

**ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DE UNIONES DE ACERO ESTRUCTURAL
ASTM A-36 CON ACERO INOXIDABLE SAE-AISI 304, PARA LA EMPRESA
INGENIAR INOXIDABLES DE PEREIRA**

**LAURA MARÍA MONTOYA MARTÍNEZ
KATHERINE OSORIO RESTREPO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA
PEREIRA
2015**

**ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DE UNIONES DE ACERO ESTRUCTURAL
ASTM A-36 CON ACERO INOXIDABLE SAE-AISI 304, PARA LA EMPRESA
INGENIAR INOXIDABLES DE PEREIRA**

**LAURA MARÍA MONTOYA MARTÍNEZ
1088278149
KATHERINE OSORIO RESTREPO
1088293213**

Trabajo de grado para optar por el título de tecnóloga en Mecánica

DIRECTOR:

Ph.D. DAIRO HERNÁN MESA GRAJALES

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA
PEREIRA
2015**

Pereira,

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Pereira, Julio de 2015

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer, en primer lugar, a Dios por habernos permitido llegar a este punto tan importante de nuestras vidas, también a nuestras familias por el apoyo incondicional que siempre nos han brindado, por su buen consejo, amor y confianza en todo lo que hemos emprendido hasta el día de hoy, porque gracias a ese apoyo y a ese amor familiar cumplimos nuestro sueño de ser profesionales y porque con su esfuerzo y ejemplo diario han hecho de nosotras unas mejores personas. También agradecemos enormemente a todos nuestros compañeros de estudio, quienes durante estos años han sido parte importante de este proceso de formación, personas que más que compañeros se convirtieron en nuestros amigos y quienes sin esperar nada a cambio, compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas durante estos años de vida universitaria.

Al grupo de docentes quienes dieron lo mejor de sí para compartir sus conocimientos con nosotras, al grupo de trabajo del CECEND y del taller de la Facultad de Ingeniería Mecánica, por todo el apoyo que nos brindaron durante la realización de las pruebas de nuestro trabajo de grado; su acompañamiento y asesoría fue de vital importancia, también a la empresa Ingeniar Inoxidables de Pereira donde pusieron su confianza en nosotras para realización de este proyecto y a sus Ingenieros Oscar Andrés Pineda y Alexander Osorio quienes siempre estuvieron dispuestos a darnos su asesoría a lo largo de todo el proceso.

Es importante para nosotras agradecer de manera muy especial a la Ingeniera Luz Adriana Cañas, que desde un principio fue quien depositó su confianza en nosotras para la realización de este proyecto y nos brindó todo su apoyo incondicional a lo largo de este proceso y al Ingeniero Dairo Hernán Mesa, nuestro director, quien muy amablemente acogió nuestro proyecto, nos asesoró siempre con la mejor disposición y ha sido parte fundamental en el desarrollo de nuestro trabajo.

Por otro lado, agradecemos inmensamente al Ingeniero Yesid Moreno, que fue quien nos ayudó con la realización de las probetas de nuestro proyecto; al Ingeniero Manuel Pinzón, quien siempre de la manera más atenta y cordial, facilitó las instalaciones del CECEND y siempre compartió su conocimiento respondiendo a nuestras dudas e inquietudes; también queremos agradecer al Ingeniero Gabriel Calle, quien nos ayudó con las pruebas de tracción siempre con la mejor disposición; al almacenista del taller Rolando, quien siempre colaboró en todo lo que necesitamos y a nuestro compañero y empleado del CECEND, Diego Alejandro Ramírez, quien fue una de las personas que más nos apoyó a lo largo de todo este proceso.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mi padre quien fue mi gran ejemplo y mientras vivió fue el mejor padre que me pudo haber dado la vida; a mi madre, la mujer más trabajadora y luchadora que conozco; esa mujer con alma de guerrera que es mi inspiración y mi ejemplo a seguir; a mi hermana quien siempre me ha dado su apoyo y compañía en los momentos más difíciles; a mi compañera de trabajo de grado, quien a lo largo de estos años, más que una simple compañera se ha convertido en mi amiga y en una de las personas que quisiera conservar a lo largo de mi vida por la gran persona que es y por todos sus valores finalmente quiero dedicar este trabajo a mis amigos y familiares, por acompañarme en todos los momentos y a todas aquellas personas que de una u otra forma han logrado contribuir en mi formación profesional y personal.

Katherine Osorio Restrepo

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, quienes han sido mi mayor ejemplo y han sido las personas que más me han apoyado y depositado su confianza a lo largo de toda mi vida, ya que con su esfuerzo y dedicación han hecho de mí la persona que soy; a mi compañera, que en todo este tiempo se ha convertido en una de las personas más importantes en todo este proceso, siendo un gran apoyo y una gran amiga; a mis amigos y familiares, por acompañarme en cada momento y a todas esas personas que han contribuido a que este sueño se haga realidad.

Laura María Montoya Martínez

CONTENIDO

RESUMEN.....	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
1. OBJETIVOS.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1 Objetivo general.....	¡Error! Marcador no definido.
1.2 Objetivos específicos.....	¡Error! Marcador no definido.
2. MARCO TEÓRICO.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1 GENERALIDADES DE LA SOLDADURA... ¡Error! Marcador no definido.	
2.1.1. Definición.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2 PROCESOS DE SOLDADURA (Llano, Noviembre 2008- Enero 2009) ¡Error! Marcador no definido.	
2.2.1. SMAW (<i>Shielded Metal Arc Welding</i>).....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.2. GTAW (<i>Gas Tungsten Arc Welding</i>).....	¡Error! Marcador no definido.
2.3 SOLDABILIDAD.....	¡Error! Marcador no definido.
2.3.1 Soldabilidad de aceros al carbono.	¡Error! Marcador no definido.
2.3.2 Soldabilidad de los aceros inoxidables austeníticos. ¡Error! Marcador no definido.	
2.3.3 Soldabilidad entre aceros disímiles.	¡Error! Marcador no definido.
2.4 SIMBOLOGÍA DE LA SOLDADURA.....	¡Error! Marcador no definido.
2.4.1 Símbolos básicos (INDURA S.A.)	¡Error! Marcador no definido.
2.5 DEFECTOLOGÍA DE LA SOLDADURA (Vega, 2012) ... ¡Error! Marcador no definido.	
2.5.1. Porosidad (<i>“Porosity”</i>).....	¡Error! Marcador no definido.
2.5.2 Inclusiones (<i>“Inclusions”</i>).....	¡Error! Marcador no definido.
2.5.3. Fusión incompleta (<i>“Incomplete fusion”</i> o falta de fusión).	¡Error! Marcador no definido.
2.5.4. Penetración incompleta o falta de penetración (<i>“Incomplete joint penetration”</i>).....	¡Error! Marcador no definido.
2.5.5. Grietas (<i>“Cracks”</i>).....	¡Error! Marcador no definido.

- 2.5.6. Socavadura/mordedura (“*Undercut*”)..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.5.7. Concavidad (“*Underfill*”)..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.5.8. Garganta insuficiente (“*Insufficient throat*”)..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.5.9. Catetos demasiado cortos (“*Insufficient legs*”). **¡Error! Marcador no definido.1**
- 2.5.10. Solape (“*Overlap*”) (Metal de soldadura apoyado sobre el metal base sin fundirlo)..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.5.11. Sobremona excesiva (“*Weld reinforcement*”). **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.5.12. “Laminaciones” (“*Laminations*”)..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.5.13. Fisuras laminares (“*Lamellar tears*”)..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.5.14. Golpes de arco / apertura de arco / arranque de arco / chisporroteo (en el material base fuera de la soldadura) (“*Arc strike*”)..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.5.15. Desalineación (“*High – Low*”). **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.5.16. Salpicaduras (“*Spatter*”). **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.5.17. Penetración excesiva (“*Excessive penetration*”). **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.5.18. Rechupes (de cráter)..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.5.19. Porosidad alargada en la raíz (“*Hollow - bead porosity (HB)*”).**¡Error! Marcador no definido.**
- 2.5.20. Quemón (“*Burn - Through (BT)*”)..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.6 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END) (Tecnicontrol S.A, 2014)....**¡Error! Marcador no definido.**
- 2.6.1 Discontinuidades Superficiales:..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.6.1.3 Ensayo de partículas magnéticas..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.6.2 Discontinuidades externas **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.6.2.1 Inspección por Ultrasonido **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.6.2.2 Ensayo Radiográfico..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.7 ENSAYOS DESTRUCTIVOS **¡Error! Marcador no definido.**
- 2.7.1. Ensayo de tracción..... **¡Error! Marcador no definido.**

2.7.2 Ensayo de dureza.	¡Error! Marcador no definido.
2.7.3 Ensayo de Impacto Charpy.	¡Error! Marcador no definido.
2.7.4 Ensayo de sanidad de soldaduras	¡Error! Marcador no definido.
2.7.4.1 Ensayos del dobléz.	¡Error! Marcador no definido.
2.8. Acero Inoxidable AISI-SAE 304	¡Error! Marcador no definido.
2.9 Acero estructural ASTM-A36	¡Error! Marcador no definido.
2.10 DOCUMENTACIÓN PARA ESTANDARIZACIÓN DE PROCESOS DE SOLDADURA.	¡Error! Marcador no definido.
2.11. NORMATIVIDAD Y CODIGO ASME SECCIÓN IX	¡Error! Marcador no definido.
2.11.1 Sección IX del código ASME	¡Error! Marcador no definido.
3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	¡Error! Marcador no definido.
3.1. Obtención de los materiales y realización de uniones soldadas.....	¡Error! Marcador no definido.
3.2. Ensayos no destructivos (END).	¡Error! Marcador no definido.
3.2.1 inspección visual (IV).....	¡Error! Marcador no definido.
3.2.2. Tintas penetrantes (TP).....	¡Error! Marcador no definido.
3.3 Ensayos destructivos.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3.1 Ensayo de tracción	¡Error! Marcador no definido.
3.3.2 Ensayos de sanidad (Dobléz).....	¡Error! Marcador no definido.
3.3.2.1. Ensayo de dobléz de raíz	¡Error! Marcador no definido.
3.3.3 Ensayo de resistencia a la corrosión en la cámara de niebla salina	¡Error! Marcador no definido.
3.4 Elaboración del WPS.....	¡Error! Marcador no definido.
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .	¡Error! Marcador no definido.
4.1 Ensayos no destructivos (END).....	¡Error! Marcador no definido.
4.1.1 Inspección visual (IV)	¡Error! Marcador no definido.
4.1.2 Tintas penetrantes (TP).....	¡Error! Marcador no definido.
4.2 Ensayos destructivos (ED)	¡Error! Marcador no definido.
4.2.1 Ensayo de tracción	¡Error! Marcador no definido.
4.2.2 Ensayo de sanidad.....	87

4.2.2.1 Ensayo de doblez de raíz.....	87
4.2.2.2 Ensayo de doblez de cara.....	8 ¡Error! Marcador no definido.
4.2.3 Cámara de niebla salina.....	¡Error! Marcador no definido.1
CONCLUSIONES.....	96
RECOMENDACIONES.....	98
BIBLIOGRAFÍA.....	99
ANEXO A. Electrodo E-309L-16.....	¡Error! Marcador no definido.2
ANEXO B. Electrodo ER308L.....	¡Error! Marcador no definido.3
ANEXO C. WPS usadas para el desarrollo de las soldaduras	¡Error! Marcador no definido.4
ANEXO D. Planos.....	¡Error! Marcador no definido.1

CONTENIDO DE ILUSTRACIONES

FIGURA 1. EQUIPO DE SOLDADURA SMAW.....	16
FIGURA 2. ZONAS DE LA UNIÓN DE LA JUNTA.....	19
FIGURA 3. SÍMBOLOS BÁSICOS DE SOLDADURA.....	24
FIGURA 4. LOCALIZACIÓN ESTÁNDAR DE LOS ELEMENTOS DE UN SÍMBOLO EN SOLDADURA.....	25
FIGURA 5. POROSIDADES.....	26
FIGURA 6. INCLUSIONES.....	27
FIGURA 7. FUSIÓN INCOMPLETA.....	28
FIGURA 8. PENETRACIÓN INCOMPLETA O FALTA DE PENETRACIÓN.....	28
FIGURA 9. FORMAS DE GRIETAS.....	29
FIGURA 10. SOCAVADO.....	30
FIGURA 11. CONCAVIDAD.....	30
FIGURA 12. SOBREMONTA EXCESIVA.....	31
FIGURA 13. LAMINACIONES.....	32
FIGURA 14. GOLPES DE ARCO.....	33
FIGURA 15. DESALINEACIÓN.....	33
FIGURA 16. SALPICADURAS.....	34
FIGURA 17. QUEMÓN.....	34
FIGURA 18. FORMATO SUGERIDO PARA EL REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR).....	52
FIGURA 19. FORMATO SUGERIDO PARA EL REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR).....	55
FIGURA 20. PROCESO APLICACIÓN DE TINTAS PENETRANTES.....	61

FIGURA 21. RESULTADOS INSPECCIÓN VISUAL	75
FIGURA 22. RESULTADO TINTAS PENETRANTES	77
FIGURA 23. EVIDENCIAS DE DEFECTOLOGÍA EN LAS UNIONES SMAW-4 Y SMAW-6	78
FIGURA 24. GRÁFICA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN (GTAW-1.1)	81
FIGURA 25. GRÁFICA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN (GTAW-1.2)	82
FIGURA 26. GRÁFICA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN (GTAW-2.1)	82
FIGURA 27. GRÁFICA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN (GTAW-2.2)	83
FIGURA 28. GRÁFICA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN (GTAW-3.1)	83
FIGURA 29. GRÁFICA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN (GTAW-3.2)	84
FIGURA 30. GRÁFICA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN (SMAW-4.1).....	84
FIGURA 31. GRÁFICA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN (SMAW-4.2).....	85
FIGURA 32. GRÁFICA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN (SMAW-5.1).....	85
FIGURA 33. GRÁFICA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN (SMAW-5.2).....	86
FIGURA 34. GRÁFICA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN (SMAW-6.1).....	86
FIGURA 35. GRÁFICA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN (SMAW-6.2).....	87

CONTENIDO DE TABLAS

TABLA 1. INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS EN LA SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS, COMPARADOS CON EL ACERO	20
TABLA 2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO INOXIDABLE 304 EN ESTADO DE SUMINISTRO.	44
TABLA 3. PRINCIPALES ELEMENTOS DE ALEACIÓN DEL ACERO INOXIDABLE Y SU INFLUENCIA.....	44
TABLA 4. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO INOXIDABLE 304 EN ESTADO DE SUMINISTRO.....	45
TABLA 5. VENTAJAS DEL ACERO INOXIDABLE 304	46
TABLA 6. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO INOXIDABLE 304 EN ESTADO DE SUMINISTRO.	47
TABLA 7. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM-A36.....	47
TABLA 8. DESIGNACIÓN DE JUNTAS.....	58
TABLA 9. ELEMENTOS DE INSPECCIÓN PARA INSPECCIÓN VISUAL (IV) Y TINTAS PENETRANTES (PT).....	60
TABLA 10. CUERPOS DE PRUEBA DE TRACCIÓN Y SU SUJECCIÓN EN LA MÁQUINA.	62
TABLA 11. CUERPOS DE PRUEBA DE DOBLEZ DE RAÍZ Y SU MONTAJE EN LA MÁQUINA.....	65
TABLA 12. CUERPOS DE PRUEBA DE DOBLEZ DE CARA Y SU MONTAJE EN LA MÁQUINA.....	68
TABLA 13. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE ENSAYO.....	71
TABLA 14. PARÁMETROS DE ENSAYO CÁMARA SALINA.....	71

TABLA 15. RESULTADOS INSPECCIÓN VISUAL	73
TABLA 16. RESULTADOS TINTAS PENETRANTES	76
TABLA 17. RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN.....	80
TABLA 30. RESULTADOS ENSAYO DOBLEZ DE RAÍZ.	88
TABLA 31. RESULTADOS ENSAYO DOBLEZ DE CARA.	90
TABLA 32. SEGUIMIENTO DE LAS MUESTRAS GTAW-3, A DIFERENTES HORAS DURANTE PRUEBA.	92
TABLA 33. SEGUIMIENTO DE LAS MUESTRAS SMAW-6.....	94

RESUMEN

El presente trabajo presenta el estudio de la soldabilidad de uniones entre acero estructural ASTM A36 con acero inoxidable SAE-AISI 304, las uniones de dichos materiales se harán mediante los procesos de soldadura SMAW y GTAW para la empresa Ingeniar Inoxidables de Pereira.

El estudio de la soldabilidad fue realizado de manera cualitativa y cuantitativa. Cuantitativamente se analizó mediante el ensayo de tracción, el cual permite evaluar la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente; y cualitativamente se analizó mediante el ensayo de doblez de raíz y doblez de cara, los cuales proporcionan una manera de evaluar la calidad de los materiales por su capacidad para resistir el agrietamiento, de soportar algunas irregularidades superficiales durante un doblado continuo. Para evaluar la resistencia a la corrosión, las diferentes uniones soldadas se expusieron a ensayos en cámara de niebla salina, permitiendo un análisis cualitativo; donde se puede analizar la manera en que se desgasta cada material; estos ensayos se apoyaron con fotografías, las cuales fueron de vital importancia para el análisis de las pruebas, ya que estas mostraron de manera detallada, los cambios ocurridos durante las pruebas, tanto en los materiales y como en la soldadura.

0. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen miles de metales diferentes que sirven como materiales de construcción; los diseñadores pueden escoger el metal que mejor se comporte, de acuerdo con las necesidades particulares. Estos materiales difieren, no sólo de su composición química, sino en la forma como han sido manufacturados; lo que los hace más o menos soldables, creándose la necesidad de evaluar a fondo los procedimientos disponibles para su soldadura.

En la fabricación de equipos y máquinas es cada vez más frecuente las aplicaciones de soldaduras en aceros disímiles¹. La soldadura de este tipo de materiales tiende a presentar dificultades en cuanto a la sanidad de las juntas obtenidas, las cuales pueden minimizarse mediante una correcta selección de los materiales y la aplicación del procedimiento de soldadura para cada necesidad particular; esto lleva a que se tenga que investigar y experimentar cuidadosamente con el fin de determinar las mejores condiciones bajo las cuales se deban realizar dichas uniones. Además de las recomendaciones que se encuentran en los catálogos de fabricantes de metales de aporte, que son muy funcionales cuando las soldaduras son entre materiales similares, se hace necesario hacer un mejor análisis cuando de materiales disímiles se trata y en especial cuando están involucrados aceros inoxidables.

Actualmente, los fabricantes de electrodos y metales de aporte poseen una amplia gama de productos, lo cual brinda la posibilidad de obtener soldaduras de calidad, sin embargo, por la complejidad de las uniones cuando los materiales son diferentes, es importante realizar el análisis de la soldabilidad con base en el comportamiento mecánico y los cambios metalúrgicos producidos durante la soldadura, y analizar el efecto de la modificación de las variables del proceso en dicha propiedad, de manera que se cuente con bases fundamentales para generar y evaluar procedimientos que se rijan bajo los parámetros establecidos en las normas de referencia aplicables a cada uno de los materiales a unir.

Por lo anterior, el desarrollo de la propuesta planteada en el actual proyecto, permitirá generar un procedimiento de soldadura, cuyas especificaciones garanticen la sanidad de las uniones obtenidas, logrando una aplicación para la empresa Ingeniar Inoxidables de Pereira, de manera que se cuente con procesos que han sido evaluados en cuanto a la calidad obtenida realizando un aporte significativo desde la academia para la industria.

¹Disímiles: diferentes, distintos

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Realizar el análisis de la soldabilidad del acero inoxidable SAE-AISI 304, unido con acero estructural A36, mediante la determinación de algunas propiedades mecánicas y metalúrgicas, y evaluar el efecto que pueda tener la exposición de la soldadura a un medio salino.

1.2 Objetivos específicos

- Consultar y procesar las normas técnicas vigentes AWS ó ASME, acerca de la soldadura en materiales disímiles como el acero estructural A36 y el acero inoxidable SAE-AISI 304.
- Proponer y desarrollar una metodología experimental para la evaluación de la soldabilidad del acero inoxidable SAE-AISI 304 con acero estructural A36 mediante la aplicación de ensayos destructivos y no-destructivos.
- Generar un procedimiento de soldadura WPS (*Welding Procedure Specification*) que aplique a las uniones en estudio, y realizar su evaluación de manera que responda a las necesidades de la empresa Ingeniar Inoxidables de Pereira.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES DE LA SOLDADURA

2.1.1 Definición. La soldadura puede definirse como un proceso de unión entre metales en el que la adherencia se produce, con aporte de calor, con aplicación de presión o sin ella y con la adición o no de metal. (Cembrero J, 2005)

Generalmente se consideran dos tipos de soldadura: **a) soldadura blanda**, caracterizada porque las aleaciones que emplea tienen una temperatura de fusión inferior a los 450 °C y su resistencia mecánica es muy baja y, **b) soldadura fuerte**, en la que la temperatura de fusión de las aleaciones empleadas para soldar es superior a 450 °C, con esta soldadura se consigue una mayor resistencia mecánica de la unión

Otras clasificaciones de las soldaduras hacen referencia a la fuente de calor, al aporte del material de unión y al medio donde se efectúa la unión. (Cembrero J, 2005)

2.2 PROCESOS DE SOLDADURA (Llano, Noviembre 2008- Enero 2009)

Existen diversos procesos de soldadura, entre los cuales están: OFW (*Oxi Fuel Welding*. Soldadura Oxi Combustible), FCAW (*Flux Cored Arc Welding*. Soldadura por Arco con Electrodo Tubular con núcleo Fundente), SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*. Soldadura por Arco con Electrodo Revestido), SAW (*Submerged Arc Welding*. Soldadura por Arco Sumergido), GMAW (*Gas Metal Arc Welding*. Soldadura por Arco con protección gaseosa), GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*. Soldadura por Arco con Electrodo de Tungsteno y Gas Protector), PAW (*Plasma Arc Welding*. Soldadura por Arco de Plasma), ESW (*Electro Slag Welding*. Soldadura por Electro Escoria), EGW (*Electro Gas Welding*. Soldadura por Electro Gas), SW (*Strud Welding*. Soldadura por Espárragos), ICDF (*Inertia and Continuous Drive Friction Welding*. Soldadura por Fricción e Inercia); entre otros.

En este proyecto en particular fueron utilizados dos procesos de soldadura SMAW y GTAW; por lo que son descritos brevemente.

2.2.1 SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). La soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido es la forma más común de soldadura. El soldeo por arco con electrodo revestido es un proceso, en el que la fusión del metal se

produce gracias al calor generado por un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal base de una unión a soldar.

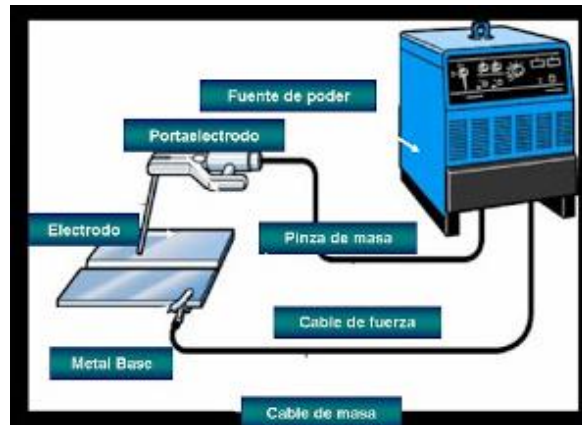
El material de aporte se obtiene por la fusión del electrodo en forma de pequeñas gotas. La protección se obtiene por la descomposición del revestimiento en forma de gases y en forma de escoria líquida que flota sobre el baño de fusión y, posteriormente solidifica. Los electrodos usualmente son de acero de bajo carbono, y están recubiertos con un material fundente que crea una atmósfera protectora que evita que se oxide el metal fundido y favorece la operación de soldeo.(Solter, s.f.)

El soldeo por arco con electrodo revestido puede realizarse tanto en corriente alterna (AC) como en corriente continua (DC). La elección del tipo de corriente dependerá del tipo de equipo disponible, del electrodo a utilizar y del material a ser soldado. La polaridad de la corriente eléctrica afecta la transferencia de calor a las piezas unidas. Normalmente el polo positivo (+) se conecta al electrodo aunque, para soldar materiales muy delgados se conecta al electrodo el polo negativo (-) de una fuente de corriente continua.

El equipo que se utiliza en el proceso de soldadura SMAW (ver figura 1), es una fuente de energía que modifica los parámetros necesarios para que el electrodo funda correcta y homogéneamente; las partes más importantes de un equipo de soldadura SMAW son:(Solter, s.f.).

- Transformadores: Modifican los parámetros voltaje (V) e intensidad (A) pero continúa suministrando corriente alterna (AC)
- Rectificadores: Consumen corriente alterna, y a la vez que modifican los parámetros voltaje (V) e intensidad (A), también rectifican la corriente que pasa de corriente alterna (AC) a corriente continua (DC).
- Pinza porta-electrodos: Tiene la función de conducir la electricidad al electrodo y sujetarlo. Se debe seleccionar siempre el porta-electrodos en función del electrodo a utilizar y la intensidad de soldadura.
- Pinza de masa: La conexión correcta de la pinza de masa es una consideración de importancia. La situación del cable es de especial relevancia en el soldeo. La zona de contacto de la pinza de masa debe estar totalmente limpia sin sustancias que puedan dificultar su correcto contacto como pinturas, barnices, aceites, etc.

Figura 1. Equipo de soldadura SMAW



Fuente. Equipos de soldadura. [En línea] Disponible en: <<http://equiposoldadura.blogspot.com/>>(Patarroyo, 2012)

Ventajas del uso de la soldadura SMAW:

- El equipo es relativamente simple, económico y portátil.
- El electrodo es el encargado de suministrar el metal de aporte y la protección del arco.
- No requiere de flux adicional ni de gases de protección.
- El proceso es menos sensible al viento y corrientes de aire que los protegidos por gas.
- Permite su uso en áreas de acceso limitado.
- Es adecuado para la mayoría de los metales y aleaciones.

Limitaciones del uso de la soldadura SMAW:

- No pueden soldarse metales o aleaciones de bajo punto de fusión Ej. Plomo, Estaño.

- No pueden soldarse metales reactivos Ej. Titanio, Zirconio. Tantalio y Columbio.
- Alta dependencia del soldador.
- Bajo rendimiento y velocidad de deposición.
- Alto nivel de desperdicio(Quesada).

2.2.2. GTAW (Gas TungstenArcWelding).El proceso de soldadura GTAW, también conocido como TIG (*TungstenInert Gas*), está entre las técnicas de soldadura más difíciles de aprender y tiene diferentes ventajas y desventajas.

El proceso GTAW usa un electrodo no consumible de Tungsteno para crear un arco y transferir calor al metal base que se está soldando. Al mismo tiempo, un gas inerte, generalmente Argón o una mezcla de Argón/Helio, protege el charco de soldadura de la atmósfera para evitar la corrosión o contaminación.

El Argón es el gas más empleado, tanto por la excelente protección que ofrece como por su bajo costo y sus buenas características de densidad y peso atómico(Llano, Noviembre 2008- Enero 2009). Por su parte, el Helio ofrece un arco fuerte, con gran potencial calorífico y es ideal para soldar metales conductores de electricidad y calor como Aluminio y Cobre; su desventaja frente al Argón es que deja un cordón de soldadura más achatado y menos profundo.

El proceso GTAW se puede usar para soldar más materiales que cualquier otro proceso de soldadura, se pueden soldar aceros al carbono e incluso metales exóticos o aleaciones pesadas, entre ellos: el acero inoxidable, aluminio, cromo, molibdeno, níquel y titanio. Además, permite trabajar con corrientes continua y alterna, con polaridad directa o inversa, brindando diferentes tipos de penetración y duración del electrodo; produce soldaduras muy limpias y de alta calidad. Éste proceso también funciona muy bien para materiales delgados, incluso aquéllos con espesores en milímetros(Llano, Noviembre 2008- Enero 2009).

La soldadura GTAW es muy popular para hacer uniones de raíz en cañerías y juntas de tubos, así como para sistemas de transporte y distribución de sustancias líquidas, sistemas para el procesamiento de gases y su distribución, elaboración de paneles de gas, soportes y en la construcción de tuberías para salones con atmosfera controlada. Otra de sus ventajas es que puede emplearse en todo tipo de posiciones y es posible automatizarla para algunas fabricaciones en serie(Llano, Noviembre 2008- Enero 2009).

El proceso GTAW puede utilizar corriente continua y alterna, la elección de la polaridad se debe hacer en función del material a soldar, proporcionando con ello

dos terceras partes de la energía total en forma de calor en el metal base. Las intensidades de corriente son del orden de 50 a 500 Amperios (A). Las relaciones entre el tipo de corriente y de polaridad que pueden ser usadas en este proceso son (Llano, Noviembre 2008- Enero 2009):

- Corriente Continua, Polaridad Inversa: En la polaridad inversa, el electrodo se encuentra a potencial positivo respecto a la pieza, conectada ésta al polo negativo, lo que quiere decir que la relación de corriente es mayor en la pieza de trabajo; la pieza se calienta el 30% y el electrodo un 70%; las intensidades oscilan entre 5 y 60 Amperios. Por lo que en este método deben considerarse dos consecuencias importantes: el baño de fusión es mayor pero la penetración es poca y ancha y, se produce un efecto de descontaminación, ya que los electrones que salen de la pieza, rompen la película de óxidos y acorralan las impurezas a un lado. En la práctica, el método de la polaridad inversa no tiene mucha aplicación.
- Corriente Alterna: Se diferencia de la directa por el cambio constante de polaridad que efectúa por cada ciclo de tiempo. La característica principal es que durante un periodo de tiempo, un polo es negativo y el otro positivo, mientras que en el instante siguiente las polaridades se invierten tantas veces como ciclos por segundo o hertz posea esa corriente. Sin embargo, aunque se produzca un constante cambio de polaridad, la corriente siempre fluirá del polo negativo al positivo. El método de corriente alterna es especialmente útil para materiales de espesores delgados (Llano, Noviembre 2008- Enero 2009).

2.3 SOLDABILIDAD

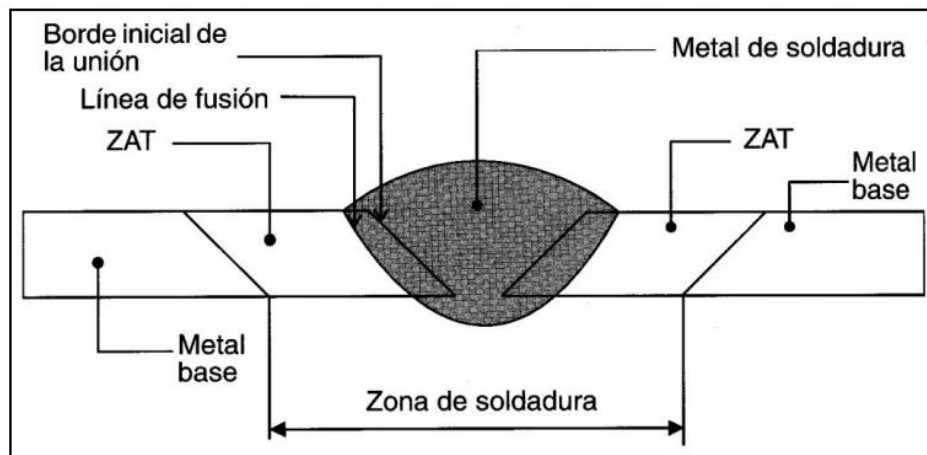
La soldabilidad es la capacidad que tienen los materiales, de la misma o de diferente naturaleza, para ser unidos de manera permanente mediante procesos de soldadura, sin presentar transformaciones estructurales perjudiciales, tensiones o deformaciones que puedan ocasionar alabeos². La soldabilidad de un material constituye una propiedad muy compleja y en muchas ocasiones queda condicionada a variaciones metalúrgicas y sus propiedades. Esto significa que un material puede tener buena soldabilidad, cuando se puede lograr una unión soldada con propiedades mecánicas y físico-químicas adecuadas, por cualquiera de los procesos de soldadura y sin necesidad de utilizar técnicas auxiliares (Guzmán, 2014).

En un proceso de soldeo por fusión se pueden distinguir tres zonas claras en la unión soldada (ver figura 2). Estas zonas son:

² Alabeo: Deformación de una superficie plana de cualquier material, por acción del calor, humedad, etc., de manera que no pueda coincidir con un plano.

- **Metal de soldadura**, o cordón de soldadura, que es la zona formada por el metal base y el metal de aporte.
- **Zona afectada térmicamente (ZAT)**, es la zona adyacente a la soldadura que se calienta en gran medida y se ve afectada por el calor, pero que no funde. Esta zona sufre cambios metalúrgicos y cambios en sus características mecánicas, pudiendo ser muy propensa a desarrollar grietas o condiciones desfavorables.
- **Metal base** que no ha sufrido ninguna transformación en el proceso de soldadura (Avilés, Centro Integrado de Formación Profesional de).

Figura 2. Zonas de la unión de la junta



Fuente. Concepto de soldabilidad. [En línea] Disponible en:
<http://cifpaviles.webcindario.com/U.D%205.pdf> (Avilés, Centro Integrado de Formación Profesional de)

2.3.1 Soldabilidad de aceros al carbono. La soldabilidad de los aceros al carbono es determinada principalmente por la cantidad de carbono presente en estos y su sensibilidad al agrietamiento por hidrógeno, aunque la tendencia al agrietamiento en caliente y las prácticas de desoxidación también pueden afectar la soldabilidad de algunos grados (Bencomo, 2009).

2.3.2 Soldabilidad de los aceros inoxidable austeníticos³. Los aceros inoxidable auténticos son, por lo general, considerados los más soldables entre las diferentes familias de aceros inoxidable. Estos pueden ser soldados sin ningún problema utilizando procesos de soldadura por arco, por haz de electrones, por rayo láser, o por procesos de resistencia y fricción. Sin embargo, las soldaduras por arco de metal con protección gaseosa (GMAW), de arco de tungsteno y gas (GTAW), de arco con núcleo de fundente (FCAW), y arco metálico y electrodo revestido (SMAW), representan los procesos más utilizados a la hora de soldar este tipo de material (Bencomo, 2009).

Aunque la soldabilidad de estos aceros es, por lo general muy buena, realizar un inadecuado proceso de soldadura puede producir resultados indeseables o problemas, tanto en el metal base como en el cordón de soldadura, siendo algunos de estos: la sensibilización o pérdida de resistencia a la corrosión intergranular, la fragilización y la fisuración en caliente (Bencomo, 2009).

Los aceros inoxidable son una excelente elección para la construcción de equipos para la industria química, láctea, alimenticia, biotecnológica y para usos arquitectónicos y relacionados, todo esto gracias a la influencia de sus propiedades físicas en la soldadura (ver tabla 1).

Tabla 1. Influencia de las propiedades físicas en la soldadura de aceros inoxidable austeníticos, comparados con el acero

	Aceros inoxidable austeníticos	Aceros al carbono	Observaciones
Punto de fusión (tipo AISI 304)	1400- 1450 °C	1540 °C	El Tipo AISI 304 requiere menos calor para producir la fusión, lo cual significa una soldadura más rápida para el mismo calor, o menos calor para la misma velocidad.

³ Acero inoxidable auténtico: como su nombre indica, tienen configuración metalográfica austenítica. Esta familia de aceros se obtiene adicionando elementos formadores de austenita, tales como níquel, manganeso y nitrógeno

Respuesta magnética	No magnético a todas las temperaturas	Magnético hasta más de 705 °C	Los aceros inoxidables al níquel no están sujetos a la sopladura de arco.
<p>Velocidad de conductividad térmica</p> <p>A 100 °C</p> <p>A 650 °C</p>	<p>28%</p> <p>66%</p>	<p>100 %</p> <p>100%</p>	<p>El Tipo AISI 304 conduce el calor mucho más lentamente que los aceros al carbono, lo cual produce gradientes de temperatura más pronunciados. Esto acelera la deformación.</p> <p>Una difusión más lenta del calor a través del metal de base significa que la zona soldada permanece caliente por más tiempo, resultado de lo cual puede ser una mayor precipitación de carburos, a menos que se usen medios artificiales para extraer el calor, tales como barras enfriadoras, etc</p>
<p>Resistencia Eléctrica (aleado) (microhm.cm, aprox.)</p> <p>a 20 °C</p> <p>a 885 °C</p>	<p>72.0</p> <p>126.0</p>	<p>12.5</p> <p>125</p>	<p>Esto es importante en los métodos de fusión eléctrica. La resistencia eléctrica más grande del tipo AISI 304 resulta en la generación de más calor para la misma corriente, o la misma cantidad de calor con menos corriente, comparado con los aceros al carbono. Esta propiedad, junto con una menor velocidad de conductividad térmica, resulta en la efectividad de los métodos para soldadura por resistencia del Tipo AISI 304</p>

<p>Expansión térmica en el rango indicado pulg./pulg./°C x 10^{-6}</p>	<p>17.6 (20 - 500 °C)</p>	<p>11.7 (20 - 628 °C)</p>	<p>El tipo AISI 304 se expande y contrae a una velocidad más alta que el acero al carbono, lo cual significa que se debe permitir expansión y contracción a fin de controlar la deformación y el desarrollo de tensiones térmicas después del enfriamiento. Por ejemplo, para el acero inoxidable deben usarse más puntos de soldadura que para el acero al carbono</p>
---	-------------------------------	-------------------------------	---

Fuente. ACERIND S.C. Soldadura de los aceros inoxidables Sección I: Para el soldador [En línea] (ACERIND, S.C., 2011)

2.3.3 Soldabilidad entre aceros disímiles. La soldadura de materiales disímiles es frecuentemente usada para unir aceros inoxidables a otros materiales. A menudo esto es aprovechado donde se requiere una transición entre propiedades mecánicas y rendimiento. Bajo ciertas condiciones, una transición de aceros inoxidables a otros aceros es usado con propósitos económicos. Muchas veces los aceros al carbono son unidos a aceros inoxidables para suministrar resistencia a la corrosión a bajo costo (Vázquez, 2011).

Este tipo de uniones se pueden realizar en una variedad de diferentes metales y por una serie de procesos de soldadura.

El principio de hacer las soldaduras entre metales diferentes se refiere a la zona de transición entre los metales y los compuestos intermetálicos formados en esta zona de transición. (Saavedra, 2010).

2.4 SIMBOLOGÍA DE LA SOLDADURA

Es de suma importancia que todo el personal involucrado en procesos de soldadura tenga el conocimiento y el criterio suficiente para interpretar la información que aparece en planos o documentos de fabricación, de manera que su interpretación sea única para así garantizar que las soldaduras sean del tipo y dimensiones adecuadas al material a soldar y a las condiciones de servicio previstas; por esta razón, nace un sistema de símbolos, que indican la forma, las dimensiones y otros parámetros importantes de la soldadura.

La Sociedad Americana de Soldadura (*American Welding Society: AWS*) ha desarrollado un sistema estándar de simbología en soldadura, el cual es reconocido y ampliamente usado a nivel mundial. Este estándar tiene por objetivo mostrar mediante una representación gráfica la ejecución y tipo de unión de una soldadura.

2.4.1 Símbolos básicos(INDURA S.A.)

Los símbolos de soldadura son un método de representación del desarrollo de la soldadura sobre un plano, tienen como objetivo principal simplificar de manera fácil el desempeño del mismo. Básicamente consiste en ocho elementos que son:

- Línea de referencia
- Flecha
- Símbolos básicos de soldadura
- Dimensiones y otros datos
- Símbolos suplementarios
- Símbolos de término
- Cola
- Especificación, procesos y otras referencias.

También hay que presentar los símbolos de soldaduras y los tipos de uniones básicos. El primero de ellos se da a conocer en la figura 3, los cuales son dibujados sobre la línea de referencia (mostrada en este caso como punteada).

Figura 3. Símbolos básicos de soldadura

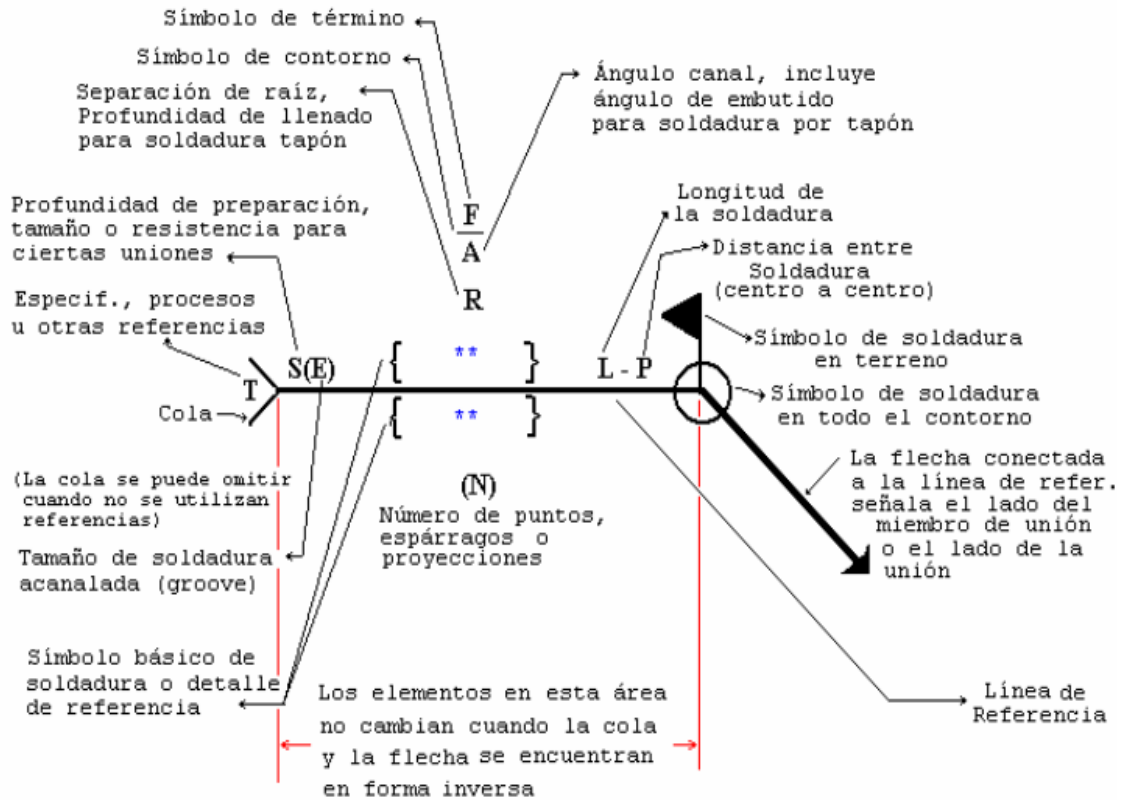
Preparación de Bordos						
Cuadrado	V	Bisel	U	J	Scarf	Flare - V

Filete	Tapón	Espárragos	Puntos	Costura	Backing	Surfacing	Flange	
							Cuña	Esquina

Fuente. INDURA. Representación de la soldadura mediante símbolos (INDURA S.A.)

Los elementos de un símbolo de soldadura tendrán ubicaciones estándar con respecto a sus similares, tal como se muestra en la figura 4. Las referencias de especificaciones y procesos deberán estar en la cola del símbolo de soldadura. Por su parte, la flecha del símbolo de soldadura señalará a una línea sobre el dibujo, el cual identifica el propósito de la unión.

Figura 4. Localización estándar de los elementos de un símbolo en soldadura.



Fuente. INDURA. Representación de la soldadura mediante símbolos (INDURA S.A.)

2.5 DEFECTOLOGÍA DE LA SOLDADURA (Vega, 2012)

En todas las uniones soldadas pueden producirse diferentes defectos, los cuales se pueden dar por diversas causas, como: el tipo de electrodos utilizados, o por las deformaciones producidas por el intenso calor aportado y las anomalías o discontinuidades del cordón, que pueden dañar el aspecto y configuración tanto interna como externa de la soldadura.

Las discontinuidades más frecuentes que se encuentran en las soldaduras, o que están muy relacionadas con ellas, forman parte de los siguientes tipos:

2.5.1. Porosidad ("Porosity"). Discontinuidad del tipo de cavidad formada por gas atrapado durante la solidificación del metal de soldadura. Se divide a su vez en cuatro tipos:

a) Porosidad uniformemente dispersa. Es una porosidad uniformemente distribuida a lo largo de la soldadura; causada por la aplicación de una

técnica de soldadura incorrecta o por materiales defectuosos. Si la soldadura se enfría lo suficientemente lento para permitir que la mayor parte del gas pase a la superficie antes de la solidificación, habrá unos pocos poros en la soldadura.

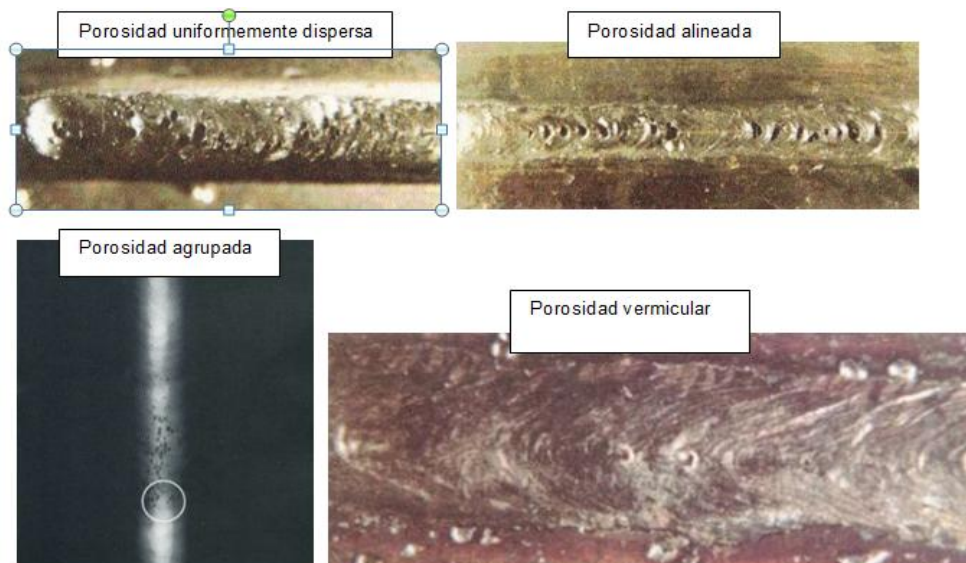
- b) Porosidad agrupada (“Clusterporosity”).** Es un agrupamiento localizado de poros. Generalmente resulta por un inicio o fin inadecuado del arco de soldadura.

- c) Porosidad alineada (“Linear porosity”).** Frecuentemente ocurre a lo largo de la interface metal de soldadura / metal base, la interface entre cordones de soldadura, o cerca de la raíz de soldadura, y es causada por la contaminación que provoca el gas por su evolución en esos sitios.

- d) Porosidad vermicular o tipo gusanos (“Pipingporosity”).** Es un poro de gas alargado. Este tipo de porosidad de soldadura se extiende desde la raíz hasta la superficie de la soldadura.

En la figura 5 se pueden observar las 4 porosidades anteriormente mencionadas.

Figura 5. Porosidades



Fuente:
Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en:
<http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>.(López, 2014)

2.5.2. Inclusiones (“*Inclusions*”).

- a) Inclusiones de escoria (“Slaginclusions”): Son sólidos no metálicos atrapados en el metal de soldadura o entre el metal de soldadura y el metal base. Pueden encontrarse en soldaduras hechas por cualquier proceso de arco. En general, estas inclusiones resultan por fallas en la técnica de soldadura, en el diseño de la junta tal que no permita un acceso adecuado, o en una limpieza inadecuada entre los cordones de
- b) Inclusiones de Tungsteno Son partículas de Tungsteno atrapadas en el metal de soldadura y son exclusivas del proceso GTAW (TIG).

Dichas inclusiones aparecen como manchas claras en la radiografía, pues el Tungsteno es más denso que el acero y absorbe más radiación; se adjunta una vista de una placa radiográfica con inclusiones de tungsteno.

En la figura 6 se pueden observar las inclusiones anteriormente mencionadas.

Figura 6. Inclusiones



Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>.(López, 2014)

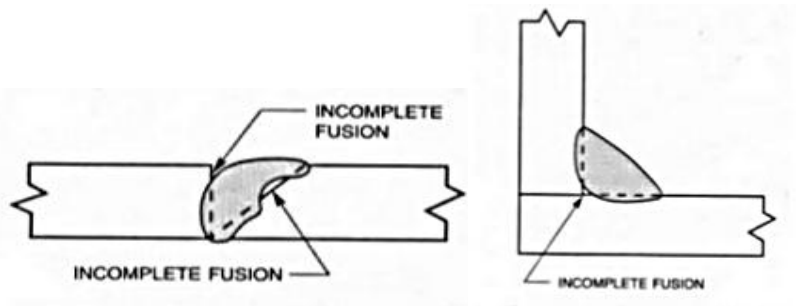
2.5.3. Fusión incompleta (“*Incompletefusion*”o falta de fusión).

Discontinuidad bidimensional causada por la falta de unión entre los cordones de soldadura y el metal base, o entre los cordones de la

soldadura. Es el resultado de la técnica de soldadura utilizada, la preparación del metal base, o diseño de la junta inapropiado.

En la figura 7 se puede observar la fusión incompleta.

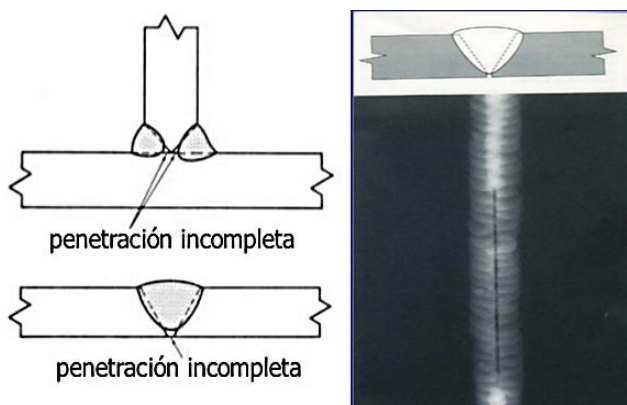
Figura 7. Fusión incompleta



Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>.(López, 2014)

2.5.4. Penetración incompleta o falta de penetración (“*Incomplete joint penetration*”). Ocurre cuando el metal de soldadura no se extiende a través de todo el espesor de la junta. El área no fundida ni penetrada es una discontinuidad descrita como “penetración incompleta”. Esta puede resultar de un insuficiente aporte de calor de soldadura, diseño de la junta inapropiado (por ejemplo demasiado espesor para ser penetrado por el arco, o chaflán insuficiente), o control lateral inapropiado del arco de soldadura. En la figura 8 se puede observar la fusión incompleta.

Figura 8. Penetración incompleta o falta de penetración



Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>.(López, 2014)

2.5.5. Grietas (“Cracks”). Ocurren en el metal base y en el metal de aporte, cuando las tensiones localizadas exceden la resistencia última del material. Según la temperatura en las que se forman, las grietas pueden clasificarse como:

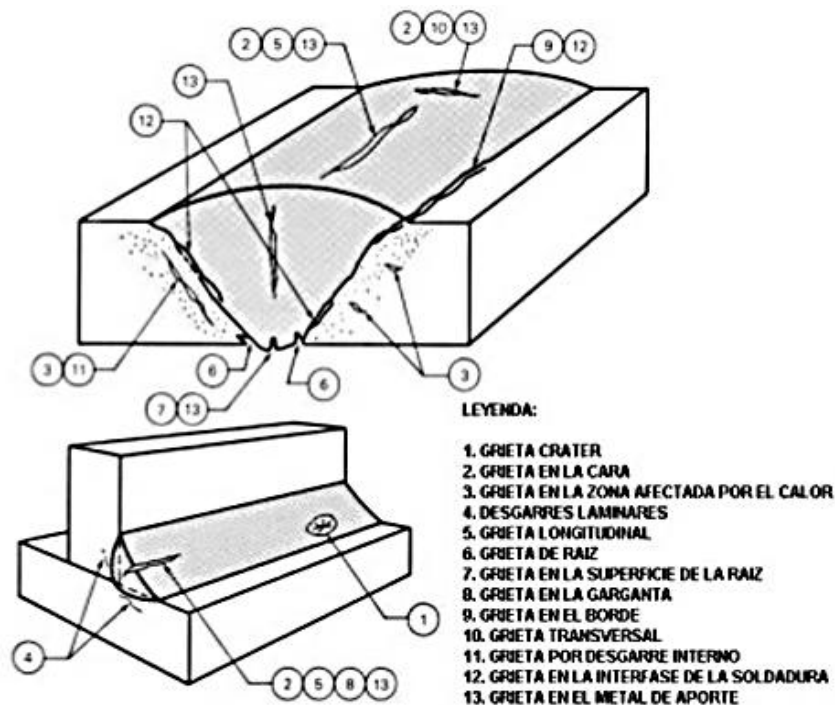
- a) Grietas en caliente
- b) Grietas en frío

Según su forma, las grietas también se pueden clasificar en:

- a) Grietas longitudinales
- b) Grietas transversales
- c) Cráteres
- d) De garganta
- e) De borde
- f) De raíz

En la figura 9 se pueden observar las formas de grietas anteriormente mencionadas.

Figura 9. Formas de grietas



Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>.(López, 2014)

2.5.6. Socavadura/mordedura (“Undercut”). Asociadas generalmente con técnicas inapropiadas y/o corrientes excesivas de soldadura. La socavadura es una muesca o canaleta o hendidura ubicada en los bordes de la soldadura; es un concentrador de tensiones y además disminuye el espesor de las planchas o tubos, todo lo cual es perjudicial. Pueden darse en la raíz o en la cara de la soldadura. En la figura 10 se pueden observar las formas de mordeduras anteriormente mencionadas.

Figura 10. Socavado

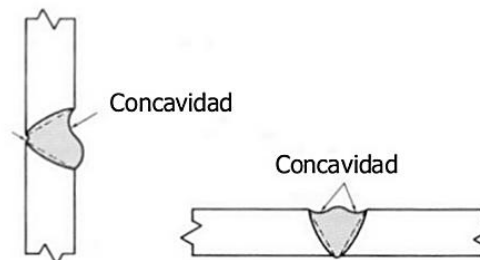


Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>.(López, 2014)

2.5.7. Concavidad (“Underfill”) Se produce cuando el metal de soldadura en la superficie de la cara externa, o en la superficie de la raíz interna, posee un nivel que está por debajo de la superficie adyacente del metal base.

En la figura 11 se pueden observar la concavidad.

Figura 11. Concavidad



Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>.(López, 2014)

2.5.8. Garganta insuficiente (“Insufficientthroat”). Puede ser debido a una depresión en la cara de la soldadura de filete, disminuyendo la garganta, cuya dimensión debe cumplir la especificación dada por el proyectista para el tamaño del filete. Las fallas del soldador pueden ser:

- a) No obtener fusión del metal base en la raíz de la soldadura, o b) no depositar suficiente metal de relleno en el área de garganta (en la cara del filete).

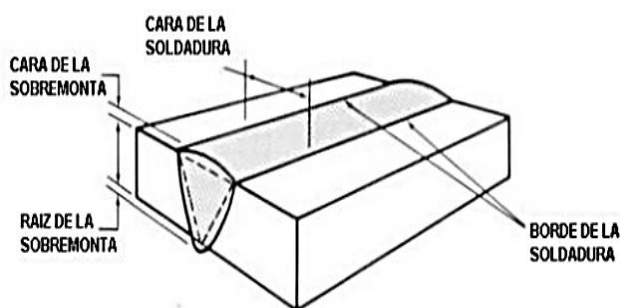
2.5.9. Catetos demasiado cortos (“Insufficientlegs”). Es un tamaño menor que el adecuado para su uso en los catetos de la soldadura de filete. Es de índole similar a la discontinuidad anterior.

2.5.10. Solape (“Overlap”) (Metal de soldadura apoyado sobre el metal base sin fundirlo). Es la porción que sobresale del metal de soldadura más allá del límite de la soldadura o de su raíz. Se produce un falso borde de la soldadura, estando el metal de soldadura apoyado sobre el metal base sin haberlo fundido. Puede resultar por un deficiente control del proceso de soldadura, errónea selección de los materiales, o preparación del metal base inapropiados.

2.5.11. Sobremonta excesiva (“Weld reinforcement”). La sobremonta es un concentrador de tensiones y, además, un exceso de ésta aumenta las tensiones residuales, presentes en cualquier soldadura, debido al aporte sobrante.

En la figura 12 se pueden observar la sobremonta excesiva.

Figura 12. Sobremonta excesiva



Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>.(López, 2014)

2.5.12. “Laminaciones” (“Laminations”). Son discontinuidades planas y alargadas en el metal base, encontrándose normalmente en la parte media del espesor de los materiales forjados (como lo son las planchas de acero utilizadas para construcción de recipientes o tanques, que se producen por laminado (rolado), el cual es un proceso de forja).

En la figura 13 se pueden observar las laminaciones.

Figura 13. Laminaciones

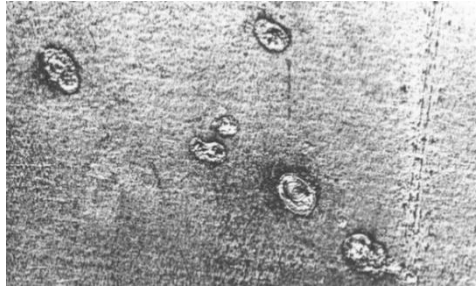


Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>.(López, 2014)

2.5.13. Fisuras laminares (“Lamellar tears”). Son fracturas en forma de terraza en el metal base, con orientación básicamente paralela a la superficie forjada. Son causadas por altos esfuerzos en la dirección del espesor que resultan del proceso de soldadura.

2.5.14. Golpes de arco / apertura de arco / arranque de arco / chisporroteo (en el material base fuera de la soldadura) (“Arc strike”). Imperfección localizada en la superficie del metal base, caracterizada por una ligera adición o falta de metal, resultante de la apertura accidental del arco eléctrico. Normalmente se depositará sobre el metal base una serie de pequeñas gotas de material fundido que pueden originar microfisuras. En la figura 14 se pueden observar los golpes de arco.

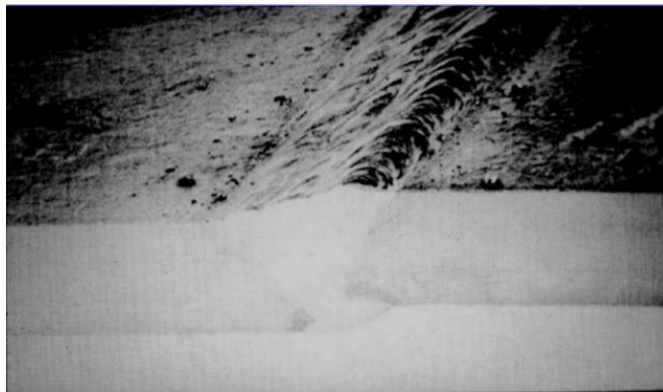
Figura 14. Golpes de arco



Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>.(López, 2014)

2.5.15. Desalineación (“High – Low”). Esta discontinuidad se da cuando en las uniones soldadas a tope las superficies que deberían ser paralelas se presentan desalineadas. En la figura 15 se pueden observar la desalineación. En la figura 15 se pueden observar la desalineación.

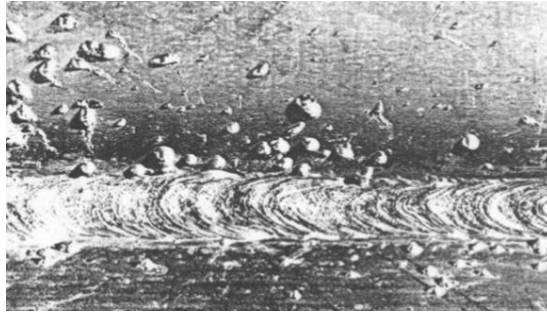
Figura 15. Desalineación



Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>.(López, 2014)

2.5.16. Salpicaduras (“Spatter”). Son glóbulos de metal de aporte transferidos durante la soldadura y adheridos a la superficie del metal base, o a la zona fundida ya solidificada. Es inevitable producir cierto grado de salpicaduras, pero deben limitarse eliminándose, aunque únicamente sea por estética de la superficie soldada. En la figura 16 se pueden observar las salpicaduras.

Figura 16. Salpicaduras



Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>.(López, 2014).

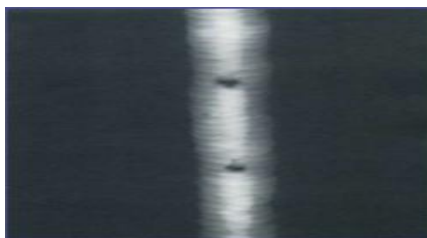
2.5.17. Penetración excesiva (“Excessive penetration”). En una soldadura simple desde un solo lado (típicamente soldaduras de tuberías), esta discontinuidad representa un exceso de metal aportado en la raíz de la soldadura que da lugar a descolgaduras de metal fundido.

2.5.18. Rechupes (de cráter). Es la falta de metal de soldadura resultante de la contracción de la zona fundida, localizada en la cara de la soldadura.

2.5.19. Porosidad alargada en la raíz (“Hollow - bead porosity (HB)”). Es definida como una porosidad alargada alineada a lo largo de la línea central de la soldadura que ocurre a lo largo del cordón de raíz de la soldadura.

2.5.20. Quemón (“Burn - Through (BT)”). Es definida como una porción del cordón de raíz donde una excesiva penetración ha causado que el metal de soldadura sea soplado hacia el interior, o puede que se descuelgue un excesivo metal fundido. Suele presentarse como una depresión no alargada, en forma de cráter, en la raíz. En la figura 17 se pueden ver este defecto.

Figura 17. Quemón



Fuente: Discontinuidades y defectos en soldadura [En Línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>.(López, 2014)

2.6 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END)(Tecnicontrol S.A, 2014)

Los ensayos no destructivos tienen como objetivo detectar discontinuidades superficiales e internas de los materiales. Los ensayos no destructivos (END) son herramientas fundamentales en el control de calidad o garantía de calidad de materiales, soldaduras, equipos, piezas o partes. La mayor parte de los END se diseñan para encontrar discontinuidades.

Los END son aplicables en conjunto para detectar todos los tipos de discontinuidades, eso quiere decir que el uso de un ensayo no excluye el uso de otros. Los END más comunes utilizados en la industria, se clasifican de acuerdo con el alcance que estos tengan para la detección de discontinuidades como sigue:

Discontinuidades Superficiales:

- Inspección visual.
- Ensayo de líquidos penetrantes.
- Ensayo por partículas magnéticas.

Discontinuidades Internas:

- Ensayo ultrasónico.
- Ensayo radiográfico.

2.6.1 Discontinuidades Superficiales:

2.6.1.1 Inspección visual. También llamada VT por sus siglas en ingles Visual Testing, es el método más usual y frecuente, ya que se puede obtener información inmediata de la condición superficial de los materiales que se estén inspeccionando, con el simple uso del ojo humano y en algunos casos, con la ayuda de algún dispositivo óptico como lupas o lentes, ya sea para mejorar la percepción visual o para proporcionar contacto visual en zonas de difícil acceso.

La inspección visual es el primer paso de cualquier evaluación a realizar. En general, los END establecen como requisito previo realizar una inspección de este tipo.

La inspección visual es utilizada para los siguientes propósitos:

- La inspección del interior de objetos transparentes, tales como vidrio, cuarzo, algunos plásticos, líquidos y gases.
- Detectar errores en el proceso de manufactura.

- Obtener información acerca de la condición de un componente que muestra evidencia de un defecto.
- Dar una valoración total de la condición de una pieza, estructura, componente o sistema.
- Proveer una detección temprana antes que una discontinuidad alcance un tamaño crítico y perjudicial.

Descubrir y reparar los defectos a tiempo resulta en una reducción de costos importante. Se ha comprobado que un programa consistente de Inspección Visual, por ejemplo antes, durante y después de la soldadura, puede resultar en el descubrimiento de la mayoría de todos los defectos que se podrían detectar con el uso de métodos de prueba más extensos y costosos(Tecnicontrol S.A, 2014).

Las ventajas de la inspección visual son:

- Portátil.
- Se puede usar en combinación con otros métodos.
- Bajo costo con resultados inmediatos.
- No requiere equipo de seguridad.

Las principales desventajas de la inspección visual son:

- Sólo identifica defectos superficiales.
- La superficie debe estar totalmente limpia.
- Se debe tener acceso visual.
- Depende de la agudeza visual del inspector.
- Es susceptible a fallas humanas.

2.6.1.2 Ensayo de líquidos (o tintas) penetrantes. Este tipo de END se utiliza para detectar discontinuidades presentes en la superficie de los materiales inspeccionados. Generalmente, es empleado en aleaciones no ferrosas, también se puede utilizar para la inspección de materiales ferrosos, cuando otros tipos de ensayos no destructivos son difíciles de aplicar, este ensayo consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie del material que va a ser

inspeccionado, el cual debido al fenómeno de la capilaridad⁴ tiene la capacidad de penetrar en cualquier tipo de discontinuidad que pudiera existir. Después de un determinado tiempo, el exceso de líquido penetrante es removido, seguido de esto se aplica un revelador, el cual absorbe el líquido que ha penetrado en las discontinuidades haciendo que estas se hagan visibles en la superficie del material (Tecnicontrol S.A, 2014).

Ventajas de los líquidos penetrantes:

- Son utilizados en una gran variedad de materiales.
- Su empleo es relativamente fácil.
- Bajo costo respecto a los demás.
- La geometría de las piezas no representa un problema.
- Portátiles.
- Permiten cubrir un área muy grande en poco tiempo.
- Capacitación en poco tiempo.

Desventajas de los líquidos penetrantes:

- Limitaciones graves en materiales porosos.
- Sólo sirve para defectos superficiales.
- La superficie de trabajo debe estar suficientemente limpia.
- Acceso directo a la superficie a inspeccionar.
- Por si mismas no proporcionan un registro permanente.
- El área de trabajo debe tener una buena ventilación.
- Depende de factores humanos.
- Compatibilidad química entre los líquidos y el material.

⁴ Capilaridad: propiedad física de un líquido en virtud de la cual este sube o baja al entrar en contacto con un cuerpo; sus efectos son visibles en el interior de un tubo capilar o entre dos laminas muy próximas

2.6.1.3 Ensayo de partículas magnéticas. La inspección por partículas magnéticas (PM) es un tipo de END que permite detectar discontinuidades superficiales y sub-superficiales en materiales ferromagnéticos como el hierro, el cobalto y el níquel. Debido a su baja permeabilidad magnética⁵, no se aplica ni en los materiales paramagnéticos (como el aluminio, el titanio o el platino) ni en los diamagnéticos (como el cobre, la plata, el estaño o el zinc)(Tecnicontrol S.A, 2014).

Los defectos que se pueden detectar son únicamente aquellos que están en la superficie o a poca profundidad.

Este método es ampliamente utilizado a nivel industrial, donde algunas de sus principales aplicaciones se encuentran en:

- El control de calidad o inspección de componentes maquinados.
- La detección de discontinuidades en la producción de soldaduras.
- En los programas de inspección y mantenimiento de componentes críticos en plantas químicas y petroquímicas, como en recipientes a presión, tuberías o tanques.

2.6.2 Discontinuidades externas

2.6.2.1 Inspección por Ultrasonido.El método de Ultrasonido se basa en la generación, propagación y detección de ondas elásticas (sonido) a través de los materiales, ya que por principio las ondas ultrasónicas pueden propagarse a través de todos los medios donde exista materia (Tecnicontrol S.A, 2014).

La realización del ensayo por ultrasonido requiere una serie de etapas, las cuales deben ser realizadas por personal altamente capacitado y entrenado en este ensayo. Sus principales aplicaciones consisten en:

- Detección y caracterización de discontinuidades.
- Medición de espesores, extensión y grado de corrosión.
- Determinación de características físicas, tales como: estructura metalúrgica, tamaño de grano y constantes elásticas.

⁵Permeabilidad magnética:En física se denomina permeabilidad magnética a la capacidad de una sustancia o medio para atraer y hacer pasar a través de ella campos magnéticos.

Las principales ventajas de este ensayo son:

- Poca dependencia de la geometría de la pieza, bastando el acceso a una sola cara.
- Posibilidad de inspeccionar volumétricamente el material.
- Rapidez del examen y resultado inmediato.
- Utilización de equipos portátiles.

2.6.2.2 Ensayo Radiográfico. Este END es utilizado para inspeccionar materiales en busca de discontinuidades macroscópicas y variaciones en su estructura interna; este ensayo se basa en la radiación electromagnética de onda corta, que tiene la propiedad de penetrar diversos materiales sólidos, generando una imagen de la estructura interna del material a inspeccionar. El principio de esta técnica consiste en hacer pasar energía proveniente de los rayos gamma o rayos X a través de una pieza, lo que hace que dicha energía sufra una atenuación proporcional al espesor, densidad y estructura del material inspeccionado. Posteriormente la energía que logra atravesar el material es registrada utilizando una placa fotosensible de la cual se obtiene una imagen del área que se desee estudiar (Ricardo Salazar)

Los ensayos END aplicables a este proyecto son Inspección visual y Ensayo de líquidos penetrantes

2.7 ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Los ensayos destructivos son pruebas que se realizan en los materiales, tanto ferrosos como no ferrosos; esto con el objetivo de comprobar o determinar sus propiedades físicas y mecánicas principalmente. Se denominan ensayos destructivos debido a que estos producen una transformación irreversible del material en el que se realizan las pruebas, estas transformaciones se presentan en la composición química, mecánica o de la geometría dimensional de dicho material (GRUPO DASAMI, 2015).

Ventajas de los ensayos destructivos

- Permiten identificar de una forma aproximada las propiedades mecánicas del material (resistencia a la fractura, ductilidad, módulo de elasticidad)

- Definición de las propiedades mecánicas del material en función de los diferentes tipos de esfuerzos a los que se somete, esfuerzos como tensión, compresión, corte, esfuerzos dinámicos, de impacto, etc.
- El costo de los equipos para la realización de ensayos destructivos son más económicos que los equipos utilizados en los ensayos no destructivos.
- Posibilidad de comparar materiales mediante este tipo de ensayos

Desventajas de los ensayos destructivos

- No permiten identificar defectos internos (burbujas, delaminaciones, espesor incorrecto) del material.
- Se necesitan realizar probetas simulando el mismo proceso (preparación superficial, condiciones ambientales), las cuales no se pueden volver a reutilizar una vez ensayadas (GRUPO DASAMI, 2015).

Los principales ensayos destructivos son(WEST ARCO, 2014):

2.7.1 Ensayo de tracción. Con este ensayo se puede obtener información sobre el comportamiento mecánico de los materiales. Por medio de una máquina de ensayos se deforma una probeta del material a analizar, aplicando una fuerza axial en el sentido del eje de la muestra, a medida que se está deformando la probeta, se va registrando la fuerza, llegando generalmente hasta la fractura de la pieza, finalmente el resultado inmediato es una curva de carga frente a alargamiento, y esto aporta una información más general del comportamiento estructural de esta.

Mediante este ensayo se efectúa la calificación de procedimientos de soldadura. En la calificación de estos procedimientos el objetivo de este ensayo es el de verificar el comportamiento del cordón de soldadura, o sea que esté libre de discontinuidades y que tenga una resistencia mayor o igual al del metal base.

2.7.2 Ensayo de dureza. El ensayo de dureza determina la resistencia que oponen los materiales a ser penetrados o rayados por cuerpos más duros.

En las uniones soldadas se determina la dureza, en la mayoría de los casos en la zona afectada por el calor (ZAC), para evitar riesgos de fisuraciones generadas por las altas temperaturas que se dan y por los enfriamientos rápidos que puedan ocurrir; es por esto que se realizan los ensayos de dureza en la zona más frágil o crítica con el fin de poder programar los correspondientes controles como, por ejemplo, el precalentamiento de las piezas.

Existen tres escalas básicas utilizadas en ensayos de dureza, estas son:

1. Dureza Brinell
2. Dureza Rockwell
3. Vickers

En el caso de necesitarse estudiar la dureza de componentes más finos presentes en las uniones soldadas, como fases o partículas precipitadas, se hace necesario el uso de la microdureza y hasta de la nanodureza.

2.7.3 Ensayo de Impacto Charpy. El ensayo de impacto Charpy consiste en determinar el comportamiento de los materiales bajo impacto. El ensayo consiste en golpear con una masa de valor conocido una probeta previamente preparada y ubicada en el soporte de la máquina de ensayo. Este ensayo permite conocer cuál podría ser el comportamiento de los materiales cuando están sometidos a condiciones extremas de servicio principalmente a impactos. El ensayo permite evaluar la tenacidad o resistencia al impacto de material.

2.7.4 Ensayo de sanidad de soldaduras(WEST ARCO, 2014). Este grupo de ensayo tiene como objetivo determinar la sanidad de la soldadura, esto es, que esté libre de discontinuidades. Estos ensayos se utilizan generalmente en la calificación de procedimientos de soldadura y en la calificación de soldadores.

Los ensayos que sirven para este propósito son:

- Ensayo de resistencia al doblado de cara o de raíz
- Ensayo de Nick-Break
- Ensayo de ruptura de filete

2.7.4.1 Ensayo de resistencia al doblado. Existen diferentes tipos de ensayos de doblado, dependiendo de la orientación de la soldadura respecto al doblado. Existen tres tipos de ensayos para doblado transversal que son:

- Doblo de cara.
- Doblo de raíz.
- Doblo lateral.

En este ensayo, la soldadura se encuentra perpendicular a la dirección longitudinal de la probeta, y su nombre se refiere al lado de la soldadura que es puesto en tensión durante el ensayo; esto es, la cara de la soldadura es estirada en el doblado

de cara, raíz es estirada en el dobléz de la raíz y el lado de la sección transversal de la soldadura estirada en el dobléz lateral.

El ensayo de dobléz se realiza generalmente utilizando algún tipo de dispositivo.

Existen tres tipos básicos:

- Doblez guiado estándar.
- Doblez guiado equipado con rodillo.
- Doblez guiado mediante enrollado.

El dispositivo de dobléz guiado estándar consiste en un punzón y un lado en forma de “u” para realizar el ensayo de dobléz.

El espécimen se coloca sobre los hombros del dado con el lado que se pondrá en tensión hacia la parte interior del dado. El punzón se coloca sobre el área de interés y se aplica la fuerza para doblar el espécimen hasta 180 y que tiene la forma de “u”. Posteriormente el espécimen es removido y evaluado.

El último tipo de dispositivo es el de dobléz guiado mediante enrollado, el cual toma su nombre debido a que el espécimen es doblado por un rodillo alrededor de otro fijo. Este tipo de dispositivo es muy útil para doblar especímenes que tengan diferente resistencia del metal base y de la soldadura.

2.7.4.2 Ensayo de Nick-Break. Este ensayo es usado exclusivamente por el código API 1104 que se utiliza principalmente en la industria petrolera, para la calificación de los procedimientos y soldadura de tuberías de conducción. Este método evalúa la sanidad de la soldadura, mediante la posible presencia de discontinuidades en la superficie de fractura del espécimen ensayado. La fractura se localiza en la soldadura mediante 2 o 3 ranuras a lo largo de la superficie.

2.7.4.3 Ensayo de ruptura de filete. Como los demás tipos de ensayo mencionados, este ensayo de sanidad se utiliza principalmente en la clasificación de soldadura.

Mediante este ensayo, el supervisor verifica que la soldadura muestre una apariencia superficial satisfactoria además, inspecciona la superficie fracturada para asegurarse que la soldadura presenta evidencia de fusión en la raíz y no muestra áreas de fusión incompleta de la soldadura con el metal base o porosidades en la soldadura.

2.7.5 Ensayo de resistencia a la corrosión en cámara de niebla salina. Este es uno de los diferentes ensayos que se tienen para evaluar la resistencia a la corrosión y se clasifica como un ensayo destructivo debido a que el material se expone a un ambiente altamente corrosivo el cual puede alterar las propiedades del material. Los ensayos de niebla salina también conocidas como corrosión salina, han sido un ensayo y punto de referencia para muchas industrias a lo largo de décadas. Por tanto, permanecen como una opción muy popular para realizar pruebas comparativas, relativamente rápidas, que comprueban si las muestras se corroen o no de acuerdo con lo esperado (ascott, 2013).

Básicamente, el procedimiento involucra el pulverizado de una solución salina sobre las muestras a ensayar. Esto se hace en una cámara con temperatura controlada. El medio es una solución salina al %5 (cloruro de sodio – NaCl). Las muestras a ensayar son introducidas a la cámara, luego la solución salina es pulverizada como una niebla muy delgada sobre las muestras. La temperatura en la cámara se mantiene en un nivel constante. Como el pulverizado es continuo, las muestras están húmedas constantemente, y por eso están sujetas a la corrosión constantemente (GalvInfo Center , 2007).

Los ensayos destructivos ED, que se realizarán en este proyecto según, los requerimientos hechos por la empresa Ingeniar Inoxidables de Pereira son:

- Tracción, Doblez de raíz, Doblez de cara y exposición a la cámara de niebla salina.

Por otra parte, los materiales a los cuales se les van a realizar el estudio de la soldabilidad, según las necesidades de la empresa Ingeniar Inoxidables de Pereira, son el acero inoxidable SAE-AISI 304 soldado a un acero estructural ASTM-A36, por esta razón se hace un breve resumen de estos materiales en lo que tiene que ver con sus características principales.

2.8. Acero Inoxidable AISI-SAE 304

Los aceros inoxidables son aleaciones de hierro con un mínimo de 10,5% de cromo. Sus características se obtienen mediante la formación de una película adherente e invisible de óxido de cromo. La aleación 304 es un acero inoxidable austenítico de uso general, con una estructura cúbica de caras centradas. Es esencialmente no magnético en estado recocido y sólo puede endurecerse en frío. Su bajo contenido en carbono le otorga una mejor resistencia a la corrosión en estructuras soldadas (Goodfellow, 2008).

El Acero Inoxidable 304 tiene excelentes propiedades para el conformado y el soldado. Se puede usar para aplicaciones de embutición profunda, de rolado y de corte. Tiene buenas características para la soldadura. En la tabla 2 se presenta la composición química del Acero Inoxidable 304 en estado de suministro (Sumitec. Suministros técnicos S.A).

Tabla 2. Composición química del Acero Inoxidable 304 en estado de suministro.

%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%P	%S
0,08	2	1	18- 20	8- 10,5	0,045	0,03

Fuente. Composición química del Acero Inoxidable 304 en estado de suministro [En línea]. (Sumitec. Suministros técnicos S.A)

Los principales elementos de aleación de los aceros inoxidable son el cromo, el níquel y el molibdeno; en la tabla 3 se evidencia la influencia que tienen estos en sus propiedades.

Tabla 3. Principales elementos de aleación del acero inoxidable y su influencia

CROMO	NIQUEL	MOLIBDENO
Formador de ferrita y carburos	Formador de Austenita	Formador de ferrita y carburos
<ul style="list-style-type: none"> Principal responsable de la resistencia a la corrosión y de la formación de la película de óxido. No presenta aporte significativo en la resistencia a altas temperaturas 	<ul style="list-style-type: none"> Mejora la resistencia general a la corrosión en líquidos no oxidantes. Mejora la tenacidad y la ductilidad. Se añade a los grados con cromo para mejorar las propiedades mecánicas. Aumenta la resistencia eléctrica, 	<ul style="list-style-type: none"> Mejora la resistencia a temperaturas elevadas. Mejora la resistencia general a la corrosión en medios no oxidantes, y la resistencia a la corrosión por picadura en todos los medios.

	<p>la fatiga y aumenta la capacidad de ser soldado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reduce la conductividad del calor 	
--	---	--

Fuente. Principales elementos de aleación del acero inoxidable y su influencia [En línea] (INDURA S.A., Industria y Comercio, 2010)

Propiedades mecánicas del Acero Inoxidable 304. En la tabla 4, se presenta el valor de algunas de las propiedades mecánicas del Acero Inoxidable 304 en estado de suministro.

Tabla 4. Propiedades mecánicas del Acero Inoxidable 304 en estado de suministro.

Resistencia a la fluencia	310 MPa (45 Ksi)
Resistencia máxima	620 MPa (90 Ksi)
Elongación	30 % (en 50 mm)
Reducción de área	40%
Módulo de elasticidad	220 GPa (29000Ksi)

Fuente. Composición química del Acero Inoxidable 304 en estado de entrega [En línea] (Sumitec. Suministros tecnicos S.A).

Debido a sus propiedades físicas, químicas y mecánicas; el acero inoxidable AISI-SAE 304 tiene una gran cantidad de ventajas, las cuales se relacionan en la tabla 5.

Tabla 5. Ventajas del acero Inoxidable 304

VENTAJAS	EXPLICACION DETALLADA
Resistencia a la corrosión	Los aceros inoxidable altamente aleados pueden resistir la corrosión en la mayoría de los medios ácidos, incluso a elevadas temperaturas.
Resistencia a la alta y baja temperatura	Resisten grandes variaciones térmicas y mantendrán alta resistencia a temperaturas muy altas.
Facilidad para la fabricación	Pueden ser cortados, soldados, forjados y mecanizados con resultados satisfactorios.
Resistencia mecánica	La característica de endurecimiento por trabajo en frío de este acero inoxidable se usa en el diseño para reducir espesores, y así los costos.
Estética	Está disponible en muchas terminaciones superficiales. Se mantiene fácilmente dando por resultado una alta calidad.
Propiedades higiénicas	La facilidad de limpieza lo hace la primera opción en hospitales, cocinas e instalaciones alimenticias y farmacéuticas.
Ciclo de trabajo	Es durable, y es la opción más barata considerando el ciclo vital.

Fuente. Ventajas del acero inoxidable [En línea] (INDURA S.A., Industria y Comercio, 2010).

2.9 Acero estructural ASTM-A36

El acero suave (de bajo porcentaje de carbono), es el tipo más común de acero utilizado en la construcción, la manufactura y muchas otras industrias para la fabricación de estructuras estáticas. De los aceros al carbono, el acero ASTM A36 es una de las variedades más comunes en parte debido a su bajo costo, además ofrece una excelente resistencia y fuerza para un acero bajo en carbono y aleación. Aunque es propenso a la oxidación.

El acero ASTM A36 es un acero estructural al carbono, utilizado en construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, herrajes eléctricos y señalización. En la tabla 6 se presenta la composición química de este acero en estado de suministro.

Tabla 6. Composición química del Acero estructural ASTM A-36 en estado de suministro.

%Fe	%C	%Mn	%Cu	%P	%S	%Si
98- 99	0,26 Máximo	0,8- 0,9	0,2 Mínimo	0,04 Máximo	0,05 Máximo	0,40 Máximo

Fuente. Autoras

Propiedades físicas del acero ASTM-A36. En la tabla 7 se presentan algunas propiedades físicas y mecánicas del acero estructural ASTM-A36

Tabla 7. Propiedades físicas y mecánicas del acero estructural ASTM-A36

Densidad (ρ)	<ul style="list-style-type: none">• $7,85 \text{ g/cm}^3$• $0,284 \text{ lb/in}^3$
Módulo de Elasticidad (E)	<ul style="list-style-type: none">• 200 GPa• 29000 Ksi (199.948,01 MPa)
Módulo de cizallamiento (G)	<ul style="list-style-type: none">• 79,3 GPa• 11500 Ksi (79.289,73 MPa)

Fuente. Autoras

Debido a que el acero A36 tiene una composición química simple, es muy fácil de soldar, lo que lo convierte en un material estructuralmente atractivo. Las aplicaciones comunes del acero estructural A-36 se presentan en la construcción, y es moldeado en perfiles y láminas usadas en: edificios e instalaciones industriales; cables para puentes colgantes, atirantados y concreto reforzado; varillas y mallas electrosoldadas para el concreto reforzado; láminas plegadas usadas para techos y pisos.

2.10 DOCUMENTACIÓN PARA ESTANDARIZACIÓN DE PROCESOS DE SOLDADURA (Revista Metal Actual, 2013).

El correcto diligenciamiento y puesta en práctica de formatos que califican procedimientos de soldadura, enmarcados en normativas internacionales como el código ASME⁶, generan un impacto positivo en la competitividad del sector, con soldadores y procesos de alta calidad.

Para estandarizar un procedimiento de soldadura, que cumpla con los parámetros de calidad requeridos por la industria metalmeccánica, es necesario diligenciar, poner en práctica y avalar, los documentos WPS⁷, PQR⁸ y WPQ⁹, enmarcados en el código internacional ASME, en los cuales se determinan minuciosamente, los pormenores del proceso de soldadura a desarrollar, materiales necesarios para su implementación, y las condiciones por las que se debe guiar el soldador.

Implementar estos formatos, permite mantener un proceso de soldadura en las mismas condiciones durante varios años, sin afectar la calidad del trabajo, ni la rotación de soldadores, puesto que cualquier operario, podrá adelantar el procedimiento de soldadura, guiado por el documento generado por la empresa, con resultados constantes, eficientes y productivos, haciendo que las mejoras en cuanto a eficiencia y calidad de sus productos, se reflejen al alcanzar menores costos operativos en el desarrollo de un producto.

De igual manera, el correcto diligenciamiento de estos documentos permite un control constante y preciso de las capacidades de los soldadores, dentro de las empresas-o nuevas contrataciones- y determinar el grado de competencia y calidad en los procesos que estos desarrollen, puesto que los soldadores, deben tener niveles de destreza cada vez más altos, con miras al desarrollo competitivo de esta actividad.

⁶ ASME: American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecanicos).

⁷ WPS: Welding Procedure Specification (Especificación del Procedimiento de Soldadura).

⁸ PQR: Procedure Qualification Record (Registro de Calificación del Procedimiento).

⁹ WPQ: Welder Performance Qualification (Calificación de habilidad de soldadores).

El diligenciamiento de estos formatos, se deberá adelantar cada vez que se requiera un proceso de soldadura con parámetros diferentes, -materiales, tiempos posiciones- y en aquellos procedimientos, que tienen elementos y lineamientos iguales, aprobadas por la empresa, el soldador, se puede guiar por el documento, que estandarizó el procedimiento con anterioridad.

En el primero de estos documentos, conocido como especificación de procedimiento de soldadura, (*WPS: WeldingProcedureSpecification*), las empresas deben especificar y delimitar los parámetros, materiales, maquinaria y posiciones adecuadas para generar una labor de soldadura óptima y de alta calidad.

El formato, registro de calificación de procedimiento (*PQR: ProcedureQualification Record*) necesario para una estandarización de proceso, requiere de un inspector calificado en Nivel II, que evalúe en este documento el desarrollo del procedimiento de soldadura, permitiendo contrastar los datos registrados en el WPS, con los utilizados por el soldador, y determinar si la soldadura se generó bajo los parámetros de calidad requeridos por la empresa, o es necesario realizar un nuevo procedimiento.

Por último, el correcto diligenciamiento del documento de calificación de funcionamiento de soldador (*WPQ: WelderProcedureQualification*), permite evaluar el desempeño del soldador, contrastando la valoración resultante en este paso, con los dos anteriores formatos, que permitan validar la totalidad del procedimiento, y determinar la viabilidad de su estandarización.

2.11.NORMATIVIDAD Y CODIGO ASME SECCIÓN IX(Rodriguez, 2013)

La normatividad toma las principales variables que intervienen en el proceso de fabricación de un producto específico, también es un conjunto de definiciones y directrices técnicas que funcionan como instrucciones para los diseñadores, fabricantes u operadores. Un estándar se convierte en un código cuando ha sido adoptado por uno o varios organismos gubernamentales y puede ser exigido por la ley, o cuando se ha incorporado a un contrato comercial.

El código ASME para calderas y recipientes a presión (*Boiler & PressureVesselcode (BPVC)*), está conformado por 12 secciones. Para la realización de este trabajo de grado se utilizaráel correspondiente a la Sección IX - Soldadura: Desarrollo y calificación de Procedimientos y Soldadores.

A continuación se dará una explicación acerca de la sección mencionada:

2.11.1 Sección IX del código ASME

Clasificación de soldaduras y *Brazing*. (Se refiere específicamente a soldadura, calificación de procedimientos de soldadura para recipientes de presión). La sección IX establece los criterios básicos para la soldadura y *brazing* (soldadura fuerte) que son observados en la preparación de la soldadura y exigencias del *brazing* que afectan el procedimiento y funcionamiento. La sección IX condiciona la afectación de la producción de soldadura o propiedades *braze* en todas las circunstancias.

La sección IX consta de dos partes principales, la QW (para calificaciones de soldadura) y la parte QB (para calificaciones en soldadura *brazing*).

Para la ejecución de este proyecto se utilizó la parte QW de la sección IX, la cual se explicará brevemente a continuación.

Parte QW

Cada una de estas partes está, a su vez, dividida en cuatro artículos y dos apéndices a saber:

Artículo I: Requerimientos generales de soldadura.

Artículo II: Calificación de procedimientos de soldadura.

Artículo III: Calificación de habilidad de soldadores.

Artículo IV: Datos de soldadura

- **Requerimientos generales de soldadura:** el propósito de la especificación de soldadura (WPS) y del registro de Calificación de procedimiento (PQR), consiste en determinar que la soldadura propuesta para la fabricación, puede dar las propiedades requeridas para la aplicación pretendida.

Las pruebas o ensayos mecánicos, tanto destructivos como no destructivos, más importantes para determinar que la soldadura a evaluar tenga las propiedades requeridas para su uso y aplicación según la parte QW de la sección IX son:

QW-141 PRUEBAS MECANICAS: esta parte incluye los ensayos mecánicos ED que deben ser realizados para la calificación del procedimiento de soldadura o habilidades del soldador, estos ensayos son:

1. Ensayo de tracción.
2. Ensayo de doblez guiado.
3. Ensayo de impacto.
4. Ensayos en soldaduras de filete.
 - 4.1. Prueba de fractura.
 - 4.2. Macro ataque.

QW-190 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS: esta parte incluye los ensayos no destructivos que deben ser usados en la calificación del procedimiento de soldadura o habilidades del soldador, estos ensayos son:

1. Examen radiográfico (RT).
2. Examen visual (VT).
3. Examen de líquidos penetrantes (PT).

Una vez hechas las soldaduras dependiendo de su tipo, se aplican ciertas pruebas para verificar que estén bien. A partir de los resultados de dichas pruebas se debe realizar el criterio de aceptación.

➤ **Calificación de procedimientos de soldadura PQR:**

Un PQR o registro de la Calificación del Procedimiento, es un registro de los datos de la soldadura usados para soldar un cupón de prueba. Este también contiene los resultados de las pruebas de los especímenes probados.

Contenido PQR: El PQR completo deberá documentar todas las variables esenciales, y cuando se requiera, las variables esenciales suplementarias para cada proceso de soldadura usado durante la soldadura del cupón de prueba.

El PQR deberá ser certificado como verdadero por el fabricante o contratista. El fabricante o contratista no podrá subcontratar la función de certificación. Esta certificación es la manera de verificar por parte del fabricante o contratista que la información en el PQR es un registro verdadero de las variables que fueron usadas durante la soldadura del cupón de prueba y que los resultados de las pruebas cumplen con la sección IX. En este código se presenta un formato sugerido del PQR (ver figura 18), dicho formato no es obligatorio y cada empresa puede tener el suyo.

QW-483 (Respaldo)

Prueba de Tensión (QW-150)

PQR No. _____

Especimen No.	Ancho	Espesor	Area	Carga Ultima total lb	Esfuerzo Unitario Ultimo lb/pulg. ²	Tipo de Falla y Ubicación

Pruebas de DobleZ Guiado (QW-160)

Tipo y Figura No.	Resultado

Pruebas de Tenacidad (QW-170)

Especimen No.	Ubicación de Muesca	Tipo Muesca	Temp. Prueba	Valores		Impacto Más.	Piso de Gota	
				Pt. lbs.	% Corte		Rotura	Sin Rotura

SAMPLE

Prueba de Soldadura Con Filete (QW-180)

Resultado- Satisfactorio: Si _____ No _____ Penetración dentro Metal Base: Si _____ No _____

Macro - Resultados _____

Otras Pruebas

Tipo de Prueba _____

Análisis de Depósito _____

Otros _____

Nombre del Soldador _____ No. Reloj _____ Sello No. _____

Pruebas conducidas por: _____ Laboratorio de Pruebas No. _____

Certificamos que las declaraciones de este registro son correctas y que las soldaduras de prueba fueron preparadas , soldadas y probadas de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX del Código de ASME.

Fabricante _____

Fecha _____ Per _____

(Los detalles de registro de pruebas son sólo ilustrativos y se pueden modificar para conformar con el tipo y número de pruebas requerido por el Código.)

Fuente: ASME SECCION IX- En español (ASME)

WPS: el WPS es un documento preparado y calificado por un departamento técnico o de ingeniería, el cual sirve de guía al personal que produce e inspecciona las soldaduras de producción.

Por ser un documento de ingeniería, es de obligatorio cumplimiento en todas sus partes por los diferentes departamentos de las empresas que en sus labores principales estén involucradas con soldadura.

Aspectos a considerar para elaborar y seleccionar un WPS:

- Compatibilidad entre el metal base y el metal de aporte seleccionados.
- Propiedades metalúrgicas de los metales base a soldar.
- Requisitos de tratamientos térmicos.
- Diseño de la junta y cargas.
- Propiedades mecánicas deseadas.
- Requerimientos de servicio al cual va a someterse el equipo o elemento soldado.
- Habilidad y disponibilidad de los soldadores.
- Disponibilidad de equipos.
- Ubicación de las soldaduras.
- Economía. (costo/ tiempo).

En este código se presenta un formato sugerido del WPS (ver figura 19), dicho formato no es obligatorio y cada empresa puede tener el suyo.

Figura 19. Formato sugerido para el registro de calificación de procedimiento (PQR).

QW-482 FORMATO SUGERIDO PARA ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO DE SOLDAR (WPS)
(Vea QW-200.1, Sección IX, Código de Calderas y Recipientes de Presión de la ASME)

Nombre de la Compañía _____ Por: _____
 Especificación de Procedimiento de Soldar No. _____ Fecha _____ No.(s) de QPR que Apoya (n) _____
 Revisión No. _____ Fecha _____
 Proceso(s) de Soldar _____ Tipo(s) _____
 (Automático, Manual, Con Máquina, ó Semi-Auto.)

JUNTAS (QW-402)	Detalles
Diseño de Junta _____	
Respaldo (Si) _____ (No) _____	
Material de Respaldo (Tipo) _____	
<input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Metal Que No Se funde <input type="checkbox"/> No Metálico <input type="checkbox"/> Otro	
Los Croquis, Dibujos de Producción Símbolos de Soldadura ó Descripción Escrita deberán mostrar el arreglo general de las partes que se van a soldar. En donde sea aplicable, se puede especificar el espaciamiento arreglo de raíz y los detalles de la ranura de soldar.	
(A la opción del Fabricante, se pueden anexar croquis para ilustrar diseño de junta, capas de soldadura y serie de cordones, p. ej. para procedimientos de tenacidad de muesca, para procedimientos de procesos múltiples, etc.	

***METALES BASE (QW-403)**

No. P. _____ No. Grupo _____ a No. P. _____ No. Grupo _____

O

Especificación, Tipo y Grado _____
 a Especificación, Tipo y Grado _____

O

Análisis Quím. y Prop. Mec. _____
 a Análisis Quím. y Prop. Mec. _____

Orden de Espesores:

Metal Base: Ranura _____ Filete _____
 Orden de Deám. de Tubo: Ranura _____ Filete _____
 Otros _____

***METALES DE APORTE (QW-404)**

No. Espec. (SFA) _____		
No. AWS (Clase) _____		
No. F _____		
No. A _____		
Tamaño de Metales de Aporte _____		
Metales de Soldadura		
Orden de Espesores:		
Ranura _____		
Filete _____		
Fundente de Electrodo (Clase) _____		
Nombre Comercial de Fundente _____		
Met. Inserto Consumible _____		
Otros _____		

*Otra combinación de metal base y metal de aporte se deberá registrar individualmente.

Esta forma - en Inglés - (E00809) se puede obtener del Orden Dept., ME, 22 Law Drive, Box 2380, Fairfield, NJ 07007-2380

QW-482 (Respaldo)

WPS No. _____ Rev. _____

POSICIONES (QW-405) Posición(es) de Ranura _____ Progresión de Soldadura: P. Arriba _____ P. Abajo _____ Posición(es) de Filete _____	TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR A SOLDADURA (QW-407) Orden de Temperaturas _____ Orden de Tiempos _____
---	--

PRECALENTAMIENTO (QW-406) Temp. Precaent. Mín. _____ Temp. Entre Pasos. Máz. _____ Mantenencia de Precaent. _____ (Calentamiento continuo o especial donde sea aplicable se deberá registrar)	GAS (QW-408) <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <th colspan="3">Composición en por ciento</th> </tr> <tr> <td></td> <th>Gas(es)</th> <th>(Mezcla)</th> <th>Gasto</th> </tr> <tr> <td>Protección</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Arrastre</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Respaldo</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </table>		Composición en por ciento				Gas(es)	(Mezcla)	Gasto	Protección	_____	_____	_____	Arrastre	_____	_____	_____	Respaldo	_____	_____	_____
	Composición en por ciento																				
	Gas(es)	(Mezcla)	Gasto																		
Protección	_____	_____	_____																		
Arrastre	_____	_____	_____																		
Respaldo	_____	_____	_____																		

CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)

Corriente CA ó CD _____ Polaridad _____
 Amps (Orden) _____ Volts (Orden) _____

(El orden de amps y volts se deberá registrar para cada tamaño de electrodo, posición, y espesor, etc. Esta información se puede poner en lista en forma tabular similar a la que se muestra abajo.)

Tamaño y Tipo de Electrodo de Tungsteno _____
 (Tungsteno Puro, Toriado 2% etc.)

Modo de Transfer. Metal para GMAW _____
 (Arco pulver., arco corto circ, etc.)

Orden veloc. aliment. Electrodo de Alambre _____

TECNICA (QW-410)

Cordón long. ó Cordón de valvén _____
 Tamaño Orificio o de Taza de Gas _____
 Limpieza Inicial y Entre Pasos (Cepillado, Esmerilado, etc.) _____

Método de Cincelado Posterior _____
 Oscilación _____
 Tubo de Contacto a Distancia de Trabajo _____
 Paso Múltiple ó Simple (por lado) _____
 Electrodo Múltiples ó Simple _____
 Velocidad de Recorrido (Orden de) _____
 Martillado _____
 Otros _____

Capa(s) de Soldadura	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Orden Volt.	Orden de Veloc. Recorrido	Otros (p. ej.- Notas, Comentarios, Adición de Alambre Caliente, Técnica, Angulo de Soplete, Etc.)
		Clase	Díam.	Tipo Polar	Orden Amp.			

SAMPLE

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1. Obtención de los materiales y realización de uniones soldadas.

Inicialmente se acordó con la empresa Ingeniar Inoxidables de Pereira realizar el análisis de la unión soldada disímil entre el acero estructural ASTM A-36 y el acero inoxidable AISI-SAE 304, mediante los procesos de soldadura SMAW y GTAW. Como materiales de estudio se utilizaron chapas con tres calibres diferentes, de $\frac{1}{8}$ " (3,175 mm), $\frac{3}{16}$ " (4,762 mm) y $\frac{1}{4}$ " (6,35 mm), para cada proceso de soldadura.

Para el proceso SMAW: en todos los calibres, se usó el electrodo E-309L-16 de 3/32" de diámetro (ver anexo A) y para el proceso GTAW: en todos los calibres, se usó el electrodo ER308L 3/32" de diámetro (ver anexo B).

Adicionalmente a esto, mediante experimentación con ayuda del personal de la empresa, se definieron los parámetros y las variables, tanto esenciales como no esenciales, para el desarrollo de las uniones soldadas, las cuales se especificaron en las WPS (ver anexo C) en que se basaron los soldadores para aplicar la soldadura; finalmente resultaron 6 láminas soldadas de donde se obtuvieron las probetas para las diferentes pruebas realizadas, como fueron ensayos no destructivos (visual y tintas penetrantes), mecánicos (ensayo de tracción), ensayo de sanidad (doblez de cara y de raíz) y ensayo de resistencia a la corrosión en la cámara de niebla salina, las dimensiones de las probetas para realizar los diferentes ensayos fueron proporcionadas por el personal de la empresa Ingeniar Inoxidables de Pereira, según sus criterios y necesidades (ver anexo D).

A continuación son descritos los diferentes ensayos realizados.

3.2. Ensayos no destructivos (END).

En esta etapa del proyecto se ejecutaron ensayos no destructivos, suficientes para hacer un análisis previo de la sanidad de la soldadura, estos ensayos fueron:

- No destructivos: inspección visual y tintas penetrantes.

3.2.1 inspección visual (IV): Se realizó el análisis visual, con apoyo del personal del CECEND (centro de estudios y consultorías en ensayos no destructivos y resistencia de materiales), ubicado en la universidad Tecnológica de Pereira,

Facultad de Ingeniería Mecánica. Inicialmente se inspeccionaron las piezas con los siguientes criterios:

Ensayo: sanidad de uniones

Elemento inspeccionado: láminas de acero disímil

Número de muestras: seis (6) uniones de soldadura

Clase de material: acero estructural ASTM A-36 y acero inoxidable AISI SAE 304

Fecha del ensayo: mayo 18 de 2015

Documentos de referencia: Norma NTC GTC 110:Guía para la inspección visual de soldaduras, además del uso de documentación y procedimientos internos del laboratorio.

Equipos utilizados:Galgas para inspección visual de soldadura, Paños de limpieza, cámara digital, flexómetro e implementos de seguridad.

Elementos inspeccionados: los elementos sujetos al análisis de sanidad mediante inspección visual y su designación para la elaboración de este análisis se relacionan en la tabla 8.

Tabla 8. Designación de juntas

N°	DESIGNACIÓN	MÉTODO APLICADO	
		IV	JUNTA
1	GTAW -1	X	TOPE
2	GTAW -2	X	TOPE
3	GTAW -3	X	TOPE
4	SMAW-4	X	TOPE
5	SMAW-5	X	TOPE
6	SMAW-6	X	TOPE

Fuente: Autoras.

Para la realización de la prueba visual se utilizaron las etapas descritas a seguir :

- Acondicionamiento de la superficie: Se realizó una limpieza con grata mecánica al cordón de soldadura y la zona afectada por el calor, aproximadamente 2". A continuación se limpió la superficie a inspeccionar con solvente para que estuviera libre de polvo y suciedades.
- Inspección visual: Se realizó inspección minuciosa a los diferentes cordones y se realizó el diagnóstico, con base en criterios establecidos, para determinar si había indicaciones relevantes.
- Registro de observaciones: Se diligenció un formato para el registro de observaciones.

3.2.2 Tintas penetrantes (TP): se realizó el análisis de tintas para detectar la defectología que no fue visible en la inspección visual.

Documentos de referencia:

- ASTM E165 / E165M – 12, Ensayo de tintas penetrantes (*Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry Temperature*).
- ANSI/ AWS B 1.11: 2000. Guía para la inspección visual de soldaduras (*Guide for the visual examination of welds*).
- Parte QW-195.2.2 Normas de aceptación (Examen de líquidos penetrantes) del código ASME sección IX:

Equipos utilizados:

- Kit de galgas de medición con longitudes y geometría acordes a los cordones soldadura a evaluar.
- Kit de tintas penetrantes visibles coloreadas (*Spotcheck penetrant SKL-WP2 lote N° 10L18K-SKL-SP2 y Spotcheck Developer SKD-S2*).
- Paños de limpieza, cámara digital, flexómetro e implementos de seguridad.

Elementos inspeccionados: los elementos sujetos al análisis de sanidad mediante inspección de tintas penetrantes y su designación para la elaboración de este análisis se relacionan en la tabla 9.

