive testing (NDT) test specimens. Printed by the IAEA, Austria, June 2001.
- [21] KOU, Sindo. Welding Metallurgy. 2 ed. Hoboken, New Jersey.: John Wiley & Sons, Inc., 2003. 461 p.
- [22] MENDOZA, W. Especificación de procedimientos de soldaduras W.P.S. Según código D1.1-2008 A.N.S.I./A.W.S.
- [23] PEREZ, J. C. Diseño de la investigación de la evaluación y análisis del comportamiento de defectos inducidos de porosidad, falta de penetración y socavación en probetas de acero al carbono ASTM A 36 soldadas con soldadura de arco protegido a través de métodos de ensayos no destructivos (pt, mt, rt y ut) en condiciones de normas A.W.S. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2013.
- [24] RODRIGUEZ, E. Evaluación de defectos inducidos en probetas de acero aisi 304 a través de métodos convencionales y no convencionales de inspección ultrasónica. Universidad Simón Bolívar. Venezuela. 2006

[25] RODRÍGUEZ, SALGADO D. Tecnología y Técnica de los procesos de soldadura. Segunda edición ampliada. Bellisco Ediciones. Madrid 2010.

[26] S. M. TABATABAEIPOUR, F. HONARVAR. A comparative of evaluation of ultrasonic testing of AISI 316l welds made by shielded metal arc welding and gas tungsten arc welding processes. Toosi University of Technology. Tehran, Iran. 1999.

[27] SEGOVIA, S. Manual de Soldadura: Ejercicios prácticos de soldadura al arco electrodo revestido. Primera Edición. AMV Ediciones. Madrid 2012.

[28] SOL Y SOL. Soldeo manual con electrodo revestido (SMAW). Disponible en: <http://solysol.com.es/data/documents/soldadura=20electrodo=20rec.doc.pdf>. Consultado el 3 de marzo del 2014.

[29] SONASPECTION. Custom Reference Blocks. Disponible en: <http://www.sonaspection.com/products>. Consultado 25 de abril 2014.

[30] SUAREZ, E. Influencia del recocido y temple sobre la dureza de un depósito de recargue duro del tipo EFe5-B. Universidad Central de Venezuela. Venezuela. 2001.

[31] TECNITEST. TecniTest Ingenieros, Madrid España. Disponible en: <http://www.tecnitest.com>. Consultado el 5 de marzo del 2014.

[32] THE AMERICAN SOCIETY OF OF MECHANICAL ENGINEERS. Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids. New York. ASME, 2002. 127p. (ASME STANDARD B 31.4.)

[33] THE AMERICAN SOCIETY OF OF MECHANICAL ENGINEERS. Qualification Standard for Welding and Brazing Operators. New York. Julio Del 2000. (ASME STARNDARD SEC IX)

[34] VEGA, A. Ingeniería de la soldadura discontinuidades y defectos en soldadura. Disponible en: http://www.ipen.org.br/downloads/simposio_lima/adan_vega_01.pdf. Consultado 7 de marzo del 2014.

[35] WEI, E. FARSON, D. y RICHARDSON, R. Detection of weld surface porosity by statistical analysis of arc current in gas metal arc welding. The Ohio State University. USA. 2001.

[36] Y. ANREN, L. ZHEN, A. SANSAN. A CMOS Visual sensing system for welding control and information acquirement in SMAW process. Tainjin University. China. 2012.

Nota: retirar 50 mm del recubrimiento del electrodo usado en el cordón de presentación a 50 mm del extremo de inicio del mismo con ayuda de un alicate

Aprobada por: _____

Fecha: _____

