



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

ESTUDIO DE SOLDABILIDAD DE PLACAS Y TUBERIAS DE ACERO INOXIDABLE AISI-304 CON ACEROS ASTM A36 Y ASTM A500 UTILIZANDO EL PROCESO DE SOLDADURA SMAW

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECANICO

LEGÑA OYACATO LIZBETH MARIUXY

lizabeth.legna@epn.edu.ec

OCHOA PEÑA CRISTIAN HOMERO

cristian.ochoa@epn.edu.ec

DIRECTOR: Ing. SOTOMAYOR GRIJALVA MARÍA VERÓNICA, M.SC.

veronica.sotomayor@epn.edu.ec

COLABORADOR: Ing. VELASTEGUI BALDA GABRIEL EDMUNDO, M.SC.

gabriel.velastegui@epn.edu.ec

Quito, enero de 2021

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el trabajo de titulación **ESTUDIO DE SOLDABILIDAD DE PLACAS Y TUBERIAS DE ACERO INOXIDABLE AISI-304 CON ACEROS ASTM A36 Y ASTM A500 UTILIZANDO EL PROCESO DE SOLDADURA SMAW** desarrollado por **Lizbeth Mariuxy Legña Oyacato y Cristian Homero Ochoa Peña**, estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica, habiendo supervisado la realización de este trabajo y realizado las correcciones correspondientes, doy por aprobada la redacción final del documento escrito para que prosiga con los trámites correspondientes a la sustentación de la defensa oral.



Ing. Verónica Sotomayor, M.SC.

DIRECTOR



Ing. Gabriel Velasteguí, M.SC.

COLABORADOR

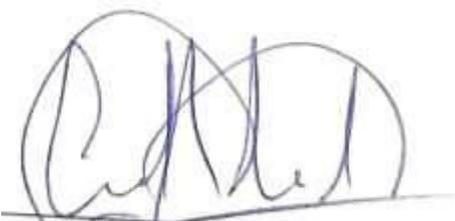
DECLARACIÓN

Nosotros, **Lizbeth Mariuxy Legña Oyacato** y **Cristian Homero Ochoa Peña**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



Lizbeth Mariuxy Legña Oyacato



Cristian Homero Ochoa Peña

DEDICATORIA

A mis papas por darme la vida, por su amor su cariño y el apoyo incondicional que tengo desde que me tuvieron en sus brazos y sobre todo a lo largo de mi vida estudiantil esto es por ustedes y para ustedes.

Para mi Matthew Sebastián, my little brother llegaste en el momento perfecto y eso me motivo e inspiro a seguir en la lucha de cumplir esta meta, eres la luz y la alegría de nuestra familia te amo con todo mi corazón Sebitas de mi vida.

A mi primo Christofer Daniel Iza Oyacato (+), ñaño nos dejaste con grandes lecciones de vida desde el cielo intercede por toda la familia.

Mariuxy

Dedicado con todo mi amor y cariño a mis padres, quienes fueron los pilares principales en la obtención de este, mi primer objetivo, pues ellos con todo su esfuerzo y sacrificios han buscado siempre darme lo mejor. Sus reglas y libertades han forjado a la persona que soy en la actualidad. Por todo lo que han entregado por mí, les entrego mi trabajo como muestra de todo el amor que les tengo.

Cristian Homero

AGRADECIMIENTO

El tiempo de Dios es perfecto agradezco a papito Dios y a mamita María, por todas las bendiciones por no permitir que desmaye en el trascurso de mi carrera universitaria, no fue fácil pero tampoco fue imposible.

A mi papito Leónidas por acompañarme en todas las malas noches y amanecidas de estudio al no dejarme sola, motivándome a no darme por vencida. A mi mamita Teresa, por ese amor incondicional y estar en los buenos y malos momentos te amo mamita mía. A toda mi familia abuelitos, tíos, primos, papá Luu mamá Luu, tía Pauli. A la familia Lasso, madrina Kelly Lasso, por el apoyo y siempre darme ánimo. Sin olvidarme también de la familia Castillo Lucio, mi mejor amiga del colegio Diana Castillo tomamos rumbos diferentes pero la amistad sigue presente.

A la Escuela Politécnica Nacional y la Gloriosa facultad de Ingeniería mecánica y a cada uno de los Ingenieros que formaron parte de mi formación académica por impartir sus conocimientos para poder estar preparada profesionalmente.

A mi directora de tesis Ingeniera Verónica Sotomayor y al Ingeniero Gabriel Velastegui por su paciencia, su tiempo sobre todo por guiