

**Fabricación De Probetas Soldadas Con Inclusiones De Escoria Y Grietas Inducidas
Durante El Proceso De Soldadura Para Uso Como Material Didáctico En La Enseñanza De
Ensayos No Destructivos**

Fabian Guerrero Ordoñez, Juan Camilo Vergel Acosta

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Metalúrgico

Director

Carlos Andrés Galán Pinilla

Magíster en Ingeniería de Materiales

Codirector

Ana María Pérez Ceballos

Doctora en Ingeniería

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales

Programa Académico

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mis padres que son mi base de inspiración para ser mejor cada día, que con su apoyo incondicional y esfuerzo han permitido que logre tan apreciada meta, su motivación y sus consejos fueron mi fuerza para escalar todos los retos que se presentaron en el tiempo que tomé para llegar a este momento.

A mis hermanos que su apoyo fue fundamental en los momentos críticos y estuvieron a mi lado para seguir adelante.

A mis compañeros de estudio que con sus talentos y habilidades crecimos como ingenieros, como personas y como una familia que se apoya para seguir avanzando.

A mis profesores que vieron en mí, cualidades que yo desconocía y fortalecieron, para asumir responsabilidades y proyectos que sin su apoyo serian inalcanzables.

Dedicatoria

Dedico este proyecto principalmente a mi madre Gladys Acosta, la persona más importante en mi vida, persona a la que amo por siempre estar ahí, ya que con su apoyo y esfuerzo me impulsaron y motivaron para lograr esta meta, con su comprensión y amor mantenía las ganas de seguir queriendo lo que tanto había soñado sin importar los obstáculos en el camino para llegar hasta acá.

A mi hermano Pablo Andrés Vergel que, a pesar de todo, es quien más a influenciado en mi desarrollo personal, aprendiendo de él las ganas de aprender día a día.

A mis compañeros y profesores quienes aprendí miles de cosas y no solo en la parte académica sino también en ser persona, aprendiendo de sus valores y principios, como ver el mundo desde diferentes puntos de vista, quienes ayudaron en mi formación y fueron compañeros y amigos en esta etapa tan importante en mi vida y son personas que quedan para toda la vida incondicionalmente.

A mi novia Laura Rincón que me ha enseñado a luchar por los sueños y metas sin importar lo grandes que sean, a ser ambicioso en lo que se quiere en la vida donde no hay límites, también por brindarme su amor y apoyo en los momentos difíciles.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de recorrer este camino de formación, de lograr concluir una etapa más en mi proyecto de vida, de conocer personas maravillosas que me acompañaron y apoyaron para lograr esta meta.

A mis profesores Carlos Andrés Galán Pinilla, Ana María Pérez Ceballos, Ana Emilse Coy Echeverría y Viviana R. Güiza Argüello, quienes, con sus conocimientos, su apoyo y su amistad dejaron una semilla en mí, que crecerá y un día será retribuido a otras generaciones en el camino de sus metas.

A mis compañeros de estudio Karen D. Estupiñan, Mauricio Macareo y Ricardo Carreño que estuvieron en todos los momentos buenos y malos, que me aceptaron como un hermano en una familia y que nunca perdieron la fe en mí.

A la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales, administrativos, técnicos, profesores y compañeros, que fundamentaron nuestras bases para el conocimiento y paralelamente formaron profesionales íntegros y valores de gratitud y pertenencia.

A la familia Quiroga Jordán que siempre fueron mis modelos a seguir y un apoyo para llegar a lograr mi objetivo de ser ingeniero.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darnos la oportunidad de recorrer este camino de formación, de lograr concluir una etapa más en nuestro proyecto de vida, de conocer personas maravillosas que nos acompañaron y apoyaron para lograr esta meta.

A los profesores Carlos Andrés Galán Pinilla, Ana María Pérez Ceballos, Ana Emilse Coy Echeverría y Viviana R. Güiza Argüello, quienes, con sus conocimientos, su apoyo y su amistad dejaron una semilla, que crecerá y un día será retribuido a otras generaciones en el camino de sus metas.

A nuestro director de proyecto Carlos Andrés Galán Pinilla y codirectora Ana María Pérez Ceballos, por compartir sus conocimientos, experiencia y guiarnos en cada paso desarrollado a lo largo de este proyecto.

A la escuela de ingeniería metalúrgica y ciencia de materiales, administrativos, técnicos, profesores y compañeros, que fundamentaron nuestras bases para el conocimiento y paralelamente formaron profesionales íntegros y valores de gratitud y pertenencia.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Fundamentos Teóricos	16
1.1. Soldadura	16
1.2. Procesos de soldadura	16
1.3 Técnicas de ensayos no destructivos.....	17
1.3.1 Inspección Visual.....	17
1.3.2 Líquidos Penetrantes.....	18
1.3.3 Ensayo por Partículas Magnéticas.....	18
1.3.4 Radiografía Industrial.....	18
2. Objetivos.....	19
2.1 Objetivo General.....	19
2.2 Objetivos Específicos.....	19
3. Metodología	20
3.1 Diseño Del Procedimiento De Soldadura (WPS)	22
3.2 Proceso de soldadura.....	23
3.2.1 Selección de Materiales	23
3.2.2 Diseño de la geometría de las probetas.....	24
3.2.3 Selección de variables para la soldadura	25
3.3 Fabricación de Probetas Soldadas.....	26
3.3.1 Preparar probetas según el diseño establecido.....	26
3.3.2 Coalescencia de la Soldadura Generando Grietas e Inclusiones de Escoria.....	28

3.4	Evaluar las discontinuidades generadas al seguir los WPS generados	29
3.4.1	Realizar las pruebas de END (inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas y radiografía industrial).....	29
	Resultados.....	32
4.2	Análisis de resultados	40
5	Conclusiones	43
6	Recomendaciones	45
	Referencias Bibliográficas	46
	Apéndices.....	49

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Parámetros utilizados en la fabricación de los patrones en función del tipo de defecto deseado.....	21
Tabla 2 Condiciones de exposición radiográfica para el acero ASTM A 36.....	30
Tabla 3 Condiciones de exposición radiográfica para el acero MaxDur 450.	31
Tabla 4. Observaciones que se presentaron en el desarrollo de la soldadura.	42
Tabla 5.WPS de la muestra 1 de Acero A36 se busca generar inclusiones de escoria.	49
Tabla 6. WPS de la muestra 2 de Acero A36 se buscaba la generación de grietas con la adición de S y P.	50
Tabla 7. WPS de la muestra 3 de Acero A36 se buscaba generar inclusiones de escoria.	51
Tabla 8.WPS de la muestra 4 de Acero A36 se buscaba generar inclusiones de escoria.	52
Tabla 9.WPS de la muestra 5 de Acero A36 se busca generar grieta.	53
Tabla 10.WPS de la muestra 6 de acero MaxDur 450 se busca generar inclusiones de escoria. .	54
Tabla 11.WPS de la muestra 7 de MaxDur 450 se busca generar inclusiones de escoria.	55
Tabla 12.WPS de la muestra 8 de MaxDur 450 se busca generar inclusiones de escoria.	57
Tabla 13. WPS de la muestra 9 de MaxDur 450 se busca generar grietas.	58
Tabla 14. WPS de la muestra 10 de MaxDur 450 se buscaba generar grieta.	59

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Probeta terminada.....	25
Figura 2. Preparación de las probetas	27
Figura 3. Azufre y roca fosfórica en el pase de relleno.	28
Figura 4. Equipo Para Radiografía.....	31
Figura 5. Muestra M1. Acero MaxDur 450 (Muestra Diseñada Para Inclusión De Escoria).....	33
Figura 6. Muestra M2. Acero MaxDur 450 (Muestra Diseñada Para Generación De Grieta)	33
Figura 7. Muestra M3. Acero MaxDur 450 (Muestra Diseñada Para Inclusión De Escoria).....	34
Figura 8. Muestra M4. Acero MaxDur 450 (Muestra Diseñada Para Inclusión De Escoria).....	35
Figura 9. Muestra M5. Acero MaxDur 450 (Muestra Diseñada Para Generación De Grieta)	35
Figura 10. Muestra M6. Acero ASTM A36 (Muestra Diseñada Para Inclusión De Escoria)	36
Figura 11. Muestra M7. Acero ASTM A36 (Muestra Diseñada Para Inclusión De Escoria)	37
Figura 12. Muestra M8. Acero ASTM A36 (Muestra Diseñada Para Inclusión De Escoria)	38
Figura 13. Muestra M9. Acero ASTM A36 (Muestra Diseñada Para Generación De Grieta).....	38
Figura 14. Muestra M10. Acero ASTM A36 (Muestra Diseñada Para Generación De Grieta)...	39

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. WPS de la muestra M1	49
Apéndice B. WPS de la muestra M2	50
Apéndice C. WPS de la muestra M3	51
Apéndice D. WPS de la muestra M4	52
Apéndice E. WPS de la muestra M5.....	53
Apéndice F. WPS de la muestra M6.....	54
Apéndice G. WPS de la muestra M7	55
Apéndice H. WPS de la muestra M8	56
Apéndice I. WPS de la muestra M9.....	57
Apéndice J. WPS de la muestra M10.....	58

Glosario

Ángulo de bisel: es el ángulo entre el material de aporte y el bisel en un plano perpendicular a la superficie del material base.

Defecto: es una irregularidad que por naturaleza o efecto acumulado no cumple con las normas mínimas aplicables de aceptación o especificaciones.

Discontinuidad: es una interrupción de la forma típica de un material o irregularidad en su características mecánicas, físicas o metalúrgicas.

Fusión: es fundir el metal de aporte y el metal base para unirlos en una sola pieza.

Fusión completa: es la fusión del material de aporte sobre el material base cubriendo la totalidad del cordón.

Material base: es el metal o aleación que se suelda.

Unión a tope: es la unión entre dos elementos alineados en un mismo plano.

Resumen

Título: Fabricación de probetas soldadas con inclusiones de escoria y grietas inducidas durante el proceso de soldadura para uso como material didáctico en la enseñanza de Ensayos No Destructivos*

Autor: Fabian Guerrero Ordoñez, Juan Camilo Vergel Acosta.**

Palabras Clave: Enseñanza de Ensayos No Destructivos, inspección de soldadura, identificación de discontinuidades.

Descripción: El desarrollo de diferentes industrias en Colombia ha generado la necesidad de tener personal calificado con un amplio conocimiento y experiencia en la realización de múltiples pruebas con Ensayos No Destructivos (END). Por tal motivo, se recurre a inspectores certificados, que requieren formación siguiendo prácticas internacionales recomendadas, donde se utilizan, en el proceso de entrenamiento, piezas con defectos típicos de diferentes procesos de fabricación como soldadura, conformado mecánico o fundición. Estas piezas constituyen material didáctico primordial para el estudio que, junto con la práctica en la interpretación y dimensionamiento de los defectos, mejoran la apropiación del conocimiento disciplinar del estudiante para su posterior certificación como inspector calificado. Por lo anterior, en el presente trabajo se desarrolló una metodología que permite fabricar patrones de bajo costo para la enseñanza de END, con discontinuidades inducidas durante el proceso de soldadura. Para la fabricación de los patrones se contemplaron dos defectos: inclusiones de escoria y grietas. Los defectos fueron inducidos de manera controlada no solo, modificando las variables del proceso de soldadura (corriente, velocidad de enfriamiento, etc.) sino también, por la aplicación de agentes externos como fósforo, azufre o cargas externas. Los resultados obtenidos permitieron evidenciar que la generación de defectos está directamente influenciada por las particularidades de los procesos de fabricación de los patrones. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de los patrones fabricados por diversas técnicas de END.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Director: Carlos Andrés Galán Pinilla. Magister en Ingeniería de Materiales. Codirector: Ana María Pérez Ceballos. Doctora en Ingeniería.

Abstract

Title: Manufacture Of Welded Specimens With Slag Inclusions And Cracks Induced During The Welding Process For Use As Didactic Material In The Teaching Of Non Destructive Testing *

Author(s): Fabian Guerrero Ordoñez, Juan Camilo Vergel Acosta. **

Key Words: Nondestructive testing teaching, welding inspection, identification of discontinues.

Description: The development of different industries in Colombia has generated the need for qualified personnel with extensive knowledge and experience in performing multiple tests with Non-Destructive Testing (NDT). For this reason, in field is necessary the presence of certified inspectors, who require training following international recommended practices, usually, parts with typical defects from different manufacturing processes as welding, forming, or casting are used in the training process. These parts constitute essential didactic material for the study that, together with the practice in the interpretation and sizing of defects, improve the appropriation of the student's disciplinary knowledge for their subsequent certification as qualified inspectors. Therefore, in the present work, a methodology was developed that allows the fabrication of low-cost patterns for NDT teaching, with discontinuities induced during the welding process. Two defects were considered for the fabrication of the patterns: slag inclusions and cracks. The defects were induced in a controlled manner not only by modifying the welding process variables but also by the application of external agents such as phosphorus, sulfur, cold water or external loads. The results obtained showed that the generation of defects is directly influenced by the particularities of the manufacturing processes of the patterns. Finally, the results obtained in the evaluation of the manufactured patterns by different NDT techniques are presented.

* Degree Work

** Faculty of Physical and Chermical Engineering. School of Metallurgical Engineering and Materials science. Director: Carlos Andrés Galán Pinilla. Master in Materials Engineering. Co-director: Ana María Pérez Ceballos. Doctor in Engineering

Introducción

En general, los Ensayos No Destructivos (END) pueden definirse como técnicas fundamentadas en principios físicos que permiten la evaluación de cualquier tipo de pieza para determinar la presencia de discontinuidades o daños que pueden tener un efecto nocivo sobre el comportamiento en servicio del componente evaluado, esto sin alterar las propiedades físicas, químicas, mecánicas o metalúrgicas de las piezas inspeccionadas (Hellier, 2013). La soldadura es un método confiable, eficiente y económico para unir piezas metálicas por lo que es el método de unión más ampliamente empleado (Jeffus, 2009). Sin embargo, durante el proceso de soldadura pueden inducirse discontinuidades y defectos por falta de uniformidad en las características mecánicas, metalúrgicas o físicas del material o de la soldadura. Según la Sociedad Americana de Soldadura (AWS, por sus siglas en inglés), un defecto es una discontinuidad, que por su naturaleza o por el efecto acumulado generado, no cumple las normas o especificaciones mínimas aceptables. La inspección de soldaduras es uno de los campos que más demanda el uso de END. El término inspección denota una actividad de control de calidad global que incluye numerosos pasos aplicados en diferentes etapas durante la fabricación y la vida útil de un componente (Jenney, 2001). El código AWS D1.1 exige que los inspectores de soldadura estén certificados para cumplir los requisitos mínimos en cuanto a educación, formación, experiencia, conocimientos técnicos generales y agudeza visual. Durante el proceso de formación de los inspectores se realizan entrenamientos con piezas reales y patrones soldados con defectología específica. De igual forma, el uso apropiado de las técnicas de END implica la calibración de los equipos e instrumentos, para lo cual también se recurre al uso de patrones. La fabricación de patrones para la evaluación de soldaduras mediante END se realiza bajo un control estricto de las variables del proceso para

inducir intencionalmente discontinuidades conocidas, las cuales le permitirán al inspector desarrollar sus habilidades técnicas para la detección confiable de discontinuidades. En el mercado se encuentran algunas empresas que fabrican y comercializan estos patrones, sin embargo, con costos muy altos y de baja disponibilidad en el país.

Con base en lo anterior surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Es posible elaborar patrones de bajo costo con discontinuidades controladas por medio del proceso SMAW? Para dar solución a la anterior pregunta, se diseñó un procedimiento de soldadura para la fabricación de patrones con el proceso de soldadura mencionado, modificando variables como corriente y velocidad de enfriamiento y adicionando agentes químicos para inducir la presencia de dos tipos de discontinuidades: inclusiones de escoria y grietas. Finalmente, para evaluar las discontinuidades generadas fueron ejecutados diversos END como inspección visual (IV), líquidos penetrantes visibles (LP), partículas magnéticas secas y húmedas fluorescentes (PM) y radiografía industrial con rayos X (Rx). La inspección de los patrones fabricados permitió confirmar la presencia de las discontinuidades inducidas en cuando a su tamaño y ubicación según lo esperado para cada muestra. Sin embargo, en algunos casos, los parámetros seleccionados permitieron generar la discontinuidad deseada, pero acompañada de discontinuidades no previstas como porosidades, socavaduras y falta fusión y de penetración.

1. Fundamentos Teóricos

En esta sección se presenta la información de los conceptos que se van a profundizar en el desarrollo del proyecto, manejando información de artículos recientes para complementar y tener una visualización actualizada, con relación a los tipos de soldadura y los Ensayos No Destructivos (END) que usaremos como métodos de inspección de las probetas que se fabricaron y del análisis de las inclusiones y grietas que estas presentarían comparando los resultados con los valores normativos.

1.1. Soldadura.

La Sociedad Americana de Soldadura (AWS, por sus siglas en inglés), (AWS A 3.0, 2020) define la soldadura como “una coalescencia localizada (por la fusión o unión de la estructura de granos de los materiales que se están soldando) de metales o no metales producida mediante el calentamiento de los materiales a las temperaturas de soldadura requeridas, con o sin la aplicación de presión, o mediante la aplicación de presión sola y con o sin el uso de material de aporte”.

1.2. Procesos de soldadura.

Los procesos de soldadura más comunes en la soldadura son: oxiacetilénica (OAW, por sus siglas en inglés), la soldadura por arco metálico revestido (SMAW, por sus siglas en inglés), llamada normalmente soldadura con electrodo, la soldadura por arco con gas protector y electrodo de tungsteno (GTAW, por sus siglas en inglés), la soldadura por arco con gas protector metálico y electrodo consumible (GMAW, por sus siglas en inglés), la soldadura por arco ya sea con gas o sin gas con núcleo de fundente (FCAW, por sus siglas en inglés) y la soldadura fuerte con soplete (TB, por sus siglas en inglés) para materiales de diferentes aleaciones. Siguiendo con el objetivo de este proyecto el enfoque es el proceso de soldadura SMAW:

SMAW es un proceso de soldadura donde el electrodo está recubierto de un fundente con características y composición química definida. La carga eléctrica que se transmite por el electrodo forma un arco eléctrico, rompiendo la resistencia eléctrica del aire, generando energía suficiente para alcanzar la temperatura de fusión del metal. El metal fundido del electrodo pasa por el arco hasta el baño fundido en el metal base, donde se hace la unión intermolecular del material base y el de aporte. El material base y el baño fundido de metal están cubiertos, purificados y protegidos por una nube de gas y una cubierta de escorias (calaminas) que cubren la soldadura a medida que el fundente protector del electrodo se quema. La gran ventaja del proceso de soldadura SMAW es su bajo costo, flexibilidad, portabilidad y versatilidad, razón por el cual es utilizada masivamente en el sector petrolero, civil y estructural (AWS D 1.1,2015).

1.3 Técnicas de ensayos no destructivos.

Los Ensayos No Destructivos tienen como función la detección de discontinuidades en los materiales. Las discontinuidades se caracterizan por ser zonas heterogéneas en la estructura física y en algunas ocasiones suelen ser inducidas de forma controlada. En operaciones de servicio las discontinuidades pueden convertirse en un defecto. Podemos definir como defecto aquel que no cumpla con los criterios de aprobación debido a que afecta el uso en servicio de la pieza (AWS D1.1, 2015)

En este proyecto de investigación nos enfocaremos en los siguientes END: inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas y radiografía industrial dando una sencilla definición de estos:

1.3.1 Inspección Visual.

Es el END que se usa con más frecuencia debido a su versatilidad, este ensayo se emplea para la inspección de superficies exteriores o de fácil acceso de piezas, componentes y ensambles.

La IV permite establecer el estado integral general en una pieza o componente y por otra parte se usa para detectar la presencia de objetos extraños en la parte interior de aparatos que se puedan ver afectados en su función (ASTM E 1316, 2018).

1.3.2 Líquidos Penetrantes.

Este END permite revelar discontinuidades superficiales principalmente, usando como principio físico la capilaridad de los líquidos, lo que produce que tales líquidos logren penetrar las grietas estrechas y se estanquen en este lugar facilitando la visualización por medio de un revelador (ASTM E 165,2012).

1.3.3 Ensayo por Partículas Magnéticas.

La base de este ensayo consiste en magnetizar la superficie a la que se le va hacer el estudio, salpicar con polvo magnético, observar y analizar los dibujos definidos por el campo magnético y posteriormente desmagnetizar la muestra (ASTM E 709,2015).

1.3.4 Radiografía Industrial.

La radiografía industrial es un método que permite inspeccionar los materiales a fin de detectar discontinuidades no superficiales mediante la capacidad de penetración que poseen los rayos X de onda corta, los rayos gama y los neutrones.

En los END, la radiografía industrial se emplea para inspeccionar, entre otros, hormigón y gran variedad de soldaduras, como las de gasoductos y tuberías de agua, depósitos de almacenamiento y elementos estructurales, y permite detectar grietas o defectos que de otro modo pueden no ser visibles. Organización Internacional de Energía Atómica (IAEA,2022).

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Elaborar patrones de juntas soldadas a tope mediante proceso de soldadura SMAW, induciendo grietas e inclusiones de escoria en aceros estructurales ASTM A36 y acero de media aleación MaxDur 450, para uso como material didáctico en la enseñanza de Ensayos No Destructivos.

2.2 Objetivos Específicos

Diseñar el procedimiento de soldadura para inducir inclusiones de escoria que afloren a la superficie y grietas mediante la adición de fósforo y azufre para hacerlas de forma controlada, durante su proceso de soldadura.

Fabricar los patrones siguiendo el procedimiento diseñado mediante el proceso de soldadura SMAW.

Evaluar las muestras soldadas usando los Ensayos No Destructivos de Inspección Visual, Líquidos Penetrantes, Partículas Magnéticas y Radiografía Industrial, aplicando los criterios de aceptación establecidos por los códigos AWS.

3. Metodología

El presente proyecto de grado se desarrolló en seis etapas, inicialmente se recopiló la información necesaria para desarrollar cada objetivo, con base en la bibliografía obtenida, se diseñó la especificación del procedimiento de soldadura (WPS) para inducir la aparición de inclusiones de escoria y grietas en el cordón de soldadura durante el proceso de manufactura. El WPS fue diseñado con base en la parte QW de la norma ASME (ASME, 2020). Completada la fase descrita anteriormente, se fabricaron diez (10) patrones utilizando el proceso SMAW bajo las condiciones específicas establecidas previamente. Los patrones denominados M1, M2, M3, M4 y M5 fueron fabricados usando como metal base el acero antidesgaste MaxDur450®. Los patrones restantes M6 al M10 se fabricaron con acero ASTM A36. Con base en la revisión bibliográfica realizada, se agregó una capa de azufre en polvo y roca fosfórica en forma de partículas finas sólidas como método para inducir la aparición de grietas, adición realizada antes de realizar el pase de presentación (Avner, 1988). Esta capa se agregó de manera que se formara una película de aproximadamente un milímetro de espesor sobre el cordón. Adicionalmente, al finalizar el cordón de presentación se aplicó agua fría generando un choque térmico en la corona de la soldadura, lo que permitió la nucleación de grietas debido al enfriamiento brusco del material.

Para inducir la aparición de inclusiones de escoria se seleccionó un valor de corriente (I) inadecuada y se modificó la posición del electrodo. Finalmente, se realizó la evaluación de las muestras soldadas usando las técnicas no destructivas de Inspección Visual, Líquidos Penetrantes (ASTM, 2018), Partículas Magnéticas (ASTM, 2021) y Rx (ASTM, 2019), siguiendo las recomendaciones establecidas por los códigos AWS D1.1 y Código ASME para calderas y recipientes a presión (BPVC, por sus siglas en inglés) secciones 5 y 9. El proceso de soldadura se realizó según recomendación a la norma de seguridad NTP-94 (Isnht, NTP,1998), adecuando al

lugar de trabajo y las herramientas presentes, para evitar accidentes que afectara a las personas presentes en el proceso y dañar los materiales utilizados. En la tabla 1, se muestran las variables utilizadas para la obtención de las muestras sujetas a este estudio:

Tabla 1. Parámetros utilizados en la fabricación de los patrones en función del tipo de defecto deseado.

Parámetros constantes para todas las muestras			
Proceso de soldadura	Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW)		
Metal base	ASTM A36, espesor:12 mm. Acero antidesgaste MaxDur450®, espesor: 9.36 mm.		
Metal de relleno	E7018 / E6010 / Acero Inoxidable 308L. Diámetro del electrodo: 3/32"		
Diseño de bisel	Unión V, ángulo 60°, espacio de la raíz 0mm		
Posición / Progresión	1G / 75° inclinación		
Polaridad	Inversa		
Variables modificadas para la obtención de defectos específicos			
Tipo de Defecto	Muestra	Variables del proceso de soldadura	Agentes externos utilizados
Grietas	M2	Pases 2 – 3: Pase sin defectos Variables: I: 100 A; Electrodo: E6013 Pase 4: Pase sin defectos Variables: I: 140 A; Electrodo: E7018 Pase presentación: Grieta Variables: I: 150 A; Electrodo: E7018	
	M5	Pase 2: Pase sin defectos Variables: I: 120 A; Electrodo: 308L Pase 3: Pase sin defectos Variables: I: 150 A; Electrodo: E7018 Pase presentación: Grieta Variables: I: 140 A; Electrodo: E7018	En el último pase de relleno se adicionó azufre y roca fosfórica. En el pase de presentación se adicionó agua fría.
	M9	Pases 2 - 3: Pase sin defecto Variables: I: 140 A; Electrodo: E7018 Pase 4: Pase sin defecto Variables: I: 150 A; Electrodo: E7018 Pase presentación: Grieta Variables: I: 160 A; Electrodo: E7018	
	M10	Pases 2 - 3: Pase sin defectos Variables: I: 100 A; Electrodo: E6013 Pase 4: Pase sin defectos Variables: I: 120 A; Electrodo: 308L Pase presentación: Grieta Variables: I: 140 A; Electrodo: E7018	
Inclusión de escoria	M3	Pase 2: Pase sin defectos Variables: I: 120 A; Electrodo: 308L Pases 3 – 4 y 5 Variables: I: 140 A; Electrodo: E7018	
	M4	Pase 2: Pase sin defecto	

	Variables: I: 100 A; Electrodo: E6013 Pase 3: Pase sin defecto Variables: I: 120 A; Electrodo: 308L Pase 4: Pase sin defecto Variables: I: 140 A; Electrodo: E7018 Pase presentación: Variables: I: 150 A; Electrodo: E7018	seleccionó una intensidad de corriente no adecuada.
M6	Pases 2 – 3 – 4: Pases sin defectos Variables: I: 150 A; Electrodo: E7018 Pase presentación: Variables: I: 140 A; Electrodo: E7018	
M7	Pases 2 - 3: Pase sin defecto Variables: I: 140 A; Electrodo: E7018 Pase 4: Pase sin defecto Variables: I: 150 A; Electrodo: E7018 Pase presentación: Variables: I: 160 A; Electrodo: E7018	
M8	Pase 2 – 3: Pase sin defecto Variables: I: 100 A; Electrodo: E6013 Pase 4 – 5: Variables: I: 140 A; Electrodo: E7018	

A continuación, se describirán en detalle las etapas realizadas en este trabajo de investigación

3.1 Diseño Del Procedimiento De Soldadura (WPS)

Se elaboró la Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS, por sus siglas en inglés) siguiendo lo establecido en el código ASME sección 9 Parte QW Artículo 5, y el código AWS D1.1 utilizado para calificar los END. En la Tabla 1 se presenta el formato diseñado de WPS, se dividió en dos partes, muestra la primera parte, el WPS genérico, donde están las variables que no se modificaron, manteniéndose constantes para la fabricación de todas las probetas, como, por ejemplo, el diseño del bisel, que es igual para todas las probetas. Las variables relevantes en esta sección del (WPS) son el número P el cual nos indica la clasificación del metal base que paralelamente con el número F nos proporciona los electrodos que pueden ser aplicados para la coalescencia del material base, finalmente, el numero A que nos limita en porcentaje los elementos presentes en el electrodo. A continuación, se presenta el formato para registrar las variables

específicas de cada probeta, indicando las variables que se utilizaron para la generación de las grietas y las inclusiones de escoria. Según cada caso, el cambio de corriente, la aplicación de azufre y roca fosfórica sobre los pases de relleno y la polaridad se encuentran en los WPS de cada muestra, cuyo detalle para cada muestra se presentan en los apéndices A a la J.

3.2 Proceso de soldadura

El proceso de soldadura que se escogió fue por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW) principalmente por la disponibilidad del equipo, los electrodos son fáciles de encontrar en el mercado, además, es un proceso de gran aplicación a nivel industrial y por la experiencia en el manejo de este proceso, sumado el bajo costo con el que se producirían las probetas. Ahora bien, para el desarrollo de las soldaduras se escogió el bisel en V con el objetivo garantizar una penetración completa. Finalmente, todas las probetas fueron elaboradas en la posición 1G a 75° de inclinación. En las actividades descritas a continuación, se presentan las variables complementarias que se escogieron, con su respectiva explicación.

3.2.1 Selección de Materiales

El acero ASTM A 36 seleccionado como material base es aplicado en diferentes elementos estructurales y en diferentes formas perfiladas. Su bajo costo en comparación con otros aceros permite adquirirse con gran facilidad, que junto con su soldabilidad hacen que sea muy utilizado en diferentes aplicaciones en obras civiles.

Para hacer el pase de raíz en todos los patrones del acero ASTM A36 y MaxDur 450 se usó el electrodo E6011 de 3.175 mm de diámetro debido a su buena penetración, la cual es necesaria para este pase. Seguidamente, se utilizaron los electrodos para el relleno y presentación, fue entre E6013 y E7018 de 3.175 mm respectivamente, también se usó el electrodo de acero inoxidable con una corriente de 120 [A] en los pases de relleno debido a que, al solidificarse como material

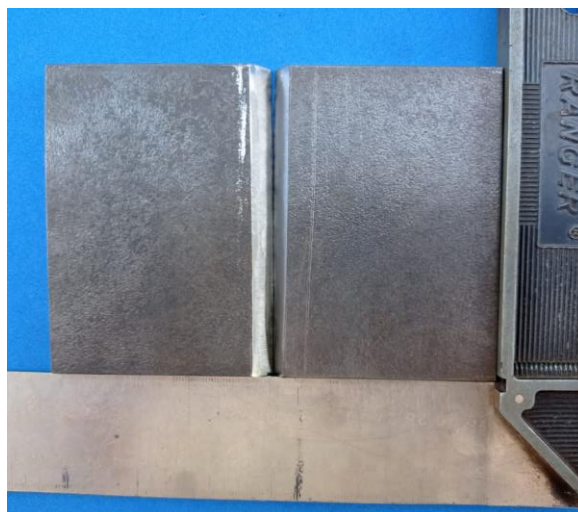
de aporte, aumenta la fragilidad en el cordón para obtener la generación de la grieta en el momento de aplicarle agua fría.

El acero antidesgaste MaxDur 450 es un acero de media aleación utilizado para herramientas y piezas de fricción como bujes, pasadores, elementos de corte como cizallas, máquinas dobladoras de láminas metálicas entre otros. Las propiedades mecánicas del acero MaxDur 450 hace un material muy resistente a la deformación plástica y al desgaste por abrasión o impacto.

3.2.2 Diseño de la geometría de las probetas

Las dimensiones de las probetas se definieron sin determinación de las normas ASME o ASTM, para definir las dimensiones se tuvo en cuenta el ahorro de material, facilidad para tener varios pases para inducir las discontinuidades, en el cual permitiera realizar Inspección Visual (IV), Líquidos Penetrantes (PT), Partículas Magnéticas (PM) y Rayos X (Rx), en consecuencia poder apoyar la galga *Cambridge* para toma de dimensiones y que estuviera cubierta al utilizar la película radiográfica D7 convencional sellada, con pantalla de plomo de 12 cm por 15 cm, además, que sea fácil de manipular para el soldador. Por lo anterior, para cada material seleccionado (Acero ASTM A36 y Acero de Media Aleación Max Dur 450) se estableció fabricar cinco probetas de 15 cm x 10 cm, de cada material. El espesor del acero ASTM A36 es de 12 mm y del acero MaxDur 450 es de 9.36 mm, espesores de mayor comercio. Cada pieza con un bisel en V con un ángulo de 30 grados sin abertura, este tipo de bisel y raíz fue escogido para tener un acceso más fácil a la raíz y verificar que no haya discontinuidades. La figura 1 nos muestra terminada la probeta para empezar el proceso de soldadura según los requerimientos dados por cada WPS que se encuentran en los apéndices A al J.

Figura 1. Probeta terminada



3.2.3 Selección de variables para la soldadura

Con base en las secciones del código ASME, se evaluaron las variables requeridas para la defectología a inducir, de acuerdo con la tabla QW-253 del código ASME sección 9 se clasificaron las variables en esenciales y no esenciales, lo cual hace fácil la operación del proceso de soldadura y evaluar la calidad del proceso. Las variables que se escogieron para generar las discontinuidades fueron la aportación de fósforo y azufre para la generación de grietas junto con la aplicación de agua fría en el paso de presentación y para las inclusiones de escoria un desarrollo mecánico del arrastre del electrodo junto a la variación de la intensidad de corriente para generar una mayor perturbación, se tomaron los valores con base en datos de los electrodos y la formación práctica del soldador para obtener los resultados esperados.

Antes de realizar el pase de presentación se agregó azufre en polvo y roca fosfórica (Avner, 1988) en forma de partículas finas sólidas, formando una película de aproximadamente un milímetro de espesor sobre el cordón en partes específicas como en la muestra M2 y M9, y en la totalidad del cordón como las muestras M5 y M10, terminado el cordón de presentación se aplicó

agua fría generando un choque térmico en la corona de la soldadura para nuclear las grietas debido al enfriamiento brusco del material.

La velocidad de avance del electrodo es una variable que permite al soldador identificar si el cordón se hace de manera adecuada o se genera discontinuidades visibles, para un correcto avance el fabricante ofrece los datos de trabajo del electrodo y en general los manuales experimentales de soldadura sugieren velocidades entre 1[cm/s] a 2.5 [cm/s].

3.3 Fabricación de Probetas Soldadas

Para la fabricación de las diez probetas, cinco con el acero ASTM A36 y cinco con el acero MaxDur 450, se preparó un entorno adecuado a un laboratorio práctico de soldadura donde se dispuso las herramientas y los materiales idóneos para un correcto procedimiento en la soldadura, teniendo en cuenta las normas de seguridad junto con los riesgos a accidentes. Con base en lo anterior, se tomó como prioridad el traje, los guantes, las botas, el casco de soldar en óptimas condiciones, se modificó una mesa metálica para colocar las piezas prensadas (figura 2) y soldarlas según los parámetros establecidos en los apéndices A a la J. La temperatura del ambiente no se tomó en cuenta para el análisis ya que en la práctica este tipo de procedimientos se hace en campo en las condiciones que el ambiente permite según el área geográfica y el clima.

3.3.1 Preparación de probetas según el diseño establecido.

La preparación de las probetas se realizó de manera manual, verificando los parámetros de interés dados en la actividad 2 de la etapa 2 de este proceso. Para cortar las probetas según el diseño que se estableció, se utilizó el disco de 9 pulgadas en una tronzadora quedando como se observa en a figura 2a y 2b. Para la creación del bisel se utilizó como herramienta una pulidora pequeña

con disco de corte de 4.5 pulgadas, obteniendo un biselado de cada pieza con un ángulo de 30° , verificado por la galga *bridge cam*, como se observa en la figura 2e y un ángulo de 60° entre las dos piezas como se ve en la figura 2c, por último, se les hizo limpieza a las muestras con una grata de copa para eliminar los residuos de corrosión presentes en el material.

Figura 2. Preparación de las probetas



A. Medir ancho



B. Medir largo



C. Nivelación de la probeta



D. Medir espesor de la probeta



E. Ángulo del bisel



F. Comparación de las partes de la probeta



G. Probeta lista para soldar



H. Configurar amperaje para soldar

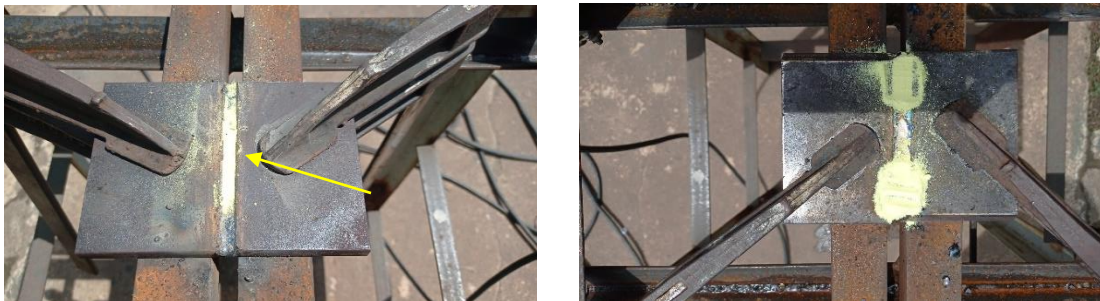


I. Electrodo y probeta preparada para soldar

3.3.2 *Coalescencia de la Soldadura Generando Grietas e Inclusiones de Escoria.*

Los requerimientos presentados en el apéndice, se ejecutaron las respectivas soldaduras en las muestras con la máquina de soldadura inversora de 200 amperios de capacidad, iniciando en todas las probetas con un pase de cordón de raíz con el electrodo E6011 en posición directa a 90 [A] y arrastrando el electrodo con un grado de inclinación de 75° respecto a la horizontal en posición 1G. Seguidamente, los pases de relleno se modificaron para cada probeta con base a cada WPS específico como se pueden ver en las tablas de los apéndices A al J, que lo muestran para cada uno de los 10 patrones, utilizando electrodos como E6013, E7018, Inox 308L, con un rango de corriente entre 90-150 [A] e incluyendo componentes como la roca fosfórica y el azufre para la generación de grietas, se adicionó los elementos en forma de grano fino con un peso de 2 g por cada componente para las grietas cortas y 5 g de cada componente para la probeta que generó una grieta completa como se observa en la figura 3 y variando la ejecución del paso del cordón con errores para la generación de inclusiones de escoria. El pase de presentación o corona se utilizó el electrodo E7018 con una corriente de 140 A en posición invertida para una mayor penetración sobre el material base.

Figura 3. Azufre y roca fosfórica en el pase de relleno.



Nota: En la figura 3 se observa el azufre en grano fino, la roca fosfórica se ha colocado primero.

Las probetas fueron prensadas para evitar la compresión de las muestras y poder generar las grietas en el momento que se aplicaba el agua helada en un recipiente plástico con una boca de salida de 2 mm de diámetro para un enfriamiento rápido de la soldadura.

3.4 Evaluación de las discontinuidades generadas al seguir los WPS generados

Al terminar el proceso de coalescencia en las muestras se hizo un examen preliminar de inspección visual en el cual se observaron con facilidad las inclusiones aplicadas en las muestras y poros en la superficie por el enfriamiento rápido con el agua helada, se retiró la escoria no deseada, donde en cada ensayo se hizo limpieza de los patrones y el procedimiento dado por la norma que requiere cada ensayo.

3.4.1 Realización de las pruebas de END (inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas y radiografía industrial).

En las imágenes que presentamos a continuación se muestra los resultados obtenidos con cada END sobre las probetas, los ensayos realizados mostraron mayor precisión en presencia de defectología específica, por lo cual dependiendo del defecto buscado podemos escoger el (END) más apropiado para analizarlo.

Para Inspección Visual IV el ensayo fue basado en la norma ASTM E1316 – 18: *Standard Terminology for Nondestructive Examinations* y en libro *Nondestructive Testing Handbook, Volume 9: Visual Testing*. En el cual la inspección fue directa ya que no se necesitó de espejos o equipos de visualización remota, los resultados fueron registrados en un equipo (Xiamo redmi note 9) de alta definición.

La inspección por Líquidos Penetrantes LP se hizo bajo los parámetros de la norma ASTM E 165/165M -12 *Standard Practices for Liquid Penetrant for General Industry* donde se utilizó el

líquido limpiador, líquido penetrante y el líquido revelador tipo 2 método C, para las grietas este método no es muy sensible ya que da muy poco tiempo de observación y al expandirse el revelador no discrimina con precisión la dimensión de la grieta, debido a la fina abertura presentada en lugares alejados de los poros. Para visualización de poros y socavaduras fue más sensible.

El ensayo por Partículas Magnéticas PM se realizó según la norma ASTM E 709 – 15 *Standard Guide for Magnetic Particle Testing* y la norma E1444/E1444M – 16 *Standard Practice for Magnetic Particle Testing* en cual utilizamos dos procesos el primero con partículas secas y segundo con partículas húmedas fluorescentes, los resultados más relevantes se obtuvieron con partículas húmedas fluorescentes en las probetas que se designaron para grietas en el cual el dimensionamiento fue más exacto que para las demás discontinuidades, utilizando para las probetas el yugo Magnaflux tipo Y7 con corriente alterna .

El ensayo por Radiografía Industrial Rx se realizó bajo la norma ASTM E 94- 00 *Standard Guide for Radiographic Examination* y la norma AWS D 1.1-15. Código para soldadura estructural-Acero, permitió la observación de irregularidades internas como poros agrupados y escoria interna entre otros, la tabla 2 y 3 nos muestra las condiciones de exposición radiográfica para cada material:

Tabla 2 Condiciones de exposición radiográfica para el acero ASTM A 36.

Miliamperaje:	5 [mA]
Kilovoltaje:	160 [KV]
Tiempo:	4 min, 51 seg.
Distancia fuente película:	700 [mm]
Película:	D7 con pantalla de plomo
Espesor:	12 [mm]

Tabla 3 Condiciones de exposición radiográfica para el acero MaxDur 450.

Miliamperaje:	5 [mA]
Kilovoltaje:	140 [KV]
Tiempo:	4 min, 5 seg.
Distancia fuente película:	700 [mm]
Película:	D7 con pantalla de plomo
Espesor:	9.36 [mm]

Para la inspección por radiografía el equipo Balteau NDT CF 2000 se calibró respecto al espesor del material, el equipo para la muestra de ASTM A36 utilizó un tiempo de 4 minutos, 51 segundos para radiar la probeta como se observa en la figura 4, mientras la probeta de MaxDur 450 utilizó un tiempo de 4 minuto, 5 segundos. El revelado de las radiografías nos permitió observar las discontinuidades internas en cada probeta, dando información sobre los posibles defectos internos y las grietas, permitiendo referenciar los efectos que las variables del WPS afectó en el material.

Figura 4. Equipo Para Radiografía



Figura 5a. Equipo de control de radiografía



Figura 5b. Equipo fuente de rayos X.

Los resultados obtenidos por los END permitieron crear un criterio para definir la calidad y sensibilidad de cada una de las discontinuidades encontradas en las probetas experimentales que

serán definidas en el análisis de resultados, se hizo el registro fotográfico de los ensayos anteriormente mencionados junto con las observaciones respectivas encontradas en cada proceso. El desarrollo de cada inspección por END se hicieron en el laboratorio de END de la Universidad Industrial de Santander con los elementos propios para cada ensayo y bajo las normas de bioseguridad y riesgo de accidente. A continuación, se presenta el registro visual obtenido de cada END y el respectivo análisis de los mismos.

4. Resultados.

Terminado los procesos de las etapas anteriores, se registraron los resultados de los END aplicados en cada muestra por medio de fotografías, donde evidenciamos los resultados esperados para las muestras diseñadas para la generación de grietas e inclusiones de escoria, adicionalmente se encontró la aparición no esperada de poros y socavaduras en las muestras M3, M4, M5, M6, M7, M9 y M10 como consecuencia de la velocidad de arrastre del electrodo y el trazado del cordón, resultado no registrado en la revisión bibliográfica consultada.

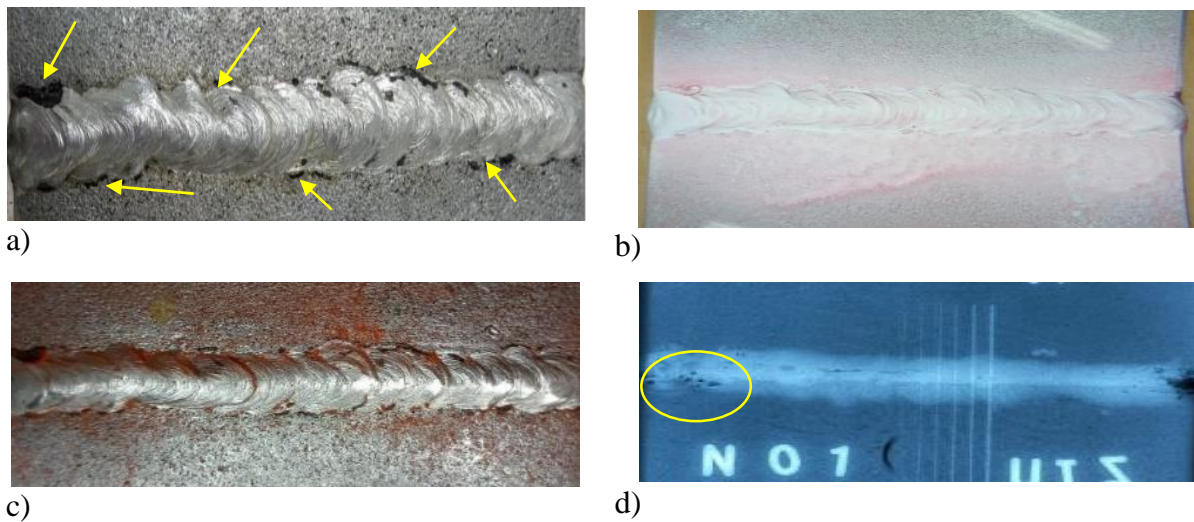
4.1 Resultados de inspección realizada a las diez muestras soldadas.

A continuación, en las figuras 5 hasta la figura 14 se presenta el registro de las discontinuidades encontradas por medio de los Ensayos No Destructivos mencionados en la metodología para las diez probetas fabricadas. Para cada muestra se señala la discontinuidad principal y se describen los resultados para cada una de ellas, y en el siguiente capítulo se realiza el análisis de estos resultados.

En la figura 5 se ven las fotografías de los END aplicados en la muestra M1, en la figura 5a la muestra presenta socavaduras en todo el recorrido del cordón y la presencia de inclusiones por IV. En la figura 5b la muestra no se detecta ningún tipo de discontinuidad por LP. Figura 5c.

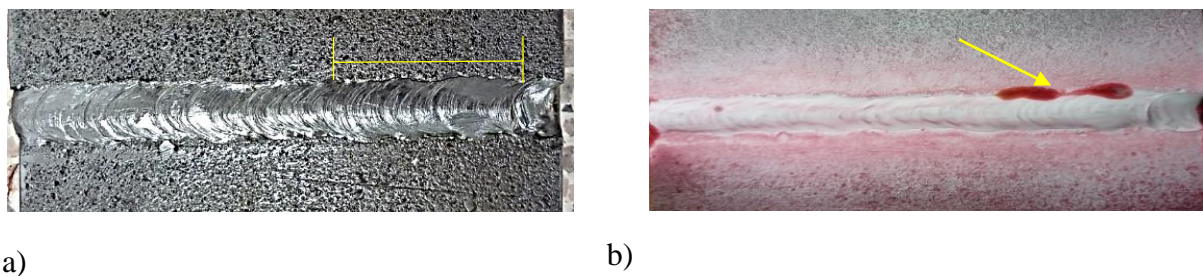
La muestra no presenta defectología por medio del (END) de PM. Figura 5d. En la muestra se observa la presencia de escoria interna determinada por Rx.

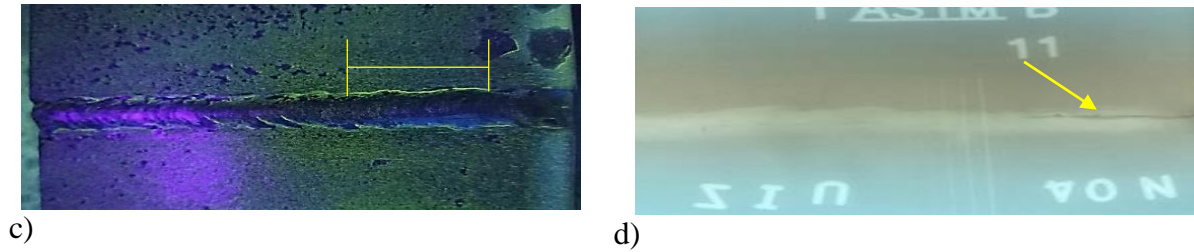
Figura 5. Muestra M1. Acero MaxDur 450 (Muestra Diseñada Para Inclusión De Escoria)



En la figura 6 se ven las fotografías de los END aplicados en la muestra M2, en la figura 6a se observa una grieta fina en la parte superior derecha del cordón, se puede observar socavadura en la longitud del cordón por IV. Figura 6b. en la muestra observamos la grieta presente revelada por LP. Figura 6c. El ensayo por PM húmedas revela la grieta en la parte superior derecha del cordón. Figura 6d. En la muestra se confirma la presencia de la grieta por el (END) de Rx.

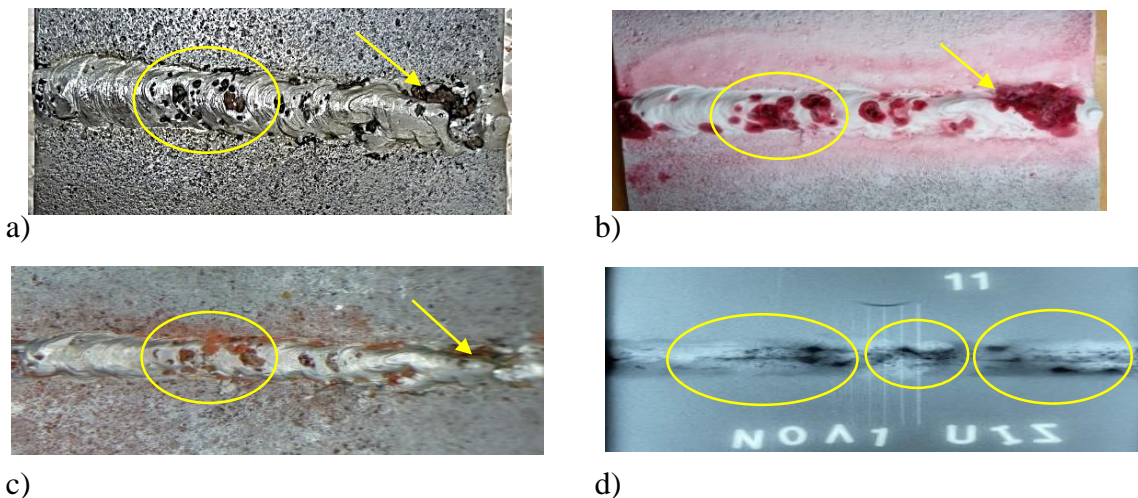
Figura 6. Muestra M2. Acero MaxDur 450 (Muestra Diseñada Para Generación De Grieta)





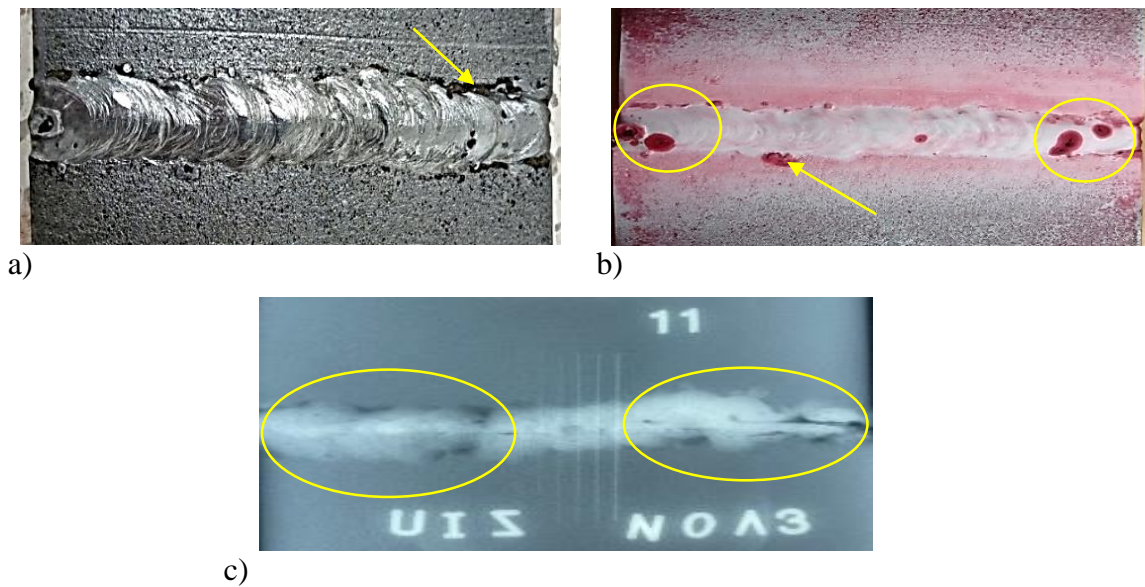
En la figura 7 se ven las fotografías de los END aplicados en la muestra M3, se observa en la Figura 7a la presencia de porosidad agrupada (señalada en círculos), inclusiones de escoria (señaladas por las flechas) y socavaduras reveladas por IV. Figura 7b: El (END) por LP confirma la presencia de porosidad sobre la probeta. Figura 7c: La muestra presenta poros agrupados e inclusiones de escoria y socavadura con (END) de PM. Figura 7d: confirma la presencia de poros agrupados y escoria interna por Rx.

Figura 7. Muestra M3. Acero MaxDur 450 (Muestra Diseñada Para Inclusión De Escoria)



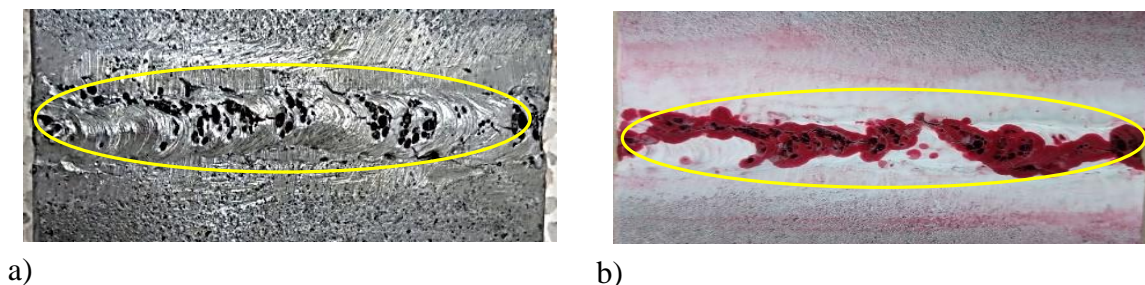
En la figura 8 se ven las fotografías de los END aplicados en la muestra M4, se observa en la Figura 8a la presencia de porosidades, socavaduras y leve presencia de escoria por IV. Figura 8b El (END) por LP confirma la presencia de poros. Figura 8c: La muestra presenta poros y escoria internos lineal de la soldadura por Rx.

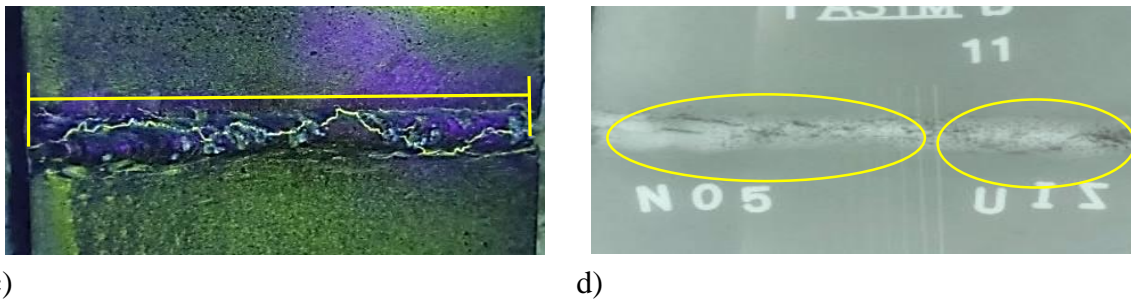
Figura 8. Muestra M4. Acero MaxDur 450 (Muestra Diseñada Para Inclusión De Escoria)



En la figura 9 se ven las fotografías de los END aplicados en la muestra M5, la Figura 9a se observa la presencia de poros agrupados y la presencia de grieta longitudinal por todo el cordón. Figura 9b: La muestra presenta confirmación de poros, pero se confunden con las grietas, ya que el recorrido de la grieta pasa por los poros. Figura 9c: el (END) por PM húmedas presenta la grieta sobre todo el recorrido del cordón. Figura 9d: En la muestra se observa la presencia de poros internos agrupados por Rx.

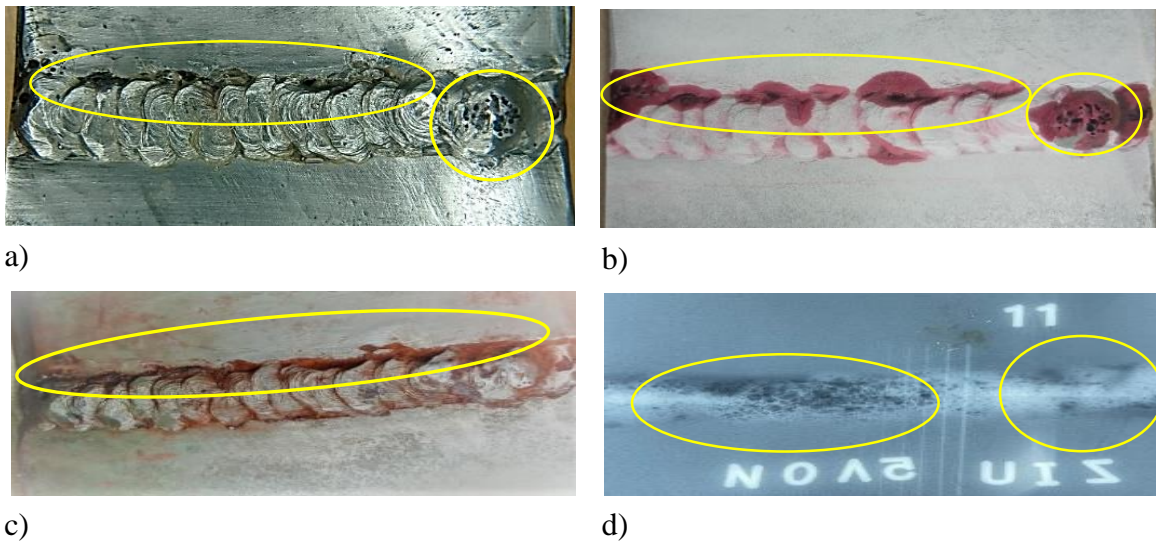
Figura 9. Muestra M5. Acero MaxDur 450 (Muestra Diseñada Para Generación De Grieta)





En la figura 10 se ven las fotografías de los END aplicados a la muestra M6, se observó en la Figura 10a porosidad agrupada (señalada con círculo parte derecha), inclusiones de escorias y socavaduras reveladas por IV. Figura 10b: se confirma la presencia de porosidad por LP. Figura 10c: En la muestra se observa socavadura y forma del cordón irregular por PM. Figura 10d: En la muestra se observa poros agrupados y escoria interna. Rx.

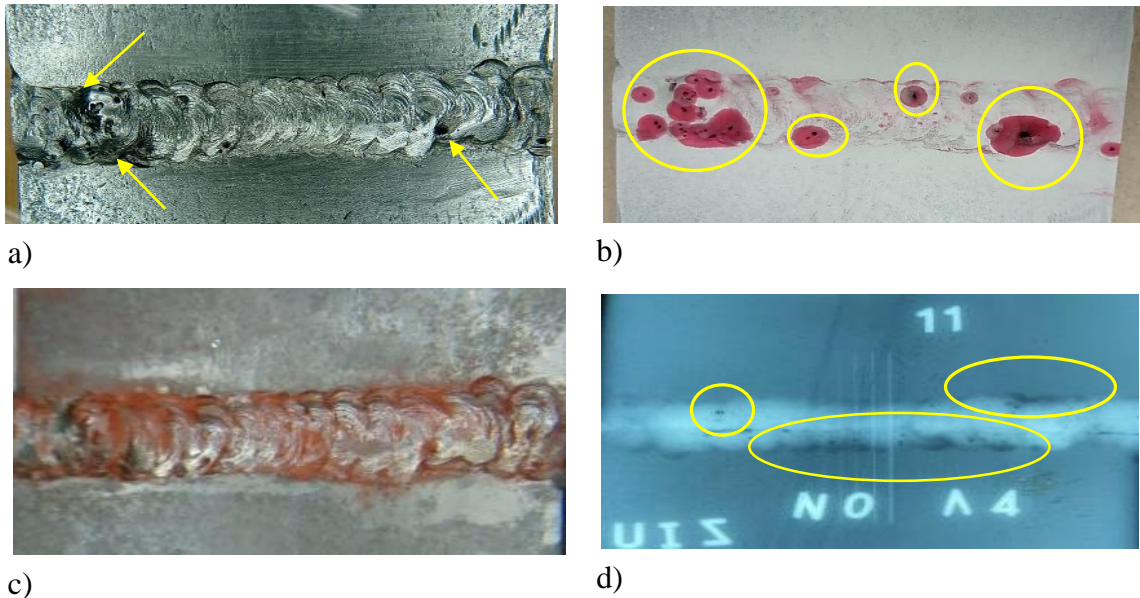
Figura 10. Muestra M6. Acero ASTM A36 (Muestra Diseñada Para Inclusión De Escoria)



En la figura 11 se ven las fotografías de los END aplicados a la muestra M7, la Figura 11a muestra el cordón de soldadura donde se observan poros agrupados y socavadura por IV. Figura

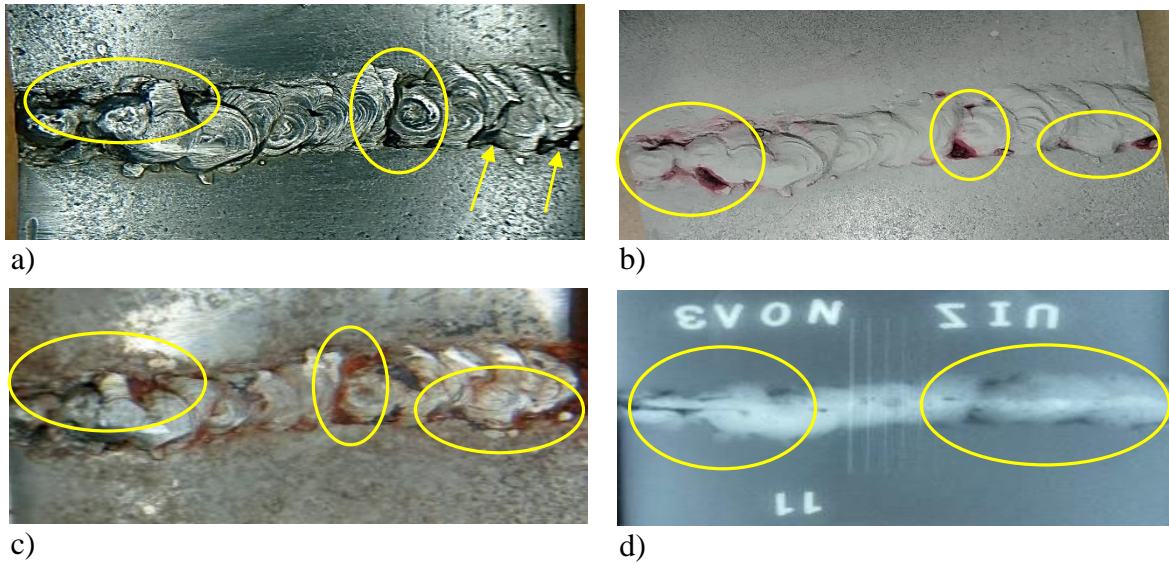
11b: La muestra confirma la presencia de poros agrupados y socavadura. Figura 11c: La muestra presenta socavadura y poros por PM. Figura 11d: En la muestra se observa falta de fusión en la raíz junto con poros internos y socavadura por Rx.

Figura 11. Muestra M7. Acero ASTM A36 (Muestra Diseñada Para Inclusión De Escoria)



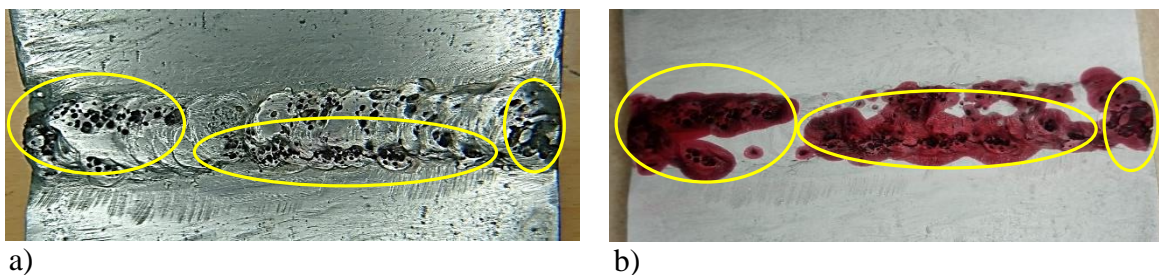
En la figura 12 se ven las fotografías de los END aplicados la muestra M8, observamos en la figura 12a que en la muestra se ve un cordón irregular donde la falta de fusión está en gran parte junto con inclusiones de escoria por IV. Figura 12b: LP. La muestra presenta falta de fusión. Figura 12c: En el ensayo de PM. se observa las partículas acumuladas en las socavaduras y lugares donde la inclusión de escoria estuvo presente. Figura 12d. Se observa inclusión de escoria, socavadura junto a poros internos por Rx.

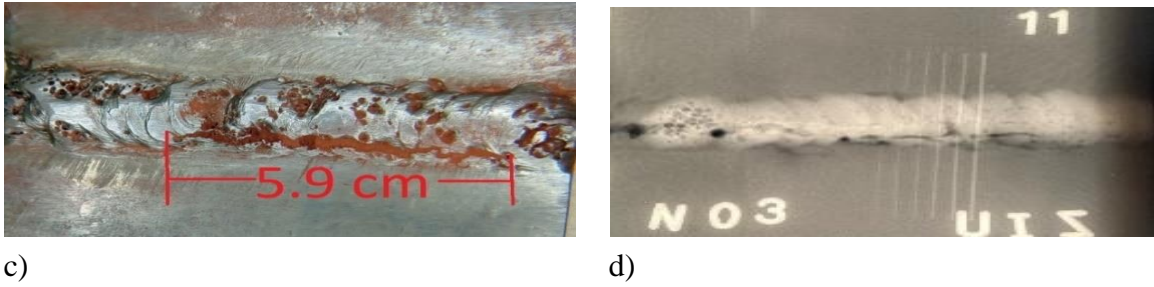
Figura 12. Muestra M8. Acero ASTM A36 (Muestra Diseñada Para Inclusión De Escoria)



En la figura 13 se ven las fotografías de los END aplicados en la muestra M9, se observa en la Figura 13a que sobre la muestra se observa grietas entre los poros agrupados, paso del cordón irregular, exceso de material de aporte sobre la corona de la soldadura por IV. Figura 13b: el ensayo de LP. confirma la presencia de poros. Figura 13c: El ensayo de PM confirma la presencia de grieta sobre el cordón de soldadura. Figura 13d: El ensayo de Rx. nos muestra la presencia de poros, grieta y escoria sobre la pared del material base.

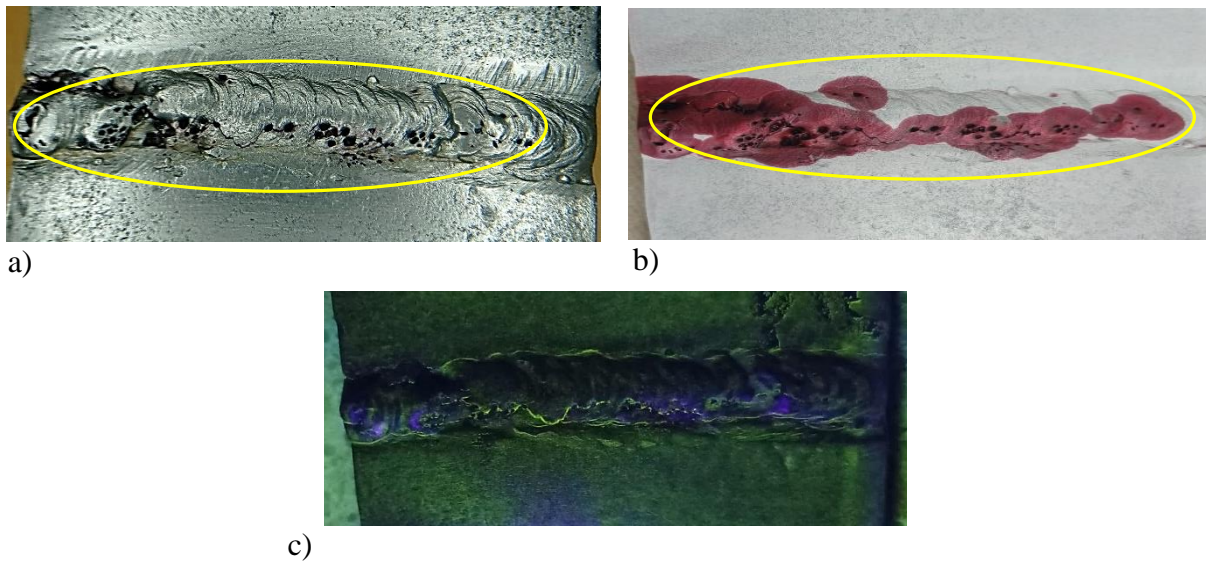
Figura 13. Muestra M9. Acero ASTM A36 (Muestra Diseñada Para Generación De Grieta)





En la figura 14 se ven las fotografías de los END aplicados en la muestra M10, la Figura 14a. IV, se observa la presencia de poros, grieta entre los poros agrupados, inclusión de escoria al final del cordón junto exceso del material aporte en la corona del cordón. Figura 14b. El ensayo por LP nos confirma la presencia de poros, se identifica la grieta entre los poros agrupados. Figura 14c. El ensayo por PM con partículas húmedas discrimina con gran sensibilidad la presencia de grieta sobre el cordón de soldadura.

Figura 14. Muestra M10. Acero ASTM A36 (Muestra Diseñada Para Generación De Grieta)



4.2 Análisis de resultados

Con base en los resultados de inspección presentados en la sección anterior, se presenta a continuación el análisis teniendo en cuenta las variables de soldadura y las discontinuidades buscadas. En el proceso de soldadura fue posible identificar que un aumento en la intensidad de corriente tiene un efecto significativo sobre la aparición de porosidades no esperadas según el WPS descrito para esas nuestras M3, M5, M6, M7, M9 y M10 en el cordón de soldadura, especialmente cuando la intensidad de corriente supera los 140A, esto sumado que la velocidad del pase es alta y la solidificación es abrupta ya que solidifica antes de sacar el gas de la licuefacción. La presencia de esta porosidad deteriora la resistencia del metal de soldadura en comparación con el metal base (Thekkuden, D. T, et al. 2018). Los poros generalmente son puntos críticos para la acumulación de esfuerzos dando como resultado puntos frágiles a partir de los cuales se nuclearon y se propagaron algunas de las grietas obtenidas en el presente trabajo. Por tal motivo, controlando este parámetro podría ser posible generar grietas en los cordones de soldadura de los patrones, como se constató en las muestras M9 y M10 presentadas en las figuras 13 y 14.

Con base en la revisión bibliográfica en la metodología del presente proyecto se seleccionó la adición de azufre y fosforo para generar la fragilización del hierro. Este aspecto favoreció la aparición de grietas como resultado al combinarse con las altas tensiones generadas durante los enfriamientos bruscos como se presentó en las figuras 6, 9, 13 y 14 donde hay grietas. Es importante destacar que las zonas donde se aumentó la concentración de azufre presentaron fisuración, aspecto que debe ser controlado en los procesos de soldadura como lo mencionan el trabajo de (Bika, D., et al. 1995). Las tensiones podrían estar dadas por las restricciones geométricas del cordón, por la contracción experimentada por el metal que está solidificando, por

la diferencia de conductividad térmica entre el metal base y el metal de soldadura, entre otros factores (Coniglio, N., et al. 2015).

Con base en los resultados, es posible inferir que el proceso realizado durante el último pase de relleno de las muestras M2, M5, M9 y M10, donde se aplicó azufre y roca fosfórica con el fin de fragilizar el cordón, sumado a un enfriamiento instantáneo con agua, resulta ser eficaz para la generación del agrietamiento esperado. Es importante notar que las grietas producidas en el presente trabajo son finas, incluso difíciles de ver visualmente, como en la muestra M2, figura 6, esto debido a que su formación se debe solo a las tensiones residuales y fragilización del material, aspecto de gran interés para el proceso de formación de inspectores, toda vez que, su detección y caracterización requiere el uso de técnicas de alta sensibilidad, y procedimientos de inspección realizados de manera adecuada. Con este resultado es posible inferir que durante el proceso de soldadura se podrían generar grietas en lugares deseados según la geometría de la muestra o logar variaciones para la fabricación de patrones no repetidos. Aspecto que fue de interés en el presente trabajo de grado.

Para la generación de inclusiones de escoria como discontinuidades inducidas resultó ser complejo, toda vez que este depende en gran parte de las habilidades del soldador por no tener variables de soldadura para su generación, sino variables relacionadas con la técnica del soldador. Se evidenció que mantener un arrastre constante del electrodo junto con el desarrollo del cordón de soldadura en una sola dirección evita la aparición de inclusiones de escoria en el cordón de soldadura. Adicionalmente, se observó que la aplicación de agua para acelerar el enfriamiento, lo que es conveniente para la generación de grietas, es contraproducente para mantener en el cordón de soldadura las inclusiones de escoria inducidas, esto es debido a que se inhibe la adhesión de la escoria al metal de soldadura, lo anterior, tiene como consecuencia una eliminación de estas en el

proceso de limpieza de los patrones. Esto se dio debido al interés de generar inclusiones de escoria controladas, y no una inclusión de escoria masiva o presente en todo el cordón.

A continuación, en la tabla 4, se registran las principales observaciones para las diez muestras, relacionando las discontinuidades obtenidas y su posible relación con el WPS diseñado.

Tabla 4. Observaciones que se presentaron en el desarrollo de la soldadura.

TABLA 4. OBSERVACIONES DE CADA MUESTRA
Muestra M1. (Acero MaxDur 450: Diseñada para inclusión de escoria). La muestra presentó socavadura ya que en el proceso de paso del electrodo se buscó que entre el material base y el material de aporte se quedara la escoria, al hacer limpieza para cada ensayo se perdió gran parte de las inclusiones, dejando en evidencia la falta de fusión completa en el cordón de soldadura.
Muestra M2. (Acero MaxDur 450: Diseñada para la generación de grietas). La grieta parcial de la muestra es generada por varios factores como: el calor acumulado al final del cordón, el prensado de la muestra, la fragilidad del cordón de soldadura con acero inoxidable en el pase de relleno, el azufre y el fósforo que actuó con el calor acumulado y las paredes del material base, al aplicar el agua fría generó un choque térmico y la contracción rápida del material de aporte mientras solidificaba.
Muestra M3. (Acero MaxDur 450: Diseñada para inclusión de escoria). Las inclusiones de escoria se trataron de dejar en el centro del cordón en toda su longitud, para conseguirlo se modificó el paso del cordón junto con la velocidad de arrastre, como efecto colateral también se crearon poros que no mantuvieron la escoria.
Muestra M4. (Acero MaxDur 450: Diseñada para inclusión de escoria). La muestra se buscó al igual que la muestra M1 dejar la inclusión entre el material de aporte y el material base, teniendo como resultado discontinuidades semejantes.
Muestra M5. (Acero MaxDur 450: Diseñada para la generación de grietas). La muestra se procedió de forma similar a la muestra M2, pero la formación de poros como puntos críticos fueron los que dieron la pauta para la generación de la grieta, ya que los esfuerzos generados en la contracción del material en el momento de la aplicación del agua fría, crearon la grieta siguiendo el recorrido de los poros agrupados, esto debido, posiblemente, por la velocidad del pase y la solidificación abrupta, ya que el gas presente en el momento de la nucleación del material de aporte no alcanza a salir.
Muestra M6. (Acero ASTM A36: Diseñada para inclusión de escoria). Para la inclusión de escoria se manipuló el paso del cordón dando excelentes resultados finalizada la soldadura, el proceso de limpieza para cada probeta mostró que la inclusión de escoria no tenía la adherencia suficiente para soportar dichos procesos, en consecuencia, tenemos socavaduras a lo largo del cordón de soldadura.
Muestra M7. (Acero ASTM A36: Diseñada para inclusión de escoria). Desde el último pase de relleno y el pase de presentación se modificó el paso del cordón dejando socavaduras de diámetro más grande y de mayor profundidad, al igual que en las muestras que escogimos para la inclusión, el proceso de limpieza retiró gran parte de la escoria depositada.

Muestra M8. (Acero ASTM A36: Diseñada para inclusión de escoria). Basados en las muestras anteriores decidimos que el paso del material de aporte fuera aleatorio sobre todos los pases de relleno teniendo como resultado un cordón no aceptable y la cantidad de material depositado fuera mayor.

Muestras M9 y M10. (Acero ASTM A36: Diseñada para la generación de grietas). Las muestras se vieron afectadas por los poros generados en los cordones, como en las muestras del acero ASTM A 36 y los componentes como el azufre y el fósforo se observó su efecto, ya que las muestras presentan las grietas en las zonas que más se concentró los componentes externos.

5 Conclusiones

Ejecutado el presente proyecto dirigido a obtener un procedimiento para la obtención de patrones de soldadura planas con generación de grietas e inclusiones de escoria mediante el proceso SMAW, sumado a la realización del proceso de inspección y evaluación para la caracterización de los patrones y siguiendo la metodología planteada, se pudo concluir que:

- Las variables seleccionadas para inducir la generación de grietas y la adición de agentes externos como azufre y fosforo fueron efectivas, obteniendo una formación controlada toda

vez que la morfología se caracteriza por ser carácter fino, aspecto que fue de interés en el diseño de las muestras con fines de uso en el proceso de formación de inspectores.

- Se observaron grietas en los patrones fabricados con la adición de azufre y fósforo por lo que se puede considerar una variable fundamental para la generación de este tipo de discontinuidad. Adicionalmente, el uso de un electrodo de relleno de diferente composición química que el metal base, en este caso acero inoxidable 308L, se mostró eficaz para la generación de grietas en el cordón de soldadura, como se observó en las muestras M2, M5, M9 y M10.
- La generación de inclusiones de escoria como discontinuidades inducidas en los patrones depende en gran medida de la destreza del soldador. Lo anterior se debe a que el proceso para generarla implica realizar un pase de soldadura incorrecto afectado por la velocidad del pase y el trazado del cordón de soldadura, aspectos indicados en los WPS diseñados, que al momento de ejecución exigían la habilidad del soldador para lograr la obtención del patrón con la morfología de daño requerida. Sin embargo, como resultado de la ejecución de los WPS se generó la presencia de porosidades no esperadas.
- Una vez obtenidas las diez muestras soldadas siguiendo los WPS con fines de generar discontinuidades tipo grieta y escoria de manera controlada se evidenciaron y caracterizaron con los Ensayos No Destructivos seleccionados, logrando una evaluación superficial e interna, registrando en las imágenes todas las discontinuidades encontradas.

- Para el estudio práctico de los patrones el aprendiz además de crear un método de análisis crítico sobre las técnicas de inspección no destructivas, también puede deducir causas y efectos de la defectología presentada en los patrones.

6 Recomendaciones

Los estudiantes que sigan con la investigación de las discontinuidades no evaluadas en este proyecto deben tener una capacitación más profunda en el área de soldadura para identificar los efectos y consecuencias que precedieron para llegar a los resultados obtenidos, toda vez que hay una gran cantidad de variables que pueden influir en el resultado.

Para la creación de nuevos patrones de soldadura se debe de tener el personal adecuado, para este caso el soldador con la experiencia suficiente que permita cumplir con los procedimientos

de soldadura conforme al WPS requerido. El espacio idóneo que evite cualquier accidente junto con las herramientas y el equipo de trabajo para desarrollar dichos procesos.

Referencias Bibliográficas

Artículos de revistas

- Bika, D., Pfaendtner, J. A., Menyhard, M., & McMahon Jr, C. J. (1995). Sulfur-induced steel embrittlement in a low-alloy steel. *Acta metallurgica et materialia*, 43(5), 1895-1908.
- Coniglio, N., & Cross, C. E. (2013). Initiation and growth mechanisms for weld solidification cracking. *International materials reviews*, 58(7), 375-397.

- Thekkuden, D. T., Santhakumari, A., Sumesh, A., Mourad, A. H. I., & Rameshkumar, K. (2018). Instant detection of porosity in gas metal arc welding by using probability density distribution and control chart. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95(9), 4583-4606.

Normas

- American Welding Society (2015). AWS D1.1 Structural Welding Code-steel. Ed. 24.
- American Society of Mechanical Engineers (ASME) (2020). ASME section V Boiler and Pressure Vessel Code. Ed 1. Artículo 9.
- American Society for Testing and Materials (2018). ASTM E-165/E-165M Standard Practice for Liquid Penetrant for General Industry.
- American Society for Testing and Materials (2021). ASTM E-1444/E-1444M Standard Practice for Magnetic Particle Testing for Aerospace.
- American Society for Testing and Materials (2019). ASTM E-1032 Standard Practice for Radiographic Examination of Weldments Using Industrial X-Ray Film
- American Society of Mechanical Engineers (ASME) (2020). ASME section IX Boiler and Pressure Vessel Code. Ed 1. Parte QW.

Libros

- Avner Sidney H. (1988). *Introducción a la Metalurgia Física*. Ed. 2. Cap. 9-11. pp. 349-455.
- Hellier, C. J. (2013). *Handbook of nondestructive evaluation*. McGraw-Hill Education.

- Jeffus, L. (2009). Soldadura. Principios y aplicaciones (Vol. 3). Editorial Paraninfo.
- Jenney, Cynthia L. O'Brien, Annette. (2001). Welding Handbook, Volume 1 - Welding Science and Technology (9th Edition). American Welding Society (AWS).
- Smith William F. (2006). Fundamentos de la Ciencia e ingeniería de materiales. Ed 4. Cap. 8-9. Pp. 310-454.

Fuentes electrónicas

- AWS, Glossary. En: <https://awo.aws.org/glossary/defect/>
- Consonni, M, Wee, Chen Fun, Schneider, C. (2012). Manufacturing of welded joints with realistic defects. Volumen 54 N°2. En <https://www.ingentaconnect.com/content/bindt/insight/2012/00000054/00000002/art00006;jsessionid=a5iumpoahf813.x-ic-live-01>
- International Atomic Energy Agency. En: <https://www.iaea.org/es/temas/radiografia-industrial>
- Mika Kemppainen ·Likka Virkkunen (2010). Crack Characteristics and Their Importance to NDE. En <https://research.aalto.fi/en/publications/virtual-cracks-and-the-future-of-inspection-reliability>
- Oygasa, (2021). Manual del soldador, en <https://www.infrasal.com/industria/phocadownloadpap/manual%20del%20soldador.pdf>
- Tuomas Koskinen, Likka Virkkunen, Oscar Siljama, Oskari Jessen-Juhler (2021). *Journal of Nondestructive Evaluation*. Artículo número 24. The Effect of Different Flaw Data to

Machine Learning Powered Ultrasonic Inspection. En

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10921-021-00757-x>

Apéndices

Apéndice A. WPS de la muestra M1

Tabla 5.WPS de la muestra 1 de Acero A36 se busca generar inclusiones de escoria.

UIS						
Procedimiento específico de soldadura N°: 01			Revisión:	Fecha:	24/02/2022	
Elect.	Diámetro (pulgada)	Amperaje	Comentarios: Se hicieron el cordón de raíz y de relleno en media luna, el de presentación se hizo el cordón redondeado, al finalizar el cordón se utilizó agua helada para enfriamiento rápido. Se realizó limpieza con grata eléctrica sobre cada cordón exceptuando zonas en específico del cordón.			
E6011	3/32 in	40 - 90 A				
E7018	3/32 in	40 - 150 [A]				
Pases	Proceso	Material de Aporte	Corriente	Voltaje	Velocidad	Progresión

Nro	Clase	Ø	Polaridad	Amperaje	Voltios	(cm/min)	
1	SMAW	E6011	3/32 DC (+)	90 A	28	3.7	Arrastre
2	SMAW	E7018	3/32 DC (-)	150 A	28	3.7	Arrastre
3	SMAW	E7018	3/32 DC (-)	150 A	28	3.7	Arrastre
4	SMAW	E7018	3/32 DC (-)	150 A	28	3.7	Arrastre
5	SMAW	E7018	3/32 DC (-)	140 A	28	3.7	Arrastre

Se logra generar las inclusiones de escoria y a su vez se generó socavaduras.

Apéndice B. WPS de la muestra M2

Tabla 6. WPS de la muestra 2 de Acero A36 se buscaba la generación de grietas con la adición de S y P.

UIS			
Procedimiento específico de soldadura N°: 02		Revisión:	Fecha: 24/02/2022
Elect.	Díámetro (pulgada)	Amperaje	Comentarios: Se hicieron el cordón de raíz y de relleno en media luna, adicional en el pase 4 en la parte central añadimos 5 cm de S y P para la generación de grietas, el de presentación se hizo el cordón redondeado, al finalizar el cordón se utilizó agua helada para enfriamiento rápido. Se realizó limpieza con grata eléctrica sobre cada cordón exceptuando zonas en específico del cordón.
E6011	3/32 in	40 - 90 A	
E7018	3/32 in	40 - 150 A	

Pases Nro	Proceso	Material de Aporte		Corriente		Voltaje Voltios	Velocidad (cm/min)	Progresión
		Clase	Ø	Polaridad	Amperaje			
1	SMAW	E6011	3/32	DC (+)	90A	28	3.7	Arrastre
2	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	140 A	28	3.7	Arrastre
3	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	140 A	28	3.7	Arrastre
4	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	150 A	28	3.7	Arrastre
5	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	160 A	28	3.7	Arrastre

Se generó satisfactoriamente la grieta y al tiempo se crearon poros a lo largo de la soldadura

Apéndice C. WPS de la muestra M3

Tabla 7. WPS de la muestra 3 de Acero A36 se buscaba generar inclusiones de escoria.

UIS			
Procedimiento específico de soldadura N°: 03 24/02/2022		Revisión:	Fecha:
Revisión: 03		Fecha: 01/04/2022	QPR 03
Elect.	Diámetro (pulgada)	Amperaje	Comentarios: Se hicieron el cordón de raíz y de relleno en media luna adicional en el pase 4 agregamos en la parte central 5 cm de soldadura con electrodo Inox 308L corriente 120 A, el de presentación se hizo el cordón redondeado, al finalizar el cordón se utilizó agua helada para enfriamiento rápido. Se realizó
E6011	3/32 in	40 - 90 A	
E6013	3/32 in	40 - 120 A	
E7018	3/32 in	40 - 150 A	

limpieza con grata eléctrica sobre cada cordón exceptuando zonas en específico del cordón.

Pases	Proceso	Material de Aporte		Corriente		Voltaje	Velocidad	Progresión
Nro		Clase	Ø	Polaridad	Amperaje	Voltios	(cm/min)	
1	SMAW	E6011	3/32	DC (+)	90A	28	3.7	Arrastre
2	SMAW	E6013	3/32	DC (+)	100 A	28	3.7	Arrastre
3	SMAW	E6013	3/32	DC (+)	100 A	28	3.7	Arrastre
4	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	140 A	28	3.7	Arrastre
5	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	140 A	28	3.7	Arrastre

Se logró generar satisfactoriamente las inclusiones de escoria y a su vez algunas socavaduras.

Apéndice D. WPS de la muestra M4

Tabla 8.WPS de la muestra 4 de Acero A36 se buscaba generar inclusiones de escoria.

UIS			
Procedimiento específico de soldadura N°: 04			Revisión:
Fecha: 24/02/2022			
Revisión: 04		Fecha: 01/04/2022	
Revisión: 04		QPR 04	
Elect.	Diámetro (pulgada)	Amperaje	Comentarios: Se hicieron el cordón de raíz y de relleno en media luna, adicional iniciamos las inclusiones en los pases 2 y 3, en la parte central del pase 4 agregamos

E6011	3/32 in	40 - 90 A	soldadura con electrodo Inox 308L y en los extremos mezcla de S y P generando gas, por último, el de presentación se hizo el cordón redondeado, al finalizar el cordón se utilizó agua helada para enfriamiento rápido. Se realizó limpieza con grata eléctrica sobre cada cordón exceptuando zonas en específico del cordón.					
E6013	3/32 in	40 - 120 A						
E7018	3/32 in	40 - 150 A						
Pases	Proceso	Material de Aporte		Corriente		Voltaje	Velocidad	Progresión
Nro		Clase	Ø	Polaridad	Amperaje	Voltios	(cm/min)	
1	SMAW	E6011	3/32	DC (+)	90A	28	3.7	Arrastre
2	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	150 A	28	3.7	Arrastre
3	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	150 A	28	3.7	Arrastre
4	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	150 A	28	3.7	Arrastre
5	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	140 A	28	3.7	Arrastre

Se logra generar inclusiones de escoria, a su vez genera discontinuidades similares a la M1

Apéndice E. WPS de la muestra M5

Tabla 9.WPS de la muestra 5 de Acero A36 se busca generar grieta.

UIS		
Procedimiento específico de soldadura N°: 05	Revisión:	Fecha:
24/02/2022		
Revisión: 05	Fecha: 01/04/2022	QPR 05

Elect.	Diámetro (pulgada)	Amperaje	Comentarios: Se hicieron el cordón de raíz y de relleno en media luna, adicional iniciamos las inclusiones en los pases 2 y 3, el pase 4 fue hecho con electrodo Inox 308L sobre este pase añadimos 5 cm de S y P en la parte central generando gas, el cordón de presentación se hizo redondeado, al finalizar el cordón se aplicó agua helada. Se realizó limpieza con grata eléctrica sobre cada cordón exceptuando zonas en específico del cordón.					
E6011	3/32 in	40 - 90 A						
E6013	3/32 in	40 - 120 A						
E7018	3/32 in	40 - 150 A						
Pases	Proceso	Material de Aporte	Corriente		Voltaje	Velocidad	Progresión	
Nro		Clase	Ø	Polaridad	Amperaje	Voltios	(cm/min)	
1	SMAW	E6011	3/32	DC (+)	90A	28	3.7	Arrastre
2	SMAW	E6013	3/32	DC (-)	100 A	28	3.7	Arrastre
3	SMAW	E6013	3/32	DC (-)	100 A	28	3.7	Arrastre
4	SMAW	Inox 308L	3/32	DC (-)	120 A	28	3.7	Arrastre
5	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	140 A	28	3.7	Arrastre

Se generó satisfactoriamente la grieta con la agrupación de poros continuos.

Apéndice F. WPS de la muestra M6

Tabla 10.WPS de la muestra 6 de acero MaxDur 450 se busca generar inclusiones de escoria.

UIS		
Procedimiento específico de soldadura N°: 06	Revisión:	Fecha:
24/02/2022		

Revisión: 06			Fecha: 01/04/2022			QPR 06		
Elect.	Diámetro (pulgada)	Amperaje	Comentarios: Se hicieron el cordón de raíz y de relleno en media luna, adicional el pase 3 se hizo con electrodo Inox 308L y sobre todo este pase se añadió S, el cordón de presentación se hizo redondeado, al finalizar el cordón se utilizó agua helada para el enfriamiento rápido. Se realizó limpieza con grata eléctrica sobre cada cordón exceptuando zonas específicas del cordón.					
E6011	3/32 in	40 - 90 A						
E7018	3/32 in	40 - 150 A						
Pases	Proceso	Material de Aporte	Corriente		Voltaje	Velocidad	Progresión	
Nro	Clase	Ø	Polaridad	Amperaje	Voltios	(cm/min)		
1	SMAW	E6011	3/32	DC (+)	90A	28	3.7	Arrastre
2	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	150 A	28	3.7	Arrastre
3	SMAW	Inox 308L	3/32	DC (-)	150 A	28	3.7	Arrastre
4	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	150 A	28	3.7	Arrastre

Se logró generar inclusiones de escoria, pero con el proceso de limpieza se quitan, generando una excelente soldadura.

Apéndice G. WPS de la muestra M7

Tabla 11. WPS de la muestra 7 de MaxDur 450 se busca generar inclusiones de escoria.

UIS		
Procedimiento específico de soldadura N°: 07	Revisión:	Fecha:
24/02/2022		
Revisión: 07	Fecha: 01/04/2022	QPR 07

Elect6.	Diámetro (pulgada)	Amperaje	Comentarios: Se hicieron el cordón de raíz y de relleno en media luna, el de presentación se hizo el cordón redondeado, al finalizar el cordón se utilizó agua helada. Se realizó limpieza con grata eléctrica sobre cada cordón exceptuando zonas en específico del cordón.					
E6011	3/32 in	40 - 90 A						
E6013	3/32 in	40 - 120 [90]						
E7018	3/32 in	40 - 150 A						
Pases	Proceso	Material de Aporte	Corriente		Voltaje	Velocidad	Progresión	
Nro		Clase	Ø	Polaridad	Amperaje	Voltios	(cm/min)	
1	SMAW	E6011	3/32	DC (+)	90A	28	3.7	Arrastre
2	SMAW	E6013	3/32	DC (-)	100 A	28	3.7	Arrastre
3	SMAW	E6013	3/32	DC (-)	100 A	28	3.7	Arrastre
4	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	140 A	28	3.7	Arrastre
5	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	150 A	28	3.7	Arrastre

Se logró generar las inclusiones de escoria y a su vez se generó socavaduras grandes.

Tabla 22.WPS de la muestra 8 de MaxDur 450 se busca generar inclusiones de escoria.

UIS							
Procedimiento específico de soldadura N°: 08				Revisión:		Fecha:	
24/02/2022							
Revisión: 08		Fecha: 01/04/2022			QPR 08		
Elect.	Diámetro o (pulgada)	Amperaje	Comentarios: Se hicieron el cordón de raíz y de relleno en media luna, adicional el pase 2 se hizo con electrodo Inox 308L, el de presentación se hizo el cordón redondeado, al finalizar el cordón se utilizó agua helada. Se realizó limpieza con grata eléctrica sobre cada cordón exceptuando zonas en específico del cordón.				
E6011	3/32 in	40 - 90 A					
E7018	3/32 in	40 - 150 A					
Pases	Proceso	Material de Aporte	Corriente	Voltaje	Velocidad	Progresión	
Nro		Clase	Ø	Polaridad	Amperaje	Voltios	(cm/min)
1	SMAW	E6011	3/32	DC (+)	90A	28	3.7
2	SMAW	Inox 308L	3/32	DC (-)	120 A	28	3.7
3	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	140 A	28	3.7
4	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	140 A	28	3.7
5	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	140 A	28	3.7

Se logra generar las inclusiones de escoria, una soldadura aceptable y un par de poros

Tabla 3. WPS de la muestra 9 de MaxDur 450 se busca generar grietas.

UIS								
Procedimiento específico de soldadura N°: 09				Revisión:			Fecha:	
24/02/2022								
Revisión: 09		Fecha: 01/04/2022			QPR 09			
Elect.	Diámetro (pulgada)	Amperaje	Comentarios: Se hicieron el cordón de raíz y de relleno en media luna, adicional iniciamos las inclusiones de escoria en el pase 2, el pase 3 se hizo con electrodo Inox 308L sobre este agregamos soldadura con electrodo Inox 308L y en los extremos mezcla de S y P generando gas dejando la escoria, por último, el de presentación se hizo el cordón redondeado, al finalizar el cordón se utilizó agua helada para enfriamiento rápido. Se realizó limpieza con grata eléctrica sobre cada cordón exceptuando zonas en específico del cordón.					
E6011	3/32 in	40 - 90 A						
E6013	3/32 in	40 - 120 [90]						
E7018	3/32 in	40 - 150 [A]						
Pases	Proceso	Material de Aporte	Corriente		Voltaje	Velocidad	Progresión	
Nro		Clase	Ø	Polaridad	Amperaje	Voltios	(cm/min)	
1	SMAW	E6011	3/32	DC (+)	90A	28	3.7	arrastre
2	SMAW	E6013	3/32	DC (-)	100 A	28	3.7	arrastre
3	SMAW	Inox 308L	3/32	DC (-)	120 A	28	3.7	arrastre
4	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	140 A	28	3.7	arrastre
5	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	150 A	28	3.7	arrastre

Se generó satisfactoriamente la grieta, a su vez se vio afectada por la generación de poros.

Apéndice J. WPS de la muestra M10

Tabla 44. WPS de la muestra 10 de MaxDur 450 se buscaba generar grieta.

UIS								
Procedimiento específico de soldadura N°: 10				Revisión:			Fecha:	
24/02/2022								
Revisión: 10		Fecha: 01/04/2022			QPR 10			
Elect.	Diámetro o (pulgada)	Amperaje	Comentarios: Se hizo el cordón de raíz y de relleno en media luna, adicional el pase 2 se hizo con electrodo Inox 308L dejando inclusiones de escoria, sobre todo el pase 3 se añadió mezcla de S y P el de presentación se hizo el cordón redondeado, al finalizar el cordón se utilizó agua helada para enfriamiento rápido. Se realizó limpieza con grata eléctrica sobre cada cordón exceptuando zonas en específico del cordón.					
E6011	3/32 in	40 - 90 A						
E6013	3/32 in	40 - 120 [90]						
E7018	3/32 in	40 - 150 A						
Pases	Proceso	Material de Aporte	Corriente		Voltaje	Velocidad	Progresión	
Nro		Clase	Ø	Polaridad	Amperaje	Voltios	(cm/min)	
1	SMAW	E6011	3/32	DC (+)	90A	28	3.7	Arrastre
2	SMAW	Inox 308L	3/32	DC (-)	120 A	28	3.7	Arrastre
3	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	150 A	28	3.7	Arrastre
4	SMAW	E7018	3/32	DC (-)	140 A	28	3.7	Arrastre

Se generó satisfactoriamente la grieta, a su vez se vio afecta afectada por la generación de poros