Tabla 9. Elementos de inspección para inspección visual (IV) y tintas penetrantes(PT)

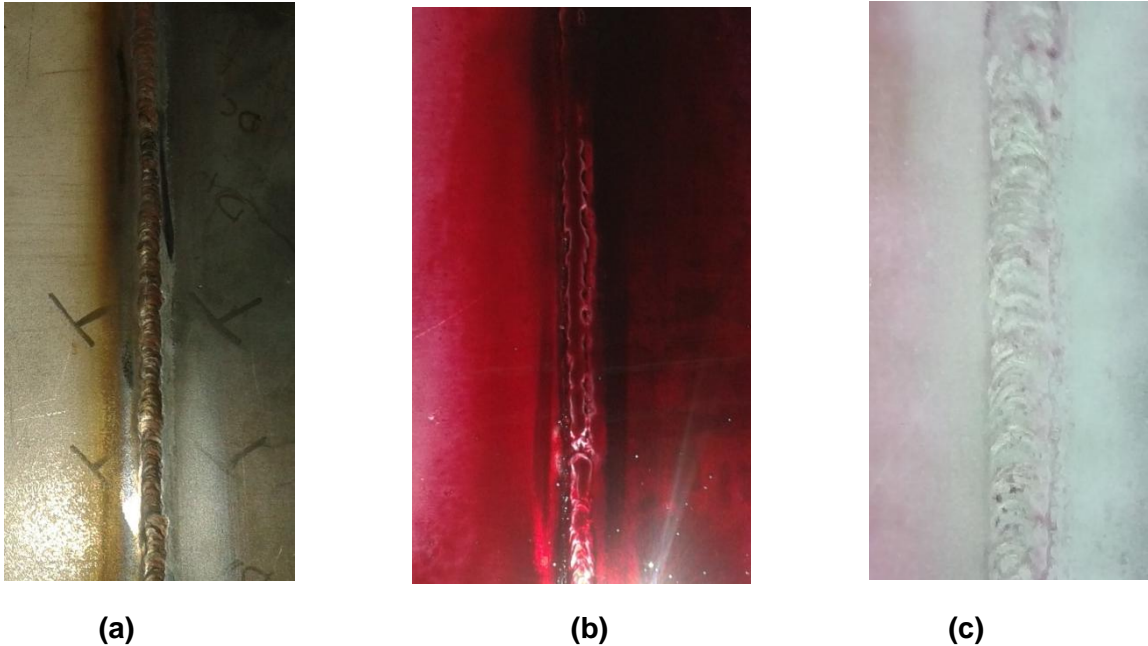
N°	DESIGNACIÓN	MÉTODO APLICADO		
		IV	PT	JUNTA
1	GTAW-1	X	X	TOPE
2	GTAW-2	X	X	TOPE
3	GTAW-3	X	X	TOPE
4	SMAW-4	X	X	TOPE
5	SMAW-5	X	X	TOPE
6	SMAW-6	X	X	TOPE

Fuente: Autoras

Metodología de la inspección: Se realizó la aplicación del método según los estándares de la ASTM E 165. Se procedió la designación de los puntos a inspeccionar.

- Acondicionamiento de la superficie: Se realizó una limpieza con grata mecánica al cordón de soldadura y la zona afectada por el calor; a continuación se limpió la superficie de inspección con solvente para que quedara libre de polvo (ver figura 20 a).
- Se aplicó el líquido penetrante (ver figura 20 b), se dejó actuar durante 20 minutos y se reveló como se ve en la figura 20 c.
- Se realizó inspección visual (IV) e Inspección por tintas penetrantes (PT) bajo la normatividad de referencia.

Figura 20. Proceso aplicación de tintas penetrantes



Fuente: Laboratorio Ensayos destructivos y no destructivos (CECEND). Universidad Tecnológica de Pereira.

3.3 Ensayos destructivos

Para evaluar el comportamiento mecánico y la sanidad de las uniones soldadas, se realizaron pruebas mecánicas, como tracción y pruebas de dobléz de cara y de raíz. El procedimiento utilizado para realizar estas pruebas se describe a continuación.

3.3.1 Ensayo de tracción: se realizó el ensayo de tracción, cuyos resultados permitieron obtener propiedades como el límite de fluencia, la resistencia a la tracción y la ductilidad (tomando como referencia la deformación máxima); la ejecución del ensayo se hizo bajo la norma de referencia. El ensayo de tracción se realizó adoce(12) probetas soldadas, de las cuales a seis (6) de ellas se soldaron con el proceso GTAW y las otras seis (6) con el proceso SMAW.

Documentos de referencia:

- ASTM E9-09, Ensayo de Tracción (*Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room*).
- Especificaciones de operación y calidad internas de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Mecánica.
- Parte QW-153.1 Resistencia de Tensión del código ASME sección IX.






Equipos utilizados:

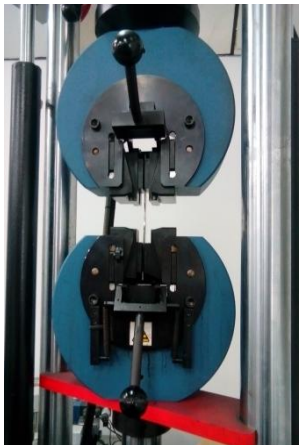
- Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica, donde se usaron los siguientes equipos:
- Máquina IBERTEST modelo UMIB-600-S, última verificación interna 12-06-2015 con anillo KMBM s/n M10066 de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.
- Cámara digital.

Elementos de ensayo: las probetas que fueron sometidas a las pruebas de tracción se relacionan en la tabla 10, donde además, se muestra el montaje que se llevó a cabo para realizar las pruebas.

Tabla 10. Cuerpos de prueba de tracción y su sujeción en la máquina.

DESIGNACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN
GTAW-1		Probeta acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36)

<p>GTAW-2</p>		<p>Probeta acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36)</p>
<p>GTAW-3</p>		<p>Probeta acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36)</p>
<p>SMAW-4</p>		<p>Probeta acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36)</p>
<p>SMAW-5</p>		<p>Probeta acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36)</p>
<p>SMAW-6</p>		<p>Probeta acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36)</p>

		<p>Montaje realizado a las probetas para realizar la prueba de tracción en la máquina IBERTEST modelo UMIB-600-S</p>
--	--	--

Fuente: Autoras

Para la prueba de tracción se siguieron los procedimientos de ensayo establecidos por la normatividad y las especificaciones internas del laboratorio. Una vez se instalaron en el equipo los accesorios correspondientes, se sometieron los elementos de prueba a fuerzas axiales en sentido opuesto a la sección transversal para ejercer tracción y llevarlos a la rotura. Estas pruebas se realizaron a probetas soldadas de acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36) de acuerdo con las especificaciones para realizar el ensayo. Se tomaron datos de carga, en kgf y de alargamiento en mm y con esto se realizó la gráfica esfuerzo-deformación, después de hacer las respectivas transformaciones (F vs $\delta \rightarrow (\sigma$ vs $\epsilon)$) usando las expresiones:

$$\sigma = \frac{F}{A} (1)$$

$$\epsilon = \frac{\delta}{L_0} (2)$$

3.3.2 Ensayos de sanidad (Doblez)

3.3.2.1. Ensayo de doblez de raíz: se realizó el ensayo de doblez de raíz, con ayuda del personal del CECEND y con base en el código ASME sección IX. El ensayo de doblez de raíz se realizó a doce (12) probetas soldadas, de las cuales seis (6) de ellas se soldaron con el proceso GTAW y las otras seis (6) con el proceso SMAW.

Lugar de inspección: laboratorio de ensayos no destructivos, facultad de ingeniería mecánica.

Materiales: unión soldada entre acero estructural ASTM A-36 y acero inoxidable AISI-SAE 304.

Espesores: Dimensiones de los cuerpos de un cuarto de pulgada (1/4”), un octavo de pulgada (1/8”) y tres dieciseisavos de pulgada (3/16”).




Equipos utilizados:


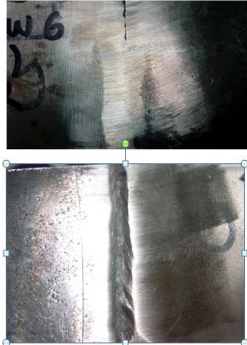

- Dispositivo matriz de dobléz.
- Cámara digital.

Elementos de ensayo: las probetas que fueron sometidas a las pruebas de dobléz de raíz se relacionan en la tabla 11, donde además, se muestra el montaje que se llevó a cabo para realizar las pruebas.

Tabla 11. Cuerpos de prueba de dobléz de raíz y su montaje en la máquina.

DESIGNACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN
GTAW-1		Probeta acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36)

GTAW-2		Probeta acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36)
GTAW-3		Probeta acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36)
SMAW-4		Probeta acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36)

SMAW-5		Probeta acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36)
SMAW-6		Probeta acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36)
		Montaje realizado a las probetas para realizar la prueba de dobléz de raíz en la máquina matriz de dobléz.

Fuente: Autoras

3.3.2.2. Ensayo de dobléz de cara: se realizó el ensayo de dobléz de cara, ayudadas por el personal del CECEND y basadas en el código ASME sección IX. El ensayo de dobléz de cara se realizó a doce (12) probetas soldadas, de las cuales seis (6) de ellas se soldaron con el proceso GTAW y las otras seis (6) con el proceso SMAW.

Lugar de inspección: laboratorio de ensayos no destructivos, facultad de ingeniería mecánica.

Materiales: unión soldada entre acero estructural ASTM A-36 y acero inoxidable AISI-SAE 304.

Espesores: Dimensiones de los cuerpos de un cuarto de pulgada (1/4”), un octavo de pulgada (1/8”) y tres dieciseisavos de pulgada (3/16”).



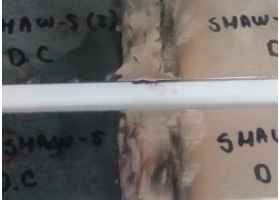


Equipos utilizados:

- Dispositivo matriz de dobléz.
- Cámara digital.

Elementos de ensayo: las probetas que fueron sometidas a las pruebas de dobléz de cara se relacionan en la tabla 12, donde además, se muestra el montaje que se llevó a cabo para realizar las pruebas.

Tabla 12. Cuerpos de prueba de dobléz de cara y su montaje en la máquina.

DESIGNACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO	DESCRIPCIÓN
GTAW-1		Probeta acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36)
GTAW-2		Probeta acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36)

<p>GTAW-3</p>		<p>Probeta acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36)</p>
<p>SMAW-4</p>		<p>Probeta acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36)</p>
<p>SMAW-5</p>		<p>Probeta acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36)</p>
<p>SMAW-6</p>		<p>Probeta acero disímil (AISI-SAE 304 y ASTM A-36)</p>
		<p>Montaje realizado a las probetas para realizar la prueba de dobléz de cara en la máquina matriz de dobléz.</p>

Fuente: Autoras

3.3.3 Ensayo de resistencia a la corrosión

Para evaluar esta propiedad, se utilizó el ensayo de cámara de niebla salina a dos probetas de 10 cm x 3 cm de cada tipo de soldadura aplicada (GTAW y SMAW), las cuales fueron sometidas a ensayo de resistencia a la corrosión en medio ambiente salino durante 700 horas, en condiciones controladas de temperatura, cantidad de deposición de niebla y presión de aspersion, como lo establecen las normas de referencia; las probetas fueron inspeccionadas cada 24 horas con registro fotográfico de las observaciones.

Documentos de referencia:

- NTC 1156-1998 Procedimiento de ensayo cámara salina.
- ASTM B-117 Práctica estándar para la operación de aparatos de sal (niebla) (*Standard Practice for operating Salt (Fog) Apparatus*).
- Procedimientos internos del laboratorio de corrosión de la UTP bajo acreditación ISO IEC 17025.

Equipos utilizados:

- Laboratorio de ensayos destructivos y no destructivos de la Facultad de Ingeniería Mecánica-CECEND.
- Cámara de niebla salina con especificaciones según norma NTC 1156-1998 (ASTM B117) LEND-02.
- Cámara digital.

Elementos ensayados: en la tabla 13 se describen las probetas que fueron objeto del ensayo en la cámara de niebla salina

Tabla 13. Descripción de los elementos de ensayo

DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO
GTAW-3	Soldadura disímil entre acero ASTM A-36 con inoxidable AISI-SAE 304	
SMAW-6	Soldadura disímil entre acero ASTM A-36 con inoxidable AISI-SAE 304	

Fuente: Autoras

Los ensayos de cámara salinase realizaron según las exigencias de la normatividad de referencia y los procedimientos de ensayo internos del laboratorio.

- Se prepararon las probetas, se protegieron los bordes y sólo se dejó visible el cordón de soldadura para ser ingresadas a la cámara.
- Se dispuso la cámara salina según la norma NTC 1156-98 (ASTM B117) y se ajustó con los parámetros, ver tabla 14.

Tabla 14. Parámetros de ensayo cámara salina

PARÁMETROS			
Temperatura	35 +1,1 -1,7 °C	Sal	+/- 5% en peso
Presión	20 Psi	Tiempo de exposición	700 horas
Fluido: agua destilada	50 L	Humedad	100 %

Fuente: Autoras

- Las probetas cada 24 horas se inspeccionaron, haciendo las respectivas anotaciones de los cambios sufridos en la superficie del cordón de soldadura.
- El lavado de las probetas se realizó con agua corriente a una temperatura de aproximadamente 38°C para eliminar los depósitos de sal en la superficie y luego se secó inmediatamente, para realizar la evaluación.

3.4 Elaboración del WPS

La elaboración de las WPS, fue realizada en compañía del personal de la empresa Ingeniar Inoxidables de Pereira basados en sus requerimientos, especificaciones y criterios; con esto como base más los espesores de las chapas a soldar y el tipo de material fueron seleccionados todos los parámetros como el voltaje, el amperaje, la velocidad de avance y los tipos de electrodos a utilizar.

4. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 Ensayos no destructivos (END)

4.1.1 Inspección visual (IV). Los resultados de la inspección visual se muestran en la tabla 15, donde se relaciona cada una de las uniones soldadas inspeccionadas con las respectivas observaciones. Los criterios que se utilizaron para el análisis de aprobación en las probetas de tracción fueron basados en la parte QW-195.2.2 del código ASME sección IX:

QW-195.2.2 Normas de Aceptación. Las pruebas de procedimiento y de habilidad con examen por técnicas de penetrantes líquidos serán juzgadas inaceptables cuando el examen exhiba una indicación en exceso de los límites especificados abajo:

(a) indicaciones lineales importantes;

(b) indicaciones redondeadas importantes mayores que 3/16 pulg (4,7625 mm).;

(c) cuatro o más indicaciones redondeadas importantes en una línea separada por 1/16 pulg (1,5875 mm). O menos (orilla a orilla).

Tabla 15. Resultados inspección visual

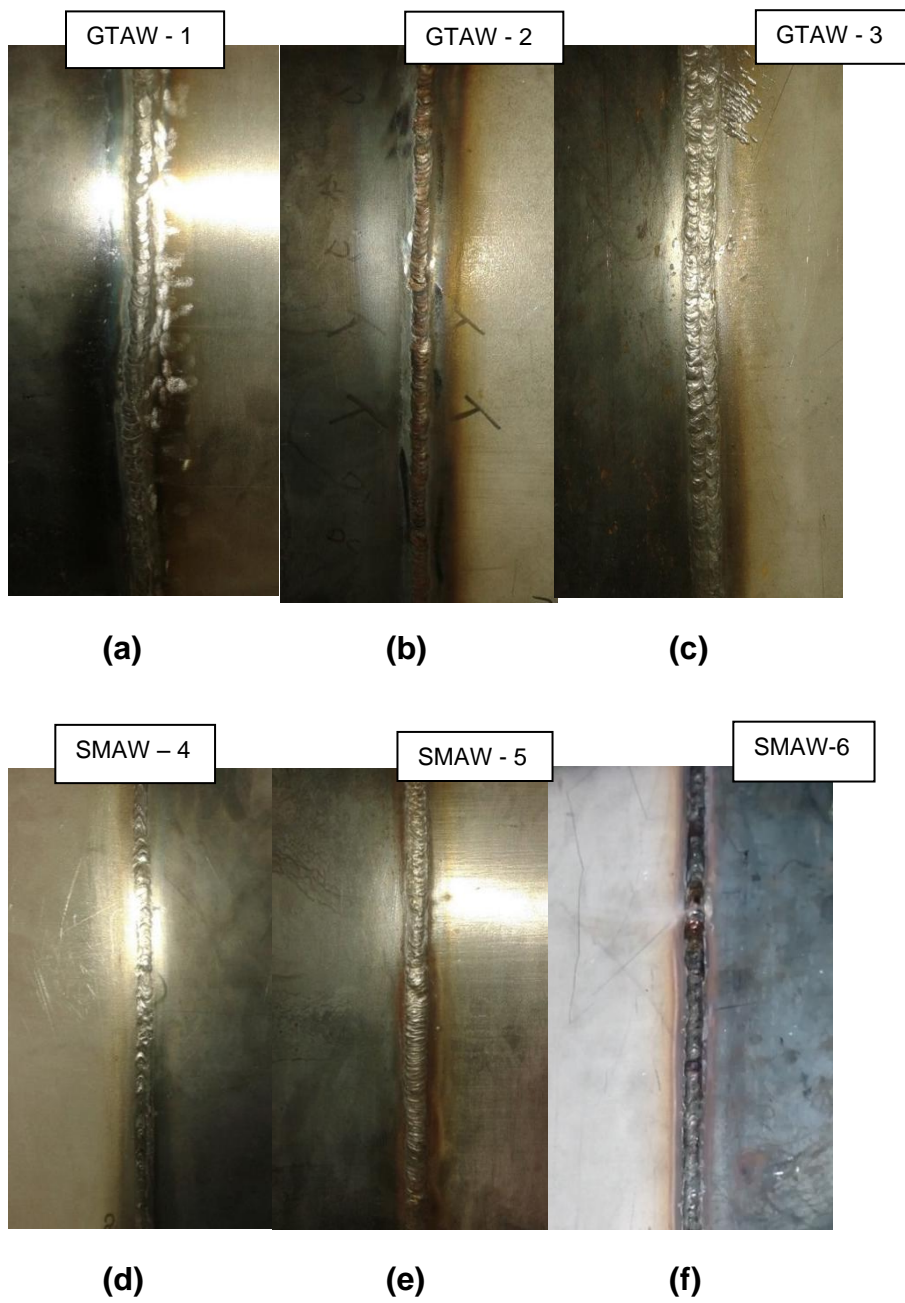
N°	DESIGNACIÓN	MÉTODO APLICADO	DISCONTINUIDADES ENCONTRADAS	OBSERVACIONES Realizadas con base en el código de referencia, clase y tipo para la IV.
		IV		
1	GTAW-1	X	Se observó que la junta se encontraba desalineada. El cordón no presenta indicaciones relevantes.	En la inspección visual no se presentaron indicaciones relevantes que superen los límites establecidos por la normatividad de referencia. La junta es aceptada.
2	GTAW-2	X	El cordón no presenta indicaciones relevantes.	En la inspección visual no se presentaron indicaciones relevantes que superen los límites

				establecidos por la normatividad de referencia. La junta es aceptada.
3	GTAW-3	X	El cordón no presenta indicaciones relevantes.	En la inspección visual no se presentaron indicaciones relevantes que superen los límites establecidos por la normatividad de referencia. La junta es aceptada.
4	SMAW-4	X	Se observó conicidad relevante en la junta, y también se observó socavado que sobrepasa los límites establecidos por la norma.	En la inspección visual se presentaron indicaciones relevantes que superan los límites establecidos por la normatividad. La junta no es aceptada.
5	SMAW-5	X	Se observaron salpicaduras, sin embargo el cordón no presenta indicaciones relevantes.	En la inspección visual no se presentaron indicaciones relevantes que superen los límites establecidos por la normatividad de referencia. La junta es aceptada.
6	SMAW-6	X	Se observó conicidad relevante en la junta, y también se observó socavado que sobrepasa los límites establecidos por la norma.	En la inspección visual se presentaron indicaciones relevantes que superan los límites establecidos por la normatividad. La junta no es aceptada.

Fuente: Autoras.

Una vez se realizó la inspección de las juntas, se concluye que las uniones no presentan discontinuidades que afecten la sanidad de la soldadura ya que el 66.66% de las muestras pasaron la inspección visual, esto se puede evidenciar en las figura 21.a) a 21.f)

Figura 21. Resultados inspección visual



Fuente: Laboratorio Ensayos destructivos y no destructivos (CECEND). Universidad Tecnológica de Pereira.

4.1.2 Tintas penetrantes (TP). Los resultados de tintas penetrantes se muestran en la tabla 16, donde se relaciona cada una de las uniones soldadas inspeccionadas con las respectivas observaciones. Esto se puede evidenciar en la figuras 22.a) a 22.f).

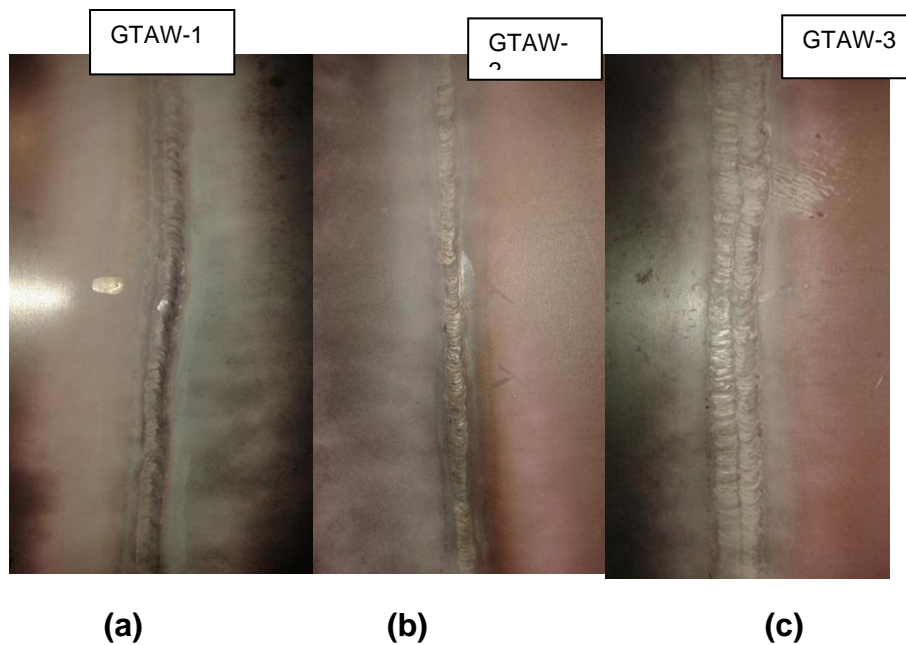
Tabla 16. Resultados tintas penetrantes

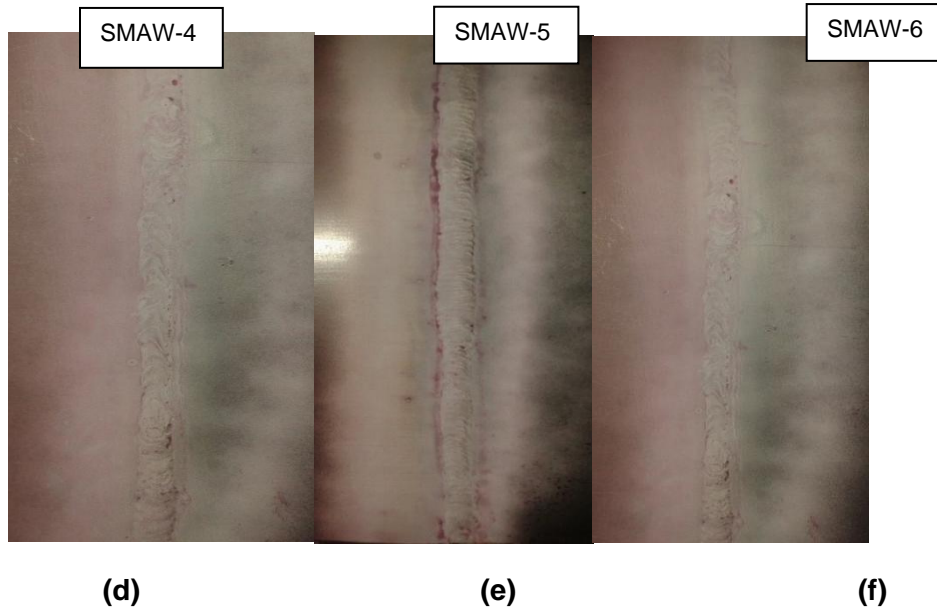
N°	DESIGNACIÓN	DISCONTINUIDADES ENCONTRADAS	OBSERVACIONES
1	GTAW-1	Se observó que la junta se encontraba desalineada. El cordón no presenta indicaciones relevantes.	Realizadas con base en el código de referencia, clase y tipo para IV, PT tabla 6.1 AWS D1.1 En la inspección visual (IV) e inspección por tintas penetrantes (PT), las indicaciones no superan los límites establecidos por la normatividad de referencia. La junta es aceptada
2	GTAW-2	Se observaron poros de tamaños mínimos aceptados por la norma. El cordón no presenta indicaciones relevantes.	En la inspección visual (IV) e inspección por tintas penetrantes (PT), las indicaciones no superan los límites establecidos por la normatividad de referencia. La junta es aceptada
3	GTAW-3	El cordón no presenta indicaciones relevantes.	En la inspección visual (IV) e inspección por tintas penetrantes (PT), las indicaciones no superan los límites establecidos por la normatividad de referencia. La junta es aceptada
4	SMAW-4	Se observó convexidad relevante en la junta, y también se observó socavado que sobrepasa los límites establecidos por la norma.	En la inspección visual (IV) e inspección por tintas penetrantes (PT), las indicaciones superan los límites establecidos por la normatividad de referencia. La junta no es aceptada.

5	SMAW-5	Se observaron salpicaduras, sin embargo el cordón no presenta indicaciones relevantes.	En la inspección visual (IV) e inspección por tintas penetrantes (PT), las indicaciones no superan los límites establecidos por la normatividad de referencia. La junta es aceptada
6	SMAW-6	Se observó conicidad relevante en la junta, y también se observó socavado que sobrepasa los límites establecidos por la norma.	En la inspección visual (IV) e inspección por tintas penetrantes (PT), las indicaciones superan los límites establecidos por la normatividad de referencia. La junta no es aceptada.

Fuente: Autoras.

Figura 22. Resultado tintas penetrantes





Fuente: Laboratorio Ensayos destructivos y no destructivos (CECEND). Universidad Tecnológica de Pereira.

Registro de las indicaciones encontradas: Se evidenciaron defectos en las láminas SMAW-4 y SMAW-6 cuyas dimensiones superan los límites exigidos por la normatividad de referencia, ver figuras 23.a y 23.b. Se sugiere la reparación del cordón de soldadura.

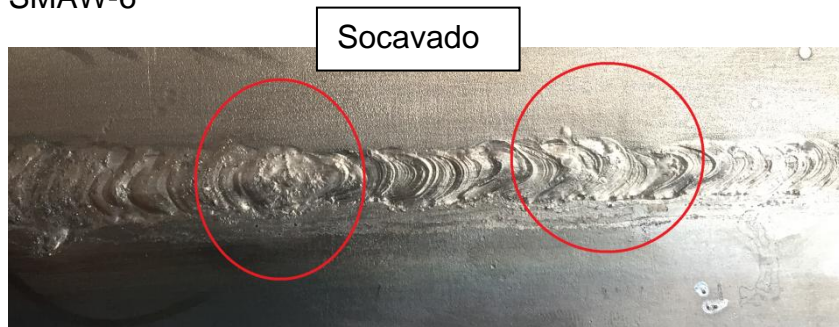
Figura 23. Evidencias de defectología en las uniones SMAW-4 Y SMAW-6

SMAW-4



(a)

SMAW-6



(b)

Fuente: Laboratorio Ensayos destructivos y no destructivos (CECEND). Universidad Tecnológica de Pereira.

4.2 Ensayos destructivos (ED)

4.2.1 Ensayo de tracción. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 17, en la cual; F_f : fuerza de fluencia, F_u : fuerza última, σ_f : esfuerzo de fluencia, σ_u : esfuerzo último, σ_r : esfuerzo de rotura y ϵ : deformación.

Los criterios que se utilizaron para el análisis de aprobación en las probetas de tracción fueron basados en la parte QW-153.1 del código ASME sección IX:

QW-153.1 Resistencia de Tensión. Para pasar la prueba de tensión, el espécimen tendrá una resistencia de tensión que no sea menor que:

(a) La mínima resistencia de tensión especificada del metal base; o

(b) La mínima resistencia de tensión especificada del material más débil de los dos, si se usan metales base de resistencias de tensión mínima diferentes; o

(c) La mínima resistencia de tensión especificada del metal de soldadura cuando la Sección aplicable da disposiciones para el uso de metal de soldadura que tiene resistencia a temperatura ambiente inferior que el metal base;

(d) Si el espécimen se rompe en el metal base afuera de la soldadura o de la línea de fusión la prueba será aceptada como que satisface los requerimientos, siempre y cuando la resistencia no esté más del 5% abajo de la mínima resistencia de tensión especificada del metal base

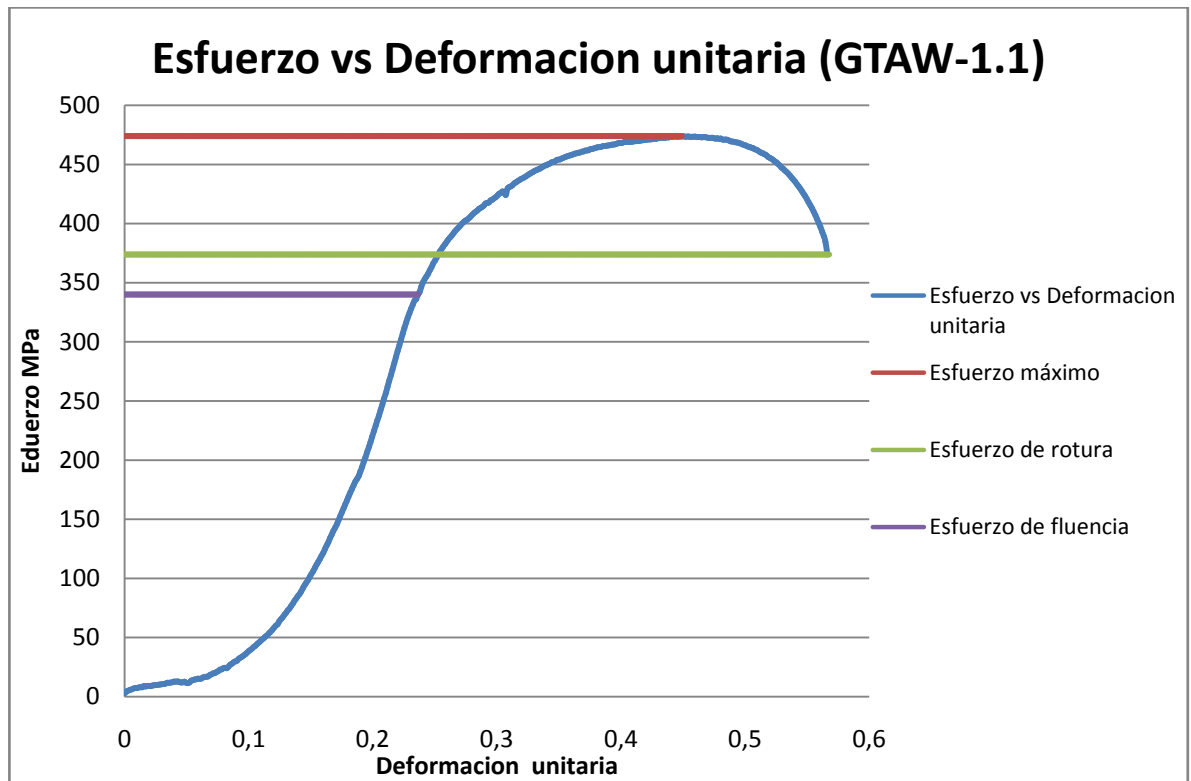
Tabla 17. Resultados del ensayo de tracción

Probeta	Ff		Fu		Área	σ_f		σ_u		σ_r	ϵ
	kgf	N	kgf	N	cm ²	Kgf/cm ²	MPa	Kgf/cm ²	MPa	MPa	%
GTAW 1.1	1618,27	15869,86	2255,7	22120,86	0,466725	3467,31	340,03	4833,04	473,96	373,94	21,77
GTAW 1.2	1622,89	15915,17	1862,0	18259,98	0,466725	3477,19	340,99	3989,50	391,24	321,87	28,57
GTAW 2.1	1664,82	16327,02	4234,4	41525,28	0,7000875	2378,01	233,20	6048,39	593,14	477,66	19,73
GTAW 2.2	1997,20	19585,89	4214,5	4133,13	0,7000875	2852,79	279,76	6020,06	590,36	477,89	24,02
GTAW 3.1	3706,23	36345,75	5239,4	51380,96	0,93345	3970,47	389,37	5612,97	550,44	462,51	33,33
GTAW 3.2	3538,44	34700,27	5596	54878,01	0,93345	3790,71	371,74	5994,99	587,91	485,39	25,85
SMAW4.1	1670,87	16385,63	2383,2	23371,21	0,466725	3579,98	351,07	5106,15	500,74	403,84	24,7
SMAW 4.2	1704,63	16716,71	2473,5	24256,75	0,466725	3652,32	358,17	5299,69	519,72	391,31	28,57
SMAW 5.1	2828,31	27736,29	4303,5	42202,92	0,7000875	4039,94	396,18	6147,14	602,83	518,31	27,9
SMAW 5.2	1899,70	18629,69	4147,6	40674,06	0,7000875	2713,52	266,10	5924,39	580,98	495,57	21,97
SMAW 6.1	2256,56	22129,34	6052,2	59351,81	0,93345	2417,44	237,07	6483,78	635,84	598,58	25,17
SMAW 6.2	3324,07	32598,03	6011,3	58948,07	0,93345	3561,06	349,22	6439,84	631,53	601,68	27,89

Fuente: Autoras

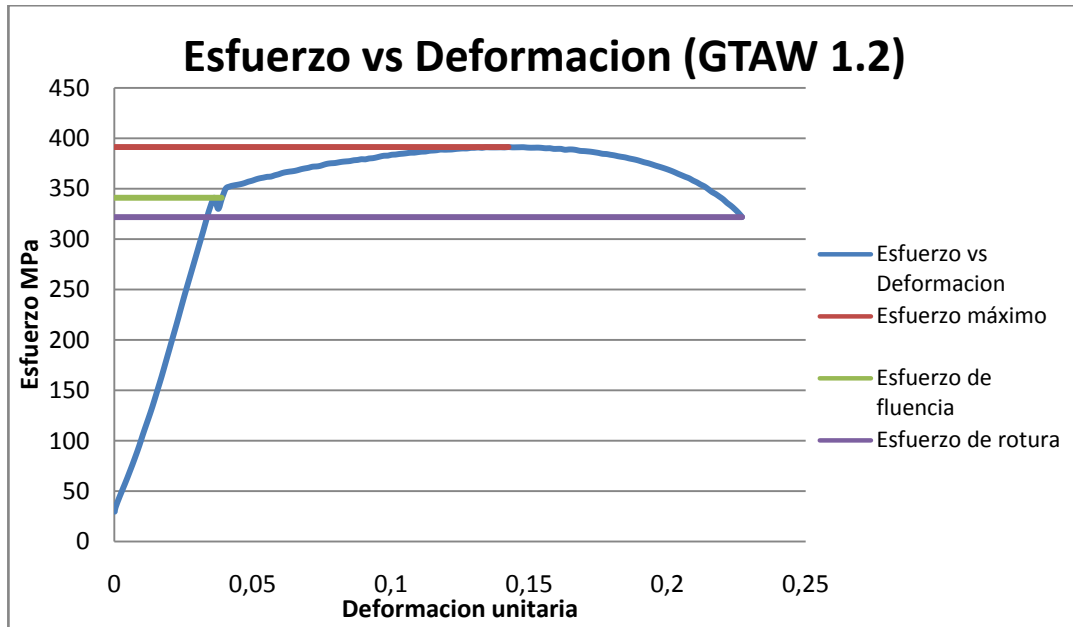
A continuación en las figuras de la 24 a la 35 de la se muestran las gráficas de Esfuerzo vs. Deformación de todas las probetas que fueron sometidas al ensayo de resistencia a la tracción.

Figura 24. Gráfica Esfuerzo vs deformación (GTAW-1.1)



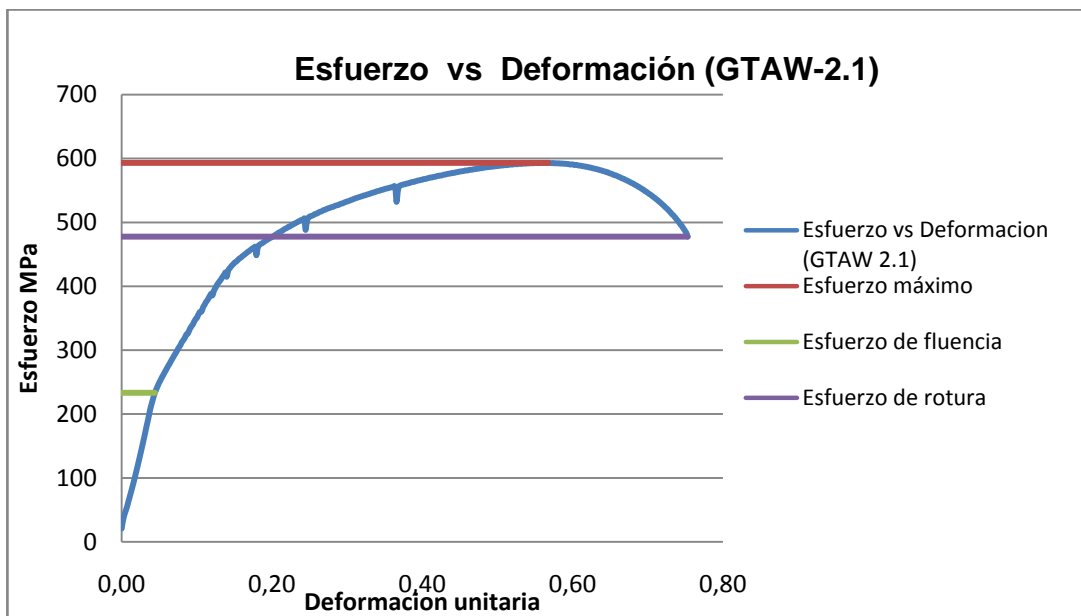
Fuente: Autoras

Figura 25. Gráfica Esfuerzo vs Deformación (GTAW-1.2)



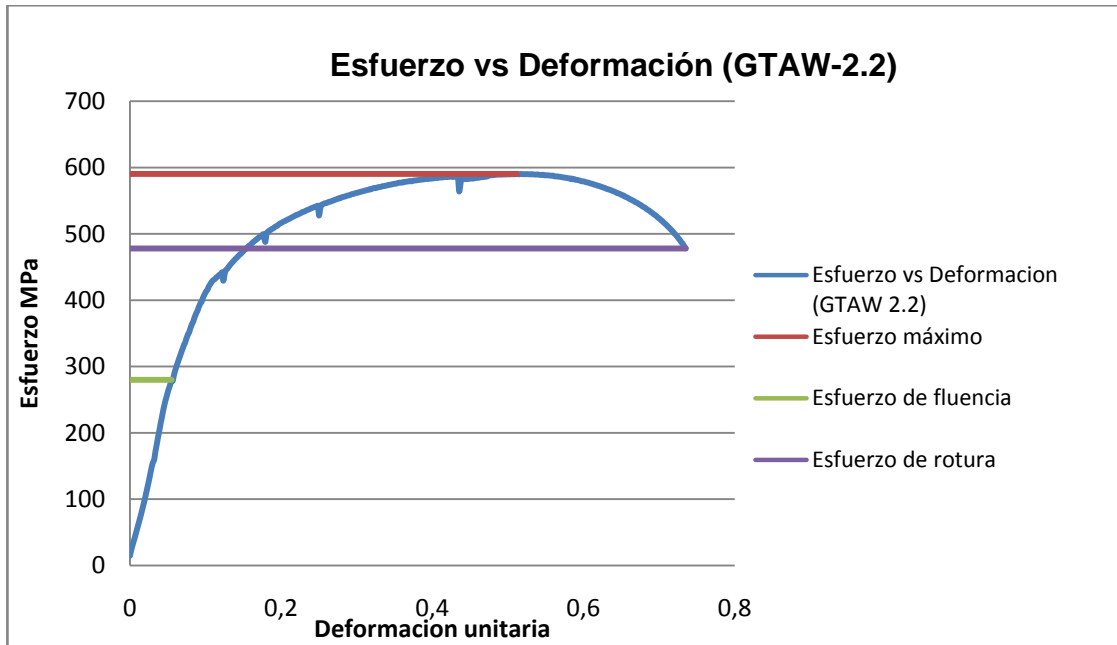
Fuente: Autoras

Figura 26. Gráfica Esfuerzo vs Deformación (GTAW-2.1)



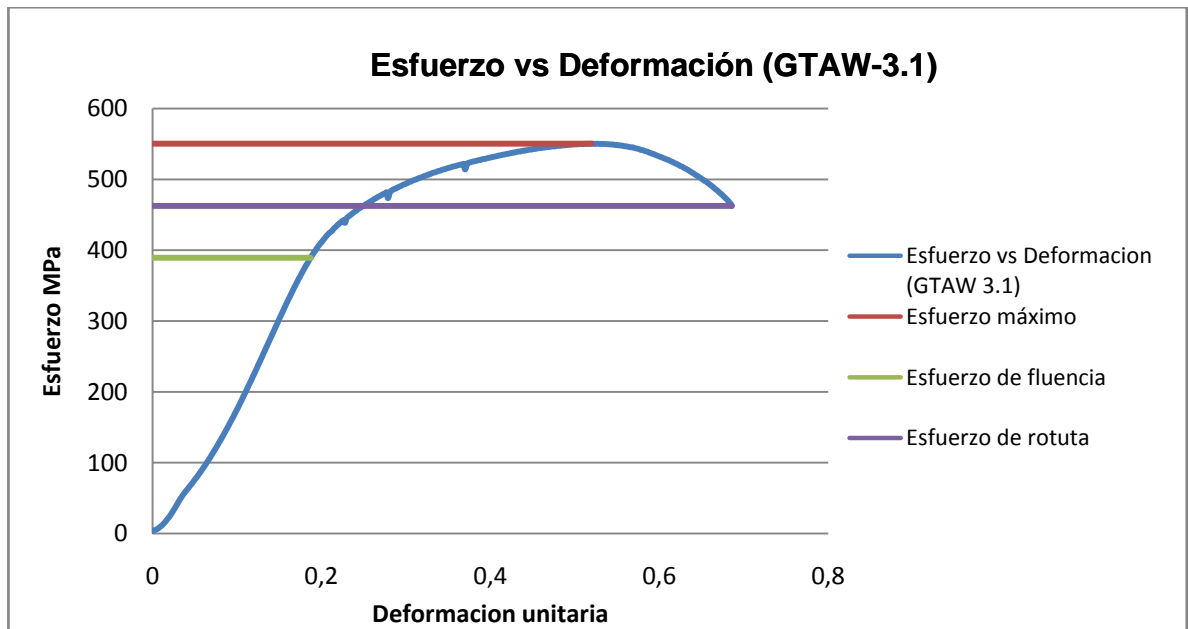
Fuente: Autoras

Figura 27. Gráfica Esfuerzo vs Deformación (GTAW-2.2)



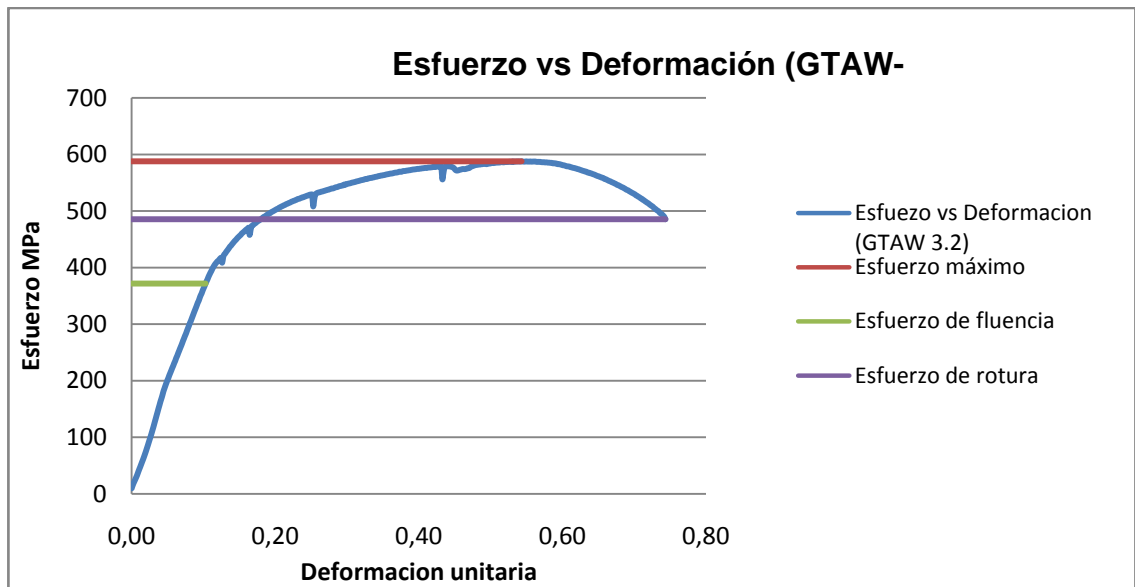
Fuente: Autoras

Figura 28. Gráfica Esfuerzo vs Deformación (GTAW-3.1)



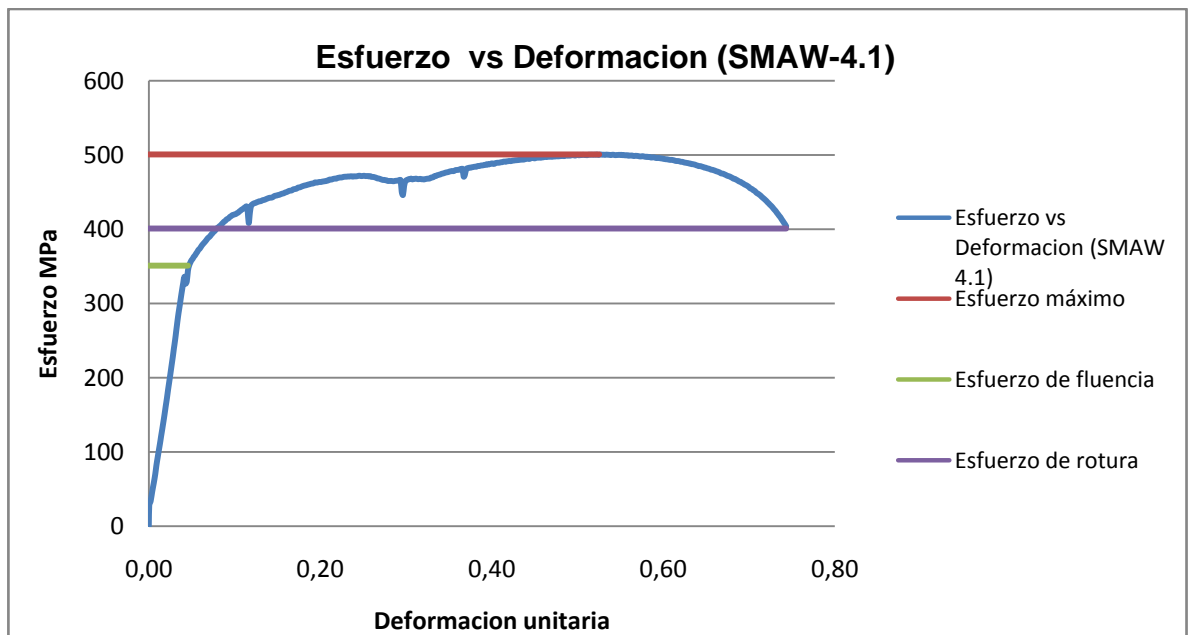
Fuente: Autoras

Figura 29. Gráfica Esfuerzo vs Deformación (GTAW-3.2)



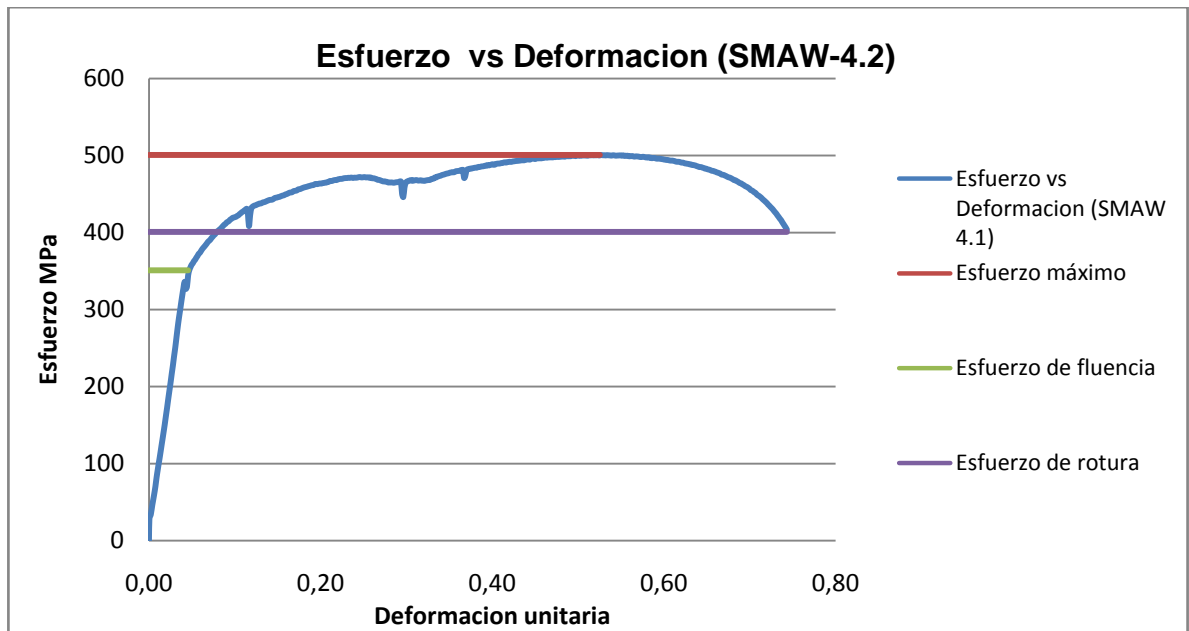
Fuente: Autoras

Figura 30. Gráfica Esfuerzo vs Deformación (SMAW-4.1)



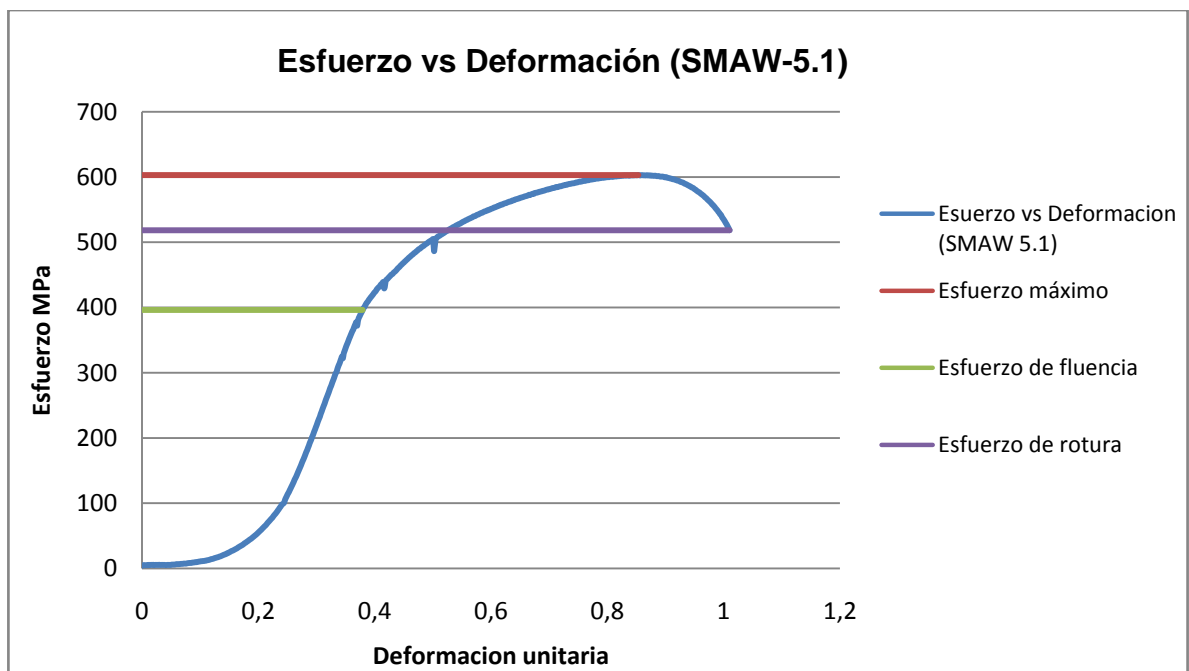
Fuente: Autoras

Figura 31. Gráfica Esfuerzo vs Deformación (SMAW-4.2)



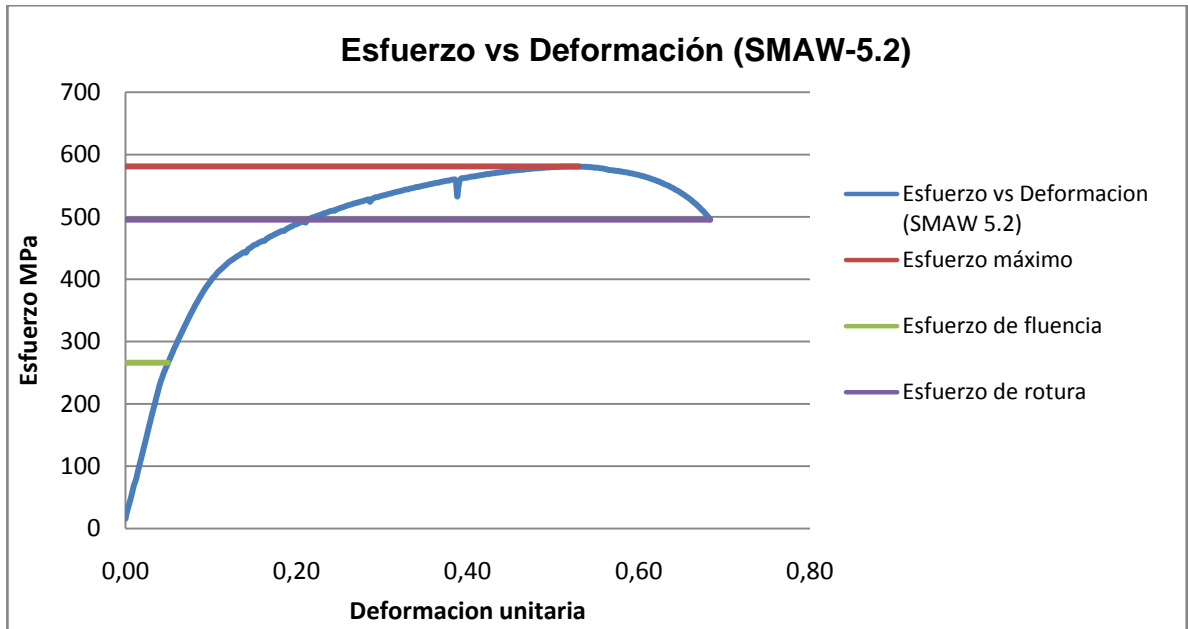
Fuente: Autoras

Figura 32. Gráfica Esfuerzo vs Deformación (SMAW-5.1)



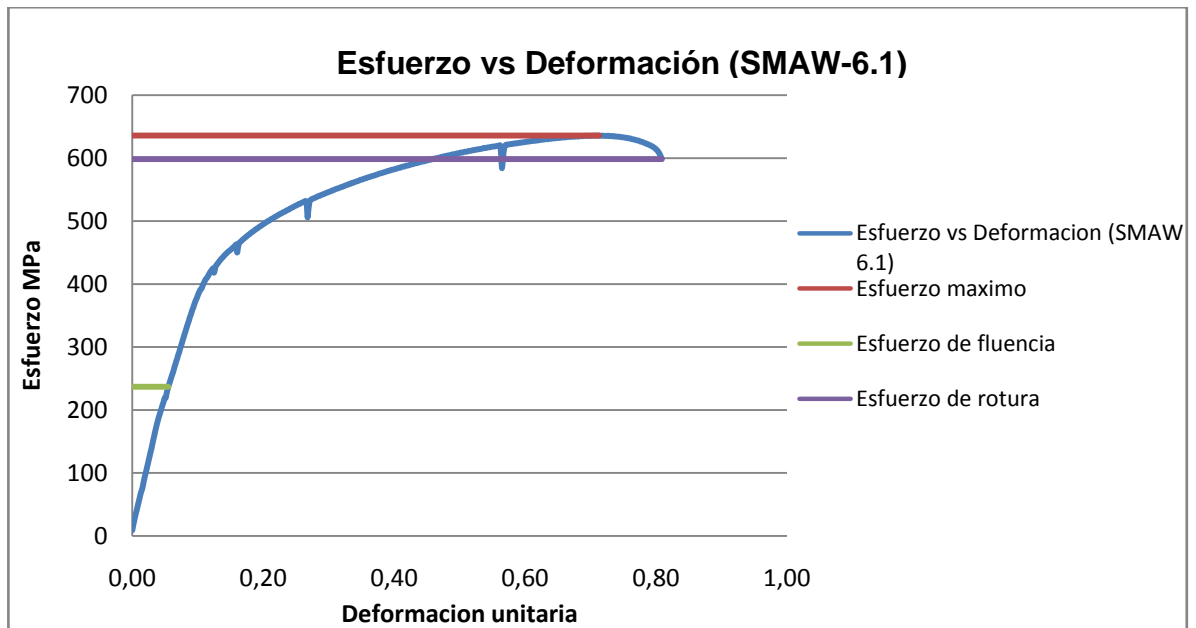
Fuente: Autoras

Figura 33. Gráfica Esfuerzo vs Deformación (SMAW-5.2)



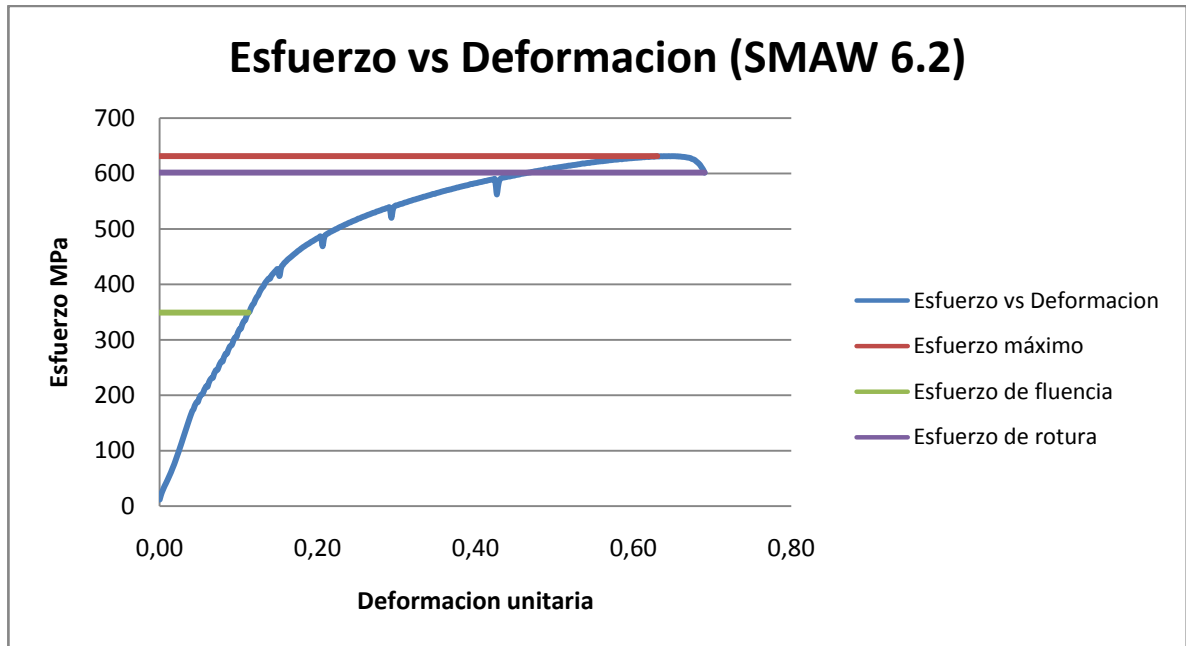
Fuente: Autoras

Figura 34. Gráfica Esfuerzo vs Deformación (SMAW-6.1)



Fuente: Autoras

Figura 35. Gráfica Esfuerzo vs Deformación (SMAW-6.2)



Fuente: Autoras

Según el análisis realizado y aplicando los criterios anteriormente mencionados se concluyó que la probeta GTAW-1.2 no pasó la prueba de tracción, porque el esfuerzo último de la prueba fue de 321,87MPa y este fue menor al esfuerzo ultimo teórico del material base que fue de 400 MPa; en este caso el metal base, el acero estructural ASTM A-36 debido a que la probeta rompió por este material, porque la resistencia de este es menor a la del acero inoxidable AISI-SAE 304.

4.2.2 Ensayo de sanidad.

4.2.2.1 Ensayo de doblez de raíz: Los resultados obtenidos en el ensayo de doblez de raíz se muestran en la tabla 30. Los criterios que se utilizaron para el análisis de aprobación en las probetas de doblez de raíz fueron basados en la parte QW-163 del código ASME sección IX:

QW-163 Criterios de Aceptación — Pruebas de doblez.


La soldadura y la zona afectada por el calor de un espécimen de doblez transversal de soldadura, estará completamente dentro de la porción doblada del espécimen después de la prueba.

Los especímenes de doblez guiado nada habrán de tener de defectos abiertos en la soldadura o en la zona afectada por el calor que excedan de $\frac{1}{8}$ pulg., medido en cualquier dirección sobre la superficie convexa del espécimen después del doblado. Los defectos abiertos que ocurran en las esquinas del espécimen durante la prueba no se tomarán en cuenta a menos que haya evidencia precisa de que ellos resultan por falta de fusión, inclusiones de escoria u otros defectos internos.

Para revestimiento de sobrecapa de soldadura resistente a corrosión, nada de defecto abierto que exceda de $\frac{1}{16}$ pulg., medido en cualquier dirección, será permitido en el revestimiento; y nada de defectos abiertos, que excedan de $\frac{1}{8}$ pulg., se permitirán en la línea de ligazón.

Tabla 18. Resultados ensayo doblez de raíz.

DESIGNACIÓN	DISCONTINUIDAD O DEFECTO	CALIFICACIÓN	
		CUMPLE	NO CUMPLE
GTAW-1(muestra 1)	No presenta indicaciones	X	
GTAW-1(muestra 2)	No presenta indicaciones	X	
GTAW-2(muestra 1)	No presenta indicaciones	X	
GTAW-2(muestra 2)	No presenta indicaciones	X	
GTAW-3(muestra 1)	No presenta indicaciones	X	
GTAW-3(muestra 2)	No presenta indicaciones	X	
SMAW-4(muestra 1)	No presenta indicaciones	X	
SMAW-4(muestra 2)	No presenta indicaciones	X	
SMAW-5(muestra 1)	No presenta indicaciones	X	

SMAW-5 (muestra 2)	La discontinuidad encontrada (grieta) en la superficie del área de ensayo, no supera los límites establecidos en los criterios de aceptación y rechazo de la norma de referencia. Discontinuidad no relevante. Grieta de 1.4 mm de longitud		X	
SMAW-6(muestra 1)	No presenta indicaciones		X	
SMAW-6(muestra 2)	No presenta indicaciones		X	

Fuente: Autoras

4.2.2.2 Ensayo de doblez de cara: Los resultados obtenidos en el ensayo de doblez de raíz se muestran en la tabla 31. Los criterios que se utilizaron para el análisis de aprobación en las probetas de doblez de cara fueron basados en la parte QW-163 del código ASME sección IX:

QW-163 Criterios de Aceptación — Pruebas de doblez.

La soldadura y la zona afectada por el calor de un espécimen de doblez transversal de soldadura, estará completamente dentro de la porción doblada del espécimen después de la prueba.


Los especímenes de doblez guiado nada habrán de tener de defectos abiertos en la soldadura o en la zona afectada por el calor que excedan de 1/8 pulg., medido en cualquier dirección sobre la superficie convexa del espécimen después del doblado. Los defectos abiertos que ocurran en las esquinas del espécimen durante la prueba no se tomarán en cuenta a menos que haya evidencia precisa de que ellos resultan por falta de fusión, inclusiones de escoria u otros defectos internos.

Para revestimiento de sobrecapa de soldadura resistente a corrosión, nada de defecto abierto que exceda de 1/16 pulg., medido en cualquier dirección, será permitido en el revestimiento; y nada de defectos abiertos, que excedan de 1/8 pulg., se permitirán en la línea de ligazón.

Tabla 19. Resultados ensayo doblez de cara.

DESIGNACIÓN	DISCONTINUIDAD O DEFECTO	CALIFICACIÓN	
		CUMPLE	NO CUMPLE
GTAW-1 (muestra 1)	No presenta indicaciones	X	
GTAW-1 (muestra 2)	No presenta indicaciones	X	
GTAW-2 (muestra 1)	No presenta indicaciones	X	
GTAW-2 (muestra 2)	No presenta indicaciones	X	
GTAW-3 (muestra 1)	La discontinuidad encontrada (grieta) en la superficie del área de ensayo, no supera los límites establecidos en los criterios de aceptación y rechazo de la norma de referencia. Discontinuidad no relevante. Grieta de 2.1 mm de longitud	X	
GTAW-3 (muestra 2)	La discontinuidad encontrada (grieta) en la superficie del área de ensayo, no supera los límites establecidos en los criterios de aceptación y rechazo de la norma de referencia. Discontinuidad no	X	



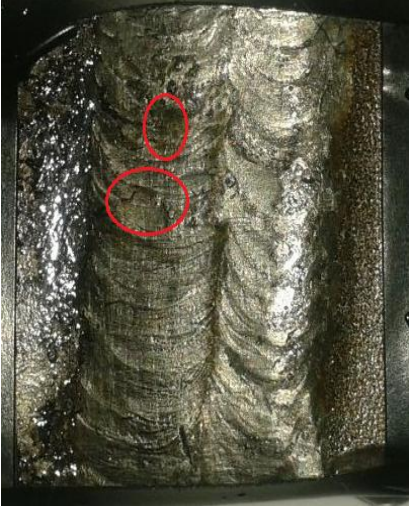

	relevante. Grieta de 2mm de longitud			
SMAW-4 (muestra 1)	No presenta indicaciones		X	
SMAW-4 (muestra 2)	No presenta indicaciones		X	
SMAW-5 (muestra 1)	No presenta indicaciones		X	
SMAW-5 (muestra 2)	No presenta indicaciones		X	
SMAW-6 (muestra 1)	No presenta indicaciones		X	
SMAW-6 (muestra 2)	No presenta indicaciones		X	


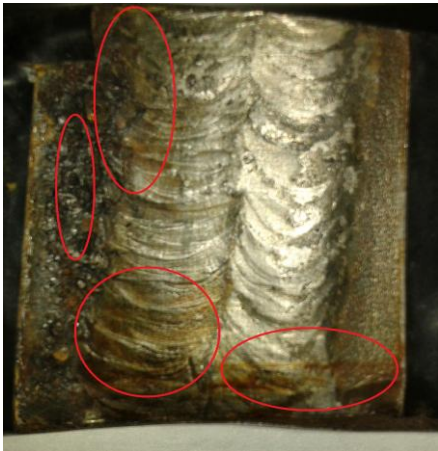
Fuente: Autoras

4.2.3Cámara de niebla salina:Se realizó la inspección visual de las muestras en condición inicial, las cuales presentaron buena apariencia, sin presencia de defectos que pudieran alterar los resultados en la evaluación.

Se hizo seguimiento de las muestras cada 24 horas, haciendo las respectivas anotaciones. En la tabla 31 y 32 se muestran las horas donde hubo cambios en la superficie de las probetas, con sus respectivas observaciones.


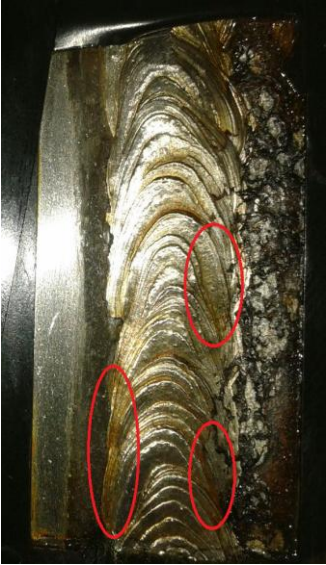
Tabla 20. Seguimiento de las muestras GTAW-3, a diferentes horas durante prueba.



DESIGNACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO	OBSERVACIONES
GTAW-3		24 horas: se presentaron pequeñas manchas de oxidación color marrón en la superficie del cordón.
GTAW-3		240 horas: continuó la oxidación presentando, una mancha color marrón en la parte del cordón que queda al lado de la lámina del acero estructural ASTM A-36

<p>GTAW-3</p>		<p>528 horas: continuó la oxidación de color marrón en la parte del cordón que queda al lado de la lámina del acero estructural ASTM A-36.</p>
<p>GTAW-3</p>		<p>700 horas: finaliza el periodo de ensayo</p>

Fuente: Autoras.

Tabla 21. Seguimiento de las muestras SMAW-6.

DESIGNACIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO	OBSERVACIONES
SMAW-6	 A photograph of a SMAW-6 sample after 24 hours. The image shows a vertical, textured surface with a series of overlapping, wavy layers. Four red ovals are drawn on the surface, highlighting small, brownish spots of oxidation. The background is dark and appears to be a container or a dark surface.	24 horas: se presentaron pequeñas manchas de oxidación color marrón en la superficie del cordón.
SMAW-6	 A photograph of the same SMAW-6 sample after 240 hours. The surface shows a significant increase in brownish oxidation spots compared to the 24-hour mark. Three red ovals are drawn on the surface, highlighting these larger and more numerous spots. The overall appearance is more corroded and textured.	240 horas: Continuó la oxidación de color marrón en la superficie del cordón.

SMAW-6		528 horas: Continúo la oxidación de color marrón en la superficie del cordón.
SMAW-6		700 horas: finalizo el periodo de ensayo

Fuente: Autoras

Finalizado el periodo del ensayo, se observó que ninguna de las dos probetas GTAW-3 y SMAW-6, expuestas a la cámara de niebla salina sufrieron alguna afectación importante en el cordón de soldadura, lo que permite deducir que estos presentan una buena resistencia a la corrosión, mientras que en la zona afectada por el calor de ambas probetas al lado del acero estructural ASTM A-36, se observó corrosión uniforme muy drástica.

CONCLUSIONES

- Se realizó la revisión del código ASME sección IX sobre el tema de soldadura, en la cual se definieron los parámetros, variables esenciales y no esenciales del procedimiento logrando comprender la importancia de estos en la realización de un procedimiento de soldadura.
- De acuerdo con los resultados de la inspección visual y ensayo de tintas penetrantes dos de las tres juntas soldadas, con soldadura SMAW, presentó socavadura a lo largo del cordón, esto se debe a la utilización de corrientes eléctricas inadecuadas durante el procedimiento y si este defecto no es corregido, puede ocasionar disminución en el espesor de la lámina, lo que puede generar que en esta zona se generen concentradores de esfuerzos.
- Como se evidencian los resultados de la inspección visual y del ensayo de tintas penetrantes dos de las tres juntas soldadas con soldadura SMAW, presentó concavidad a lo largo del cordón, esto se debe a velocidades de avance inadecuadas durante el procedimiento y si este defecto no es corregido puede producir un cordón de soldadura menor al del metal base y se necesita que la soldadura sea más gruesa para que no genere concentradores de esfuerzos.
- Según los ensayos de tracción realizados, se concluye que no es conveniente realizar procedimientos de soldadura GTAW a chapas con espesores igual o menor a un octavo de pulgada ($\frac{1}{8}$ "), en aplicaciones en las que la soldadura este sometida a esfuerzos de tensión muy altos.
- De acuerdo con los ensayos de sanidad, las grietas aparecidas durante los ensayos de doblez de raíz y doblez de cara, son aceptados ya que el tamaño de los defectos observados se encuentran dentro de los valores mínimos aceptados por la norma de referencia.
- Se obtuvo que de los ensayos de resistencia a la corrosión, ninguna de las dos probetas expuestas a la cámara de niebla salina sufrieron ninguna afectación importante en el cordón de soldadura, indicando una muy buena resistencia a la corrosión.

- La unión de soldadura disímil entre los metales base ASTM A36 y AISI/SAE 304 cumplió con los distintos criterios de aceptabilidad establecidos en la Sección IX del Código ASME. Por lo que el procedimiento de soldadura diseñado y empleado en esta investigación calificó según el código aplicado.
- Según el análisis de los resultados de todas las pruebas realizadas se puede concluir que los procesos GTAW con calibre 3/16 de pulgada; GTAW con calibre 1/ 4 de pulgada y SMAW con calibre 3/16 de pulgada; son procesos que no presentan ningún tipo de falla por lo tanto los WPS generados para estos son totalmente útiles y aplicables en los procesos realizados por la empresa Ingeniar Inoxidables de Pereira.
- Según el análisis de los resultados de todas las pruebas realizadas se puede concluir que los procesos GTAW con calibre 1/8 de pulgada; SMAW con calibre 1/8 de pulgada y SMAW con calibre 1/ 4 de pulgada; son procesos que presentan fallas por lo tanto los WPS generados para estos procesos no son aplicables y deben ser revisados y corregidos por parte de la empresa Ingeniar Inoxidables de Pereira.
- Se comprobó que mediante experimentación es posible generar una WPS que sea aplicables a un proceso en la industria.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda en la WPS disminuir la corriente para el proceso de soldadura SMAW, con el fin de evitar defectos de socavadura en las juntas soldadas.
- Se recomienda en la WPS disminuir la velocidad de avance para el proceso de soldadura SMAW, con el fin de evitar defectos de concavidad en las juntas soldadas.
- Se recomienda el proceso de soldadura GTAW a chapas de espesor mayor a un octavo de pulgada ($\frac{1}{8}$ "), para aplicaciones que impliquen esfuerzos altos de tensión.

BIBLIOGRAFIA

- ACERIND, S.C. (2011). Soldadura de los aceros inoxidable. Sección I: Para el soldador. *ACERIND S.C.*, 1.
- ascott. (2013). *ascott. Pruebas de corrosión llevadas al límite*. Recuperado el Abril de 2015, de ascott. Pruebas de corrosión llevadas al límite: http://www.ascott-analytical.com/Ascott_Brochure_SPN_issD.pdf
- ASME. (s.f.). ASME seccion IX. En español.
- Avilés, Centro Integrado de Formación Profesional de. (s.f.). *C.I.F.P. AVILÉS*. Recuperado el 10 de Marzo de 2015, de C.I.F.P. AVILÉS: <http://cifpaviles.webcindario.com/U.D%205.pdf>
- Bencomo, N. (2009). Trabajo de grado especial, para optar al título de ingeniero Mecánico. Universidad Central de Venezuela. *soldadura disímil entre los aceros AISI/SAE 304 y ASTM A36 mediante el proceso de GMAW-P*. Venezuela, Caracas.
- Cembrero J, e. a. (2005). *Ciencia y Tecnología de Materiales. Cuestiones y Problemas*. Madrid.
- GalvInfo Center . (Enero de 2007). *GalvInfo Center* . Recuperado el Abril de 2015, de GalvInfo Center : http://latiza.com/archivos_publicar/galvinfo/GalvInfoNote3_4.pdf
- Goodfellow. (2008). *Goodfellow*. Recuperado el Abril de 2015, de Goodfellow: <http://www.goodfellow.com/S/Acero-Inoxidable-AISI-304-Hoja.html>
- GRUPO DASAMI. (2015). *GRUPO DASAMI*. Recuperado el 1 de Abril de 2015, de GRUPO DASAMI: <http://www.grupodasami.com.mx/pruebas-destructivas/>
- Guzmán, R. (01 de Abril de 2014). *Scribd*. Recuperado el 12 de Abril de 2015, de Scribd.: <http://es.scribd.com/doc/215613920/4-Soldabilidad-de-Los-Materiales>
- Horwitz, H. (1993). *Soldadura: Aplicaciones y Practica*. 1. México DF: Ediciones ALFAOMEGA, SA.
- INDURA S.A. (s.f.). *INDURA*. Recuperado el 21 de Marzo de 2015, de INDURA: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/simbologia%20de%20soldadura%20.pdf>

- INDURA S.A., Industria y Comercio. (Marzo de 2010). *INDURA S.A.* Recuperado el Abril de 2015, de INDURA S.A.: http://www.indura.cl/_file/file_1774_manualdeacerosinoxidables%20indura.p
- Llano, C. (Noviembre 2008- Enero 2009). Soldadura GMAW-MIG/MAG. Un proceso rápido, limpio y versátil. *Metal Actual*.
- López, W. (04 de Enero de 2014). *Slideshare*. Recuperado el 27 de Mayo de 2015, de Slideshare: <http://es.slideshare.net/marcus1910/discontinuidades-y-defectos-en-soldadura-29694095>
- Patarroyo, A. (3 de Octubre de 2012). *Blogspot*. Recuperado el 18 de junio de 2015, de Blogspot: <http://equiposoldadura.blogspot.com/>
- Procesos de Manufactura*. (s.f.). Recuperado el 25 de Abril de 2015, de Procesos de Manufactura: <http://procesosmanufacturau4.weebly.com/ensamble-por-soldadura.html>
- Quesada, H. (s.f.). *Procesos unefa. Laboratorio de metalografía y soldadura - U.N.C.* Recuperado el 15 de Mayo de 2015, de Procesos unefa. Laboratorio de metalografía y soldadura -U.N.C.: http://procesosunefa.wikispaces.com/file/view/Proceso_SMAW.pdf
- Revista Metal Actual. (2013). *Metal Actual*. Recuperado el Abril de 2015, de Metal Actual: http://www.metalactual.com/revista/25/procesos_asme.pdf
- Ricardo Salazar, e. a. (s.f.). *Memorias curso de ensayos no destructivos en ultrasonido y gammagrafía nivel I*.
- Rodriguez, C. (2 de Abril de 2013). *Prezi*. Recuperado el Abril de 2015, de Prezi: <https://prezi.com/7ty9d1rgjs-w/soldadura-asme-vy-ix/>
- Saavedra, A. (27 de Noviembre de 2010). *Construcciones soldadas*. Recuperado el 24 de Marzo de 2015, de Construcciones soldadas: <http://www.alexandersaavedra.com/2010/11/soldadura-de-metales-disimiles.html>
- Solter. (s.f.). *Solter.com*. Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de Solter.com: <http://www.solter.com/es/procesos-soldadura/mma-soldadura-por-arco-con-electrodos-revestidos>
- Sumitec. Suministros tecnicos S.A. (s.f.). *Sumitec*. Recuperado el Abril de 2015, de Sumitec: <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%20304.pdf>

Tecnicontrol S.A. (2014). *Tecnicontrol*. Recuperado el 25 de Marzo de 2015, de Tecnicontrol: <http://portal.tc.com.co/tecnicontrol/ensayos-no-destructivos/tradicionales#ensayo-de-particulas-magneticas>

Vázquez, J. (2011). *WELDERMEX*. Recuperado el 21 de Marzo de 2015, de WELDERMEX: <http://weldermex.blogspot.com/2012/10/soldadura-de-metales-disimiles.html>

Vega, A. (2012). Ingeniería de la soldadura discontinuidades y defectos en soldadura. *Vega A. (2012). Ingeniería de la soldadura discontinSimposio llevado a cabo en el instituto panamericano de ingeniería naval*. Lima, Perú.

WEST ARCO. (2014). *WEST ARCO*. Recuperado el 1 de Abril de 2015, de WEST ARCO: http://www.westarco.com/westarco/sp/soporte/ensayos_destructivos.cfm

ANEXO A

Electrodo E-309L-16

Electrodos para Soldaduras de Acero Inoxidable

NORMA

AWS/ ASME: SFA- 5.4

CLASIFICACIÓN

E 309L – 16

POSICIONES: Todas excepto vertical descendente

CORRIENTE: Alterna o Continua Polo Positivo (+).

APLICACIONES:

Recomendado para la soldadura de aleaciones de composición similar tanto en las formas forjadas como fundidas. Soldaduras disímiles entre aceros inoxidable de los diferentes tipos AISI. Las propiedades del depósito lo convierten en una herramienta muy versátil en el campo de la soldadura de mantenimiento en aplicaciones como: rellenos de ejes de acero al carbono y de baja aleación donde se requiera buena soldabilidad y buena resistencia a la fricción metálica, soldadura y recubrimiento de aceros al manganeso, unión de aceros al manganeso con aceros al carbono y baja aleación, revestimiento de torres de craqueo, fabricación y reparación de cajas para carburación, fabricación de tuberías para conducción de fluidos corrosivos.

DESCRIPCIÓN:

Electrodo de revestimiento rutilico que exhibe un arco suave y estable, con deposición tipo rociadora y depósitos de soldadura con fino acabado superficial de muy escasas salpicaduras, de escoria fácil de remover.

Composición química: C: 0,03% Mn: 0,60% Si: 0,80% Cr: 23.5% Ni: 12.5%

Resistencia a la Tracción: 680 N/mm² (98,3 Ksi)

Alargamiento (L= 5d): 30%

Resistencia al Impacto: 70 N.m a + 20°C

ANEXO B

Electrodo ER308L

Varilla para soldar aceros inoxidables con proceso TIG

Clasificación: ASME IIC SFA 5.9/AWS A5.9 ER 308L

Descripción:

Varilla con bajo contenido de carbono para soldar acero inoxidable con proceso TIG. El bajo contenido de carbono en el metal de aporte (0,03 máximo), disminuye la posibilidad de precipitación de carburos e incrementa la resistencia a la corrosión intergranular.

Usos:

Adecuado para soldadura de aceros inoxidables que contienen 16-21% Cr, 8-13% Ni, aceros estabilizados y no estabilizados (302, 304, 304L, 308, 321, 347).

Aplicaciones típicas: Equipos de procesos y almacenamiento de productos alimenticios y químicos. Bombas, intercambiadores de calor.

Composición química: C: 0,02% Mn: 1,90% Si: 0,38% P: 0,02% S: 0,01% Cr: 19,80% Ni: 9,80% Mo: 0,19%

ANEXO C

WPS usadas para el desarrollo de las soldaduras



ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

(Ver QW - 201, Sección IX, Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión)

Página 1 de 1

Nombre de la Empresa: INGENIAR INOX S.A.S

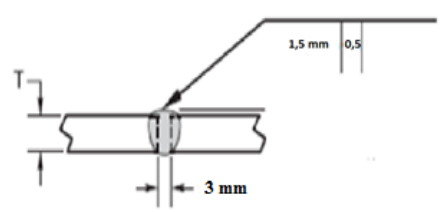
Especificación de Procedimiento de Soldadura No.: 1 Fecha: 05/03/2015 PQR No.(s): -----

Proceso(s) de Soldadura: GTAW Tipo: MANUAL
SMAW, GMAW, FCAW, GTAW, SAW Automático, Semi Automático, Manual

Soldador: Fermin Sanchez Revisión No.: ----- Fecha: -----

UNIONES (QW - 402)

Diseño de la Unión: A tope
 Tipo de soldadura: cuadrada
 Abertura de raíz: 0,5 mm Longitud de cara de raíz: -----
 Angulo de ranura: ---
 Limpieza de raíz: Si Metodo: Wipers
 Plancha: x Tubería: -----
 Respaldo: (sí, No) SI
 Material de Respaldo (Tipo) Cinta Enmascarar
(Metálico, No Metálico, Metal No Fundente, Otros)



METAL(ES) BASE (QW - 403)

No. P 8 - 1 No. de Grupo 1 - 1
 Especificación del 304 y A-36 Espesor: 3,175mm acero
 O BIEN por Tipo y Grado de Especificación O BIEN por Análisis Químico y Propiedades Mecánicas. Especifique.

METAL(ES) DE APORTE (QW - 404 / QW - 432.1)

No. Espec. (SFA)	5,9
No. AWS (Clase)	ER308L
No. F	F-6
No. A	A-8
Tamaño del Aporte	3/32"

Bisel X Filete -----

Fundente (Clase)	Marca	Inserto
Otros	-----	-----

GAS PROTECCION (QW - 408)

Gas(es)	Mezcla	Vel. Flujo (cfh)
Pantalla <u>ARGON</u>	<u>99,90%</u>	<u>15</u>
Respaldo <u>---</u>		


POSICIONES (QW - 405)

Posición de Junta 1G de la Soldadura -----
(Hacia Arriba, Hacia Abajo)

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)

Corriente <u>CC</u>	Polaridad Electrodo <u>-</u>	Pase	Proceso	Metal de aporte	Voltaje	Corriente y polaridad
<small>CC ó CA</small>	<small>(+ ó -)</small>	<u>1</u>	<u>GTAW</u>	<u>ER308L 3/32"</u>	<u>8-11</u>	<u>DCEN</u>
Heat input <u>Kj/mm</u>						
Amperes (Rango) <u>50-80</u>	Voltios (Rango) <u>8 - 11</u>					
Diám. y Tipo Elec. Tungst: <u>AWS A5.12 3/32" EWTh-2</u>						
Tamaño de boquilla: <u>N° 6 (3/8")</u>						

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA



Técnica (QW - 410)

Cordón (Recto o Oscilante) Oscilante
 Pase (Simple ó Multiple) Simple
 Limpieza entre Pases -----
 Metodo: -----

Elaborado Por : ----- Aprobado Por ----- Fecha: -----



ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

(Ver QW - 201, Sección IX, Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión)

Página 1 de 1

Nombre de la Empresa: INGENIAR INOX S.A.S

Especificación de Procedimiento de Soldadura No.: 2 Fecha: 02/03/2015 PQR No.(s): -----

Proceso(s) de Soldadura: GTAW Tipo: MANUAL
SMAW, GMAW, FCAW, GTAW, SAW Automático, Semi Automático, Manual

Soldador: Hugo Hernandez Revisión No.: ----- Fecha: -----

UNIONES (QW - 402)

Diseño de la Unión: A tope

Tipo de soldadura: cuadrada

Abertura de raíz: 1,0 mm Longitud de cara de raíz: -----

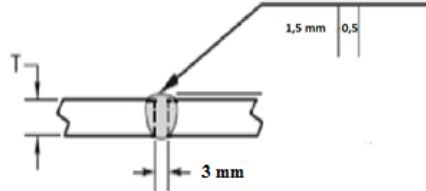
Angulo de ranura: ---

Limpieza de raíz: Si Metodo: Wipers

Plancha: x Tubería: -----

Respaldo: (sí, No) SI

Material de Respaldo (Tipo) Cinta Enmascarar
(Metálico, No Metálico, Metal No Fundente, Otros)



METAL(ES) BASE (QW - 403)

No. P 8 - 1 No. de Grupo 1 - 1

Especificación del 304 y A-36 Espesor: 4,7625 mm acero

O BIEN por Tipo y Grado de Especificación O BIEN por Análisis Químico y Propiedades Mecánicas. Especifique.

METAL(ES) DE APORTE (QW - 404 / QW - 432.1)

No. Espec. (SFA)	5,9
No. AWS (Clase)	ER308L
No. F	F-6
No. A	A-8
Tamaño del Aporte	3/32"

Bisel X Filete -----

Fundente (Clase) ----- Marca ----- Inserto -----

Otros -----

GAS PROTECCION (QW - 408)

Gas(es)	Mezcla	Vel. Flujo (cfh)
Pantalla	ARGON	99,90%
Respaldo	---	15

POSICIONES (QW - 405)

Posición de Junta 1G de la Soldadura -----
(Hacia Arriba, Hacia Abajo)

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)

Corriente	CC	Polaridad Electrodo	-	Pase	Proceso	Metal de aporte	Voltaje	Corriente y polaridad
Heat input	CC ó CA	(+ ó -)		1	GTAW	ER308L 3/32"	8-11	DCEN
Amperes (Rango)	90-110	Kj/mm	8 - 11	2	GTAW	ER308L 3/32"	8-11	DCEN
Diám. y Tipo Elec. Tungst: AWS	A5.12	3/32" EWTh-2						
Tamaño de boquilla:		N° 7 (1/8")						

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Técnica (QW - 410)

Cordón (Recto o Oscilante) Oscilante

Pase (Simple ó Multiple) Simple

Limpieza entre Pases -----

Metodo: -----

Elaborado Por: ----- Aprobado Por: ----- Fecha: -----



ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

(Ver QW - 201, Sección IX, Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión)

Página 1 de 1

Nombre de la Empresa:	INGENIAR INOX S.A.S		
Especificación de Procedimiento de Soldadura No.:	3	Fecha:	02/03/2015 PQR No.(s): -----
Proceso(s) de Soldadura:	GTAW SMAW, GMAW, FCAW, GTAW, SAW	Tipo:	MANUAL Automático, Semi Automático, Manual
Soldador:	Jhon Jairo Gil	Revisión No.:	Fecha:

UNIONES (QW - 402)		
Diseño de la Unión:	A tope	
Tipo de soldadura:	cuadrada	
Abertura de raíz: 1,3 mm	Longitud de cara de raíz:-----	
Angulo de ranura: ---		
Limpieza de raíz: Si	Metodo:Wipers	
Plancha: x	Tubería: -----	
Respaldo: (sí, No) SI		
Material de Respaldo (Tipo)	Cinta Enmascarar	
<small>(Metálico, No Metálico, Metal No Fundente, Otros)</small>		

METAL(ES) BASE (QW - 403)		METAL(ES) DE APORTE (QW - 404 / QW - 432.1)	
No. P	8 - 1	No. de Grupo	1 - 1
Especificacion del acero	304 y A-36	Espesor:	6,35 mm
O BIEN por Tipo y Grado de Especificación O BIEN por Análisis Químico y Propiedades Mecánicas. Especifique.			
GAS PROTECCION (QW - 408)		No. Espec. (SFA)	5,9
Gas(es)	Mezcla	No. AWS (Clase)	ER308L
		No. F	F-6
		No. A	A-8
Pantalla	ARGON	Tamaño del Aporte	3/32"
Respaldo	---	Bisel	X Filete
		Fundente (Clase)	Marca Inserto
		Otros	-----

POSICIONES (QW - 405)	
Posición de Junta	1G de la Soldadura ----- (Hacia Arriba, Hacia Abajo)

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)				PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA				
Corriente	CC	Polaridad Electrodo	-	Pase	Proceso	Metal de aporte	Voltaje	Corriente y polaridad
	CC ó CA		(+ ó -)	1	GTAW	ER308L 3/32"	8-11	DCEN
Heat input	Kj/mm			2	GTAW	ER308L 3/32"	8-11	DCEN
Amperes (Rango)	80-100	Voltios (Rango)	10 - 20	3	GTAW	ER308L 3/32"	8-11	DCEN
Diám. y Tipo Elec. Tungst: AWS	1/8" EWTh-2							
A5.12								
Tamaño de boquilla:	N° 7 (1/8")							
Técnica (QW - 410)								
Cordón (Recto o Oscilante)	Oscilante							
Pase (Simple ó Multiple)	Simple							
Limpieza entre Pases	-----							
Metodo:	-----							

Elaborado Por:	Aprobado Por	Fecha:
----------------	--------------	--------



ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

(Ver QW - 201, Sección IX, Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión)

Página 1 de 1

Nombre de la Empresa: INGENIAR INOX S.A.S

Especificación de Procedimiento de Soldadura No.: 4 Fecha: 02/03/2015 PQR No.(s): -----

Proceso(s) de Soldadura: SMAW Tipo: MANUAL
SMAW, GMAW, FCAW, GTAW, SAW Automático, Semi Automático, Manual

Soldador: Nelson Rayo Revisión No.: ----- Fecha: -----

UNIONES (QW - 402)

Diseño de la Unión: A tope

Tipo de soldadura: cuadrada

Abertura de raíz: 0,5 mm Longitud de cara de raíz: -----

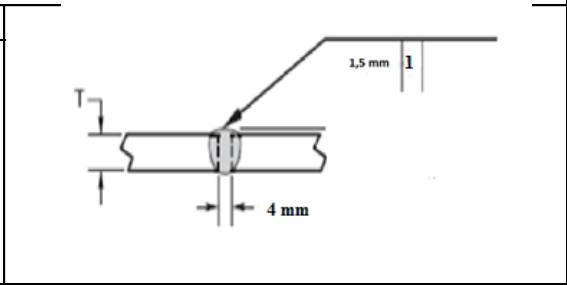
Angulo de ranura: ---

Limpieza de raíz: Si Metodo: Wipers

Plancha: x Tubería: -----

Respaldo: (sí, No) NO

Material de Respaldo (Tipo) Ninguno
(Metálico, No Metálico, Metal No Fundente, Otros)



METAL(ES) BASE (QW - 403)

No. P 8 - 1 No. de Grupo 1 - 1

Especificación del 304 y A-36 Espesor: 3,175 mm acero

O BIEN por Tipo y Grado de Especificación O BIEN por Análisis Químico y Propiedades Mecánicas. Especifique.

GAS PROTECCION (QW - 408)

	Gas(es)	Mezcla	Vel. Flujo (cfh)
Pantalla	---		
Respaldo	---		

METAL(ES) DE APORTE (QW - 404 / QW - 432.1)

No. Espec. (SFA)	5,4
No. AWS (Clase)	E-309L-16
No. F	F-6
No. A	A-8
Tamaño del Aporte	1/8"

Bisel X Filete -----

Fundente (Clase) ----- Marca ----- Inserto -----

Otros -----

POSICIONES (QW - 405)

Posición de Junta 1G de la Soldadura -----
(Hacia Arriba, Hacia Abajo)

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)

Corriente CC Polaridad Electrodo +
CC ó CA (+ ó -)

Heat input 80-110 KJ/mm
 Amperes (Rango) 80-110 Voltios (Rango) 22-28

Diám. y Tipo Elec. Tungst: NO

Tamaño de boquilla: NO

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Pase	Proceso	Metal de apor	Voltaje	Corriente y polaridad
1	SMAW	E-309L-16 3/32"	20-26	DCEP

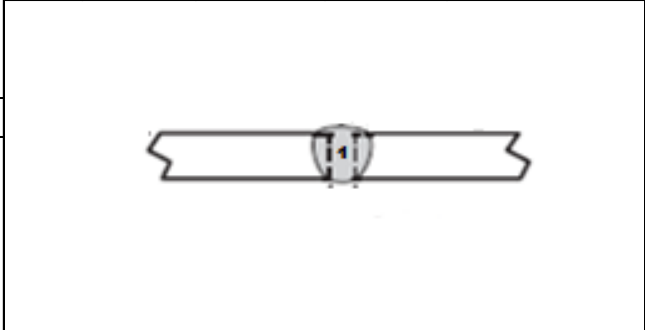
Técnica (QW - 410)

Cordón (Recto o Oscilante) Oscilante

Pase (Simple ó Multiple) Simple

Limpieza entre Pases -----

Metodo: -----



Elaborado Por: ----- Aprobado Por: ----- Fecha: -----



ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

(Ver QW - 201, Sección IX, Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión)

Página 1 de 1

Nombre de la Empresa: INGENIAR INOX S.A.S

Especificación de Procedimiento de Soldadura No.: 5 Fecha: 02/03/2015 PQR No.(s): -----

Proceso(s) de Soldadura: SMAW Tipo: MANUAL
SMAW, GMAW, FCAW, GTAW, SAW Automático, Semi Automático, Manual

Soldador: cesar Gallego Revisión No.: ----- Fecha: -----

UNIONES (QW - 402)

Diseño de la Unión: A tope

Tipo de soldadura: cuadrada

Abertura de raíz: 1,0 mm Longitud de cara de raíz: -----

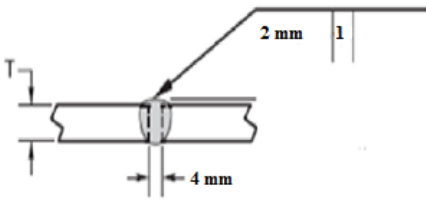
Angulo de ranura: ---

Limpieza de raíz: Si Metodo: Wipers

Plancha: x Tubería: -----

Respaldo: (sí, No) NO

Material de Respaldo (Tipo) Ninguno
(Metálico, No Metálico, Metal No Fundente, Otros)



METAL(ES) BASE (QW - 403)

No. P 8 - 1 No. de Grupo 1 - 1

Especificación del 304 y A-36 Espesor: 4,7625 mm acero

O BIEN por Tipo y Grado de Especificación O BIEN por Análisis Químico y Propiedades Mecánicas. Especifique.

METAL(ES) DE APORTE (QW - 404 / QW - 432.1)

No. Espec. (SFA)	5,4
No. AWS (Clase)	E-309L-16
No. F	F-6
No. A	A-8
Tamaño del Aporte	1/8"

Bisel X Filete -----

Fundente (Clase) ----- Marca ----- Inserto -----

Otros -----

GAS PROTECCION (QW - 408)

	Gas(es)	Mezcla	Vel. Flujo (cfh)
Pantalla	<u>'---</u>		
Respaldo	<u>---</u>		

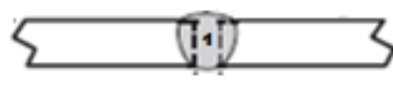
POSICIONES (QW - 405)

Posición de Junta 1G de la Soldadura -----
(Hacia Arriba, Hacia Abajo)

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)

Corriente	CC	Polaridad Electrodo	+	Pase	Proceso	Metal de aporte	Voltaje	Corriente y polaridad
Heat input	CC ó CA		(+ ó -)	1	SMAW	E-309L-16 3/32'	22-28	DCEP
Amperes (Rango)	80-110	Kj/mm	22-28					
Diám. y Tipo Elec. Tungst:	<u>NO</u>							
Tamaño de boquilla:	<u>NO</u>							

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA



Técnica (QW - 410)

Cordón (Recto o Oscilante) Oscilante

Pase (Simple ó Multiple) Simple

Limpieza entre Pases -----

Metodo: -----

Elaborado Por: ----- Aprobado Por: ----- Fecha: -----



ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

(Ver QW - 201, Sección IX, Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión)

Página 1 de 1

Nombre de la Empresa: INGENIAR INOX S.A.S	
Especificación de Procedimiento de Soldadura No.: <u>6</u>	Fecha: <u>02/03/2015</u> PQR No.(s): <u>-----</u>
Proceso(s) de Soldadura: <u>SMAW</u> <small>SMAW, GMAW, FCAW, GTAW, SAW</small>	Tipo: <u>MANUAL</u> <small>Automático, Semi Automático, Manual</small>
Soldador: <u>Nelson Rayo</u>	Revisión No.: <u> </u> Fecha: <u> </u>

UNIONES (QW - 402)	
Diseño de la Unión: <u>A tope</u> Tipo de soldadura: <u>cuadrada</u> Abertura de raíz: <u>1,3 mm</u> Longitud de cara de raíz: <u>-----</u> Angulo de ranura: <u>---</u> Limpieza de raíz: <u>Si</u> Método: <u>Wipers</u> Plancha: <u>x</u> Tubería: <u>-----</u> Respaldo: (sí, No) <u>NO</u> Material de Respaldo (Tipo) <u>Ninguno</u> <small>(Metálico, No Metálico, Metal No Fundente, Otros)</small>	

METAL(ES) BASE (QW - 403)	METAL(ES) DE APORTE (QW - 404 / QW - 432.1)		
No. P <u>8 - 1</u> No. de Grupo <u>1 - 1</u>	No. Espec. (SFA)	5,4	
Especificación del <u>304 y A-36</u> Espesor: <u>6,35 mm</u> acero	No. AWS (Clase)	E-309L-16	
O BIEN por Tipo y Grado de Especificación O BIEN por Análisis Químico y Propiedades Mecánicas. Especifique.	No. F	F-5	
	No. A	A-8	
GAS PROTECCION (QW - 408)	Tamaño del Aporte	1/8"	
Gas(es)	Mezcla	Vel. Flujo (cfh)	
Pantalla	<u>---</u>		
Respaldo	<u>---</u>		
	Bisel <u>X</u>	Filete	
	Fundente (Clase)	Marca	Inserto
	Otros	<u>-----</u>	

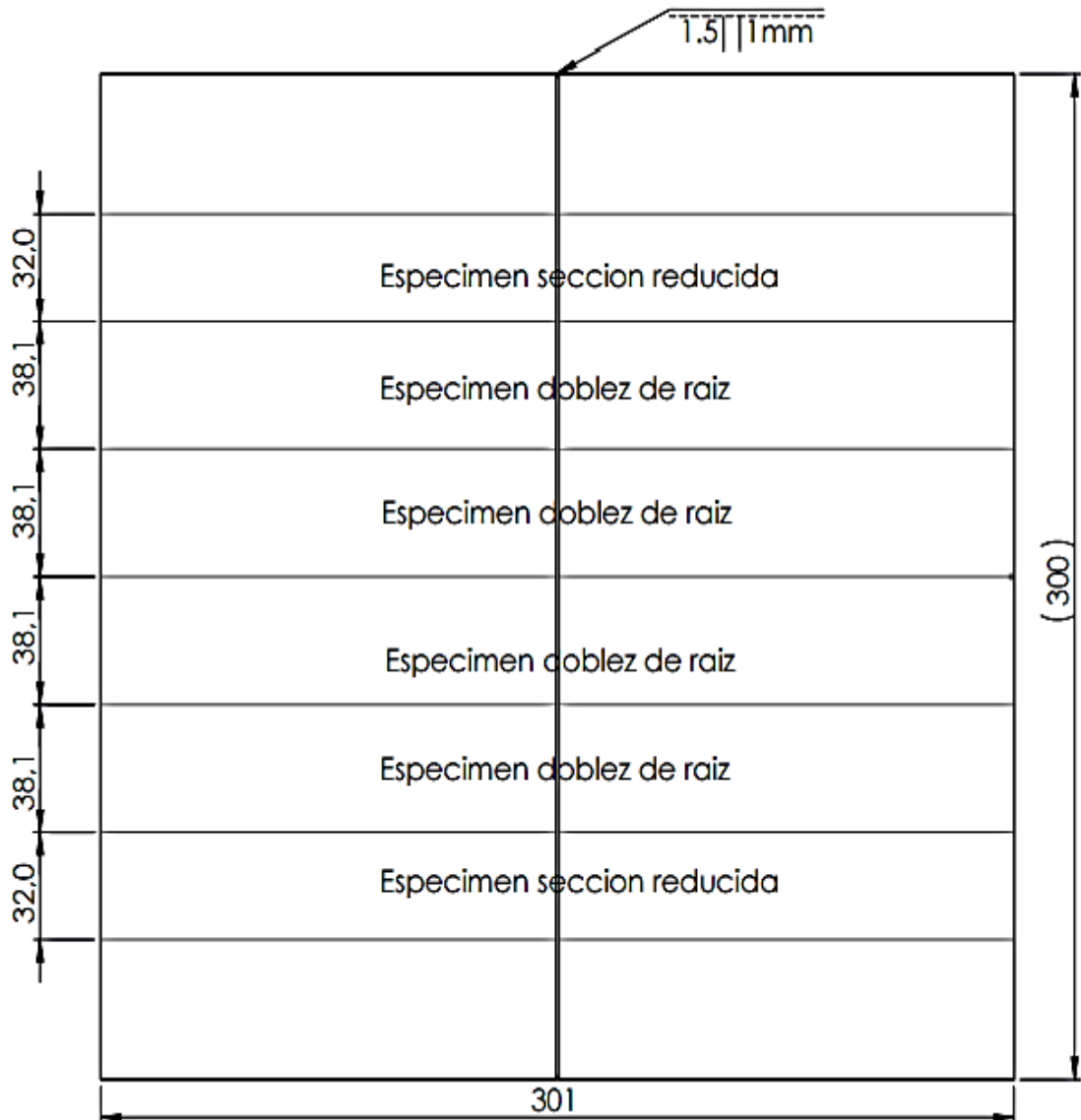
POSICIONES (QW - 405)	
Posición de Junta <u>1G</u> de la Soldadura	<u>-----</u> <small>(Hacia Arriba, Hacia Abajo)</small>

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)	PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA				
Corriente <u>CC</u> Polaridad Electrodo <u>+</u>	Pase	Proceso	Metal de aporte	Voltaje	Corriente y polaridad
<small>CC ó CA</small>	<u>1</u>	<u>SMAW</u>	<u>E-309L-16 3/32"</u>	<u>18-22</u>	<u>DCEP</u>
Heat input <u>Kj/mm</u>	<u>2</u>	<u>SMAW</u>	<u>E-309L-16 3/32"</u>	<u>18-22</u>	<u>DCEP</u>
Amperes (Rango) <u>100-120</u> Voltios (Rango) <u>22-28</u>	<u>3</u>	<u>SMAW</u>	<u>E-309L-16 3/32"</u>	<u>18-22</u>	<u>DCEP</u>
Diám. y Tipo Elec. Tungst: <u>NO</u>					
Tamaño de boquilla: <u>NO</u>					
Técnica (QW - 410)					
Cordón (Recto o Oscilante) <u>Oscilante</u>					
Pase (Simple ó Multiple) <u>Simple</u>					
Limpieza entre Pases <u>-----</u>					
Metodo: <u>-----</u>					

Elaborado Por:	Aprobado Por	Fecha:
----------------	--------------	--------

ANEXO D

- Plano de especificación para el corte de los cupones



- Plano probeta de tracción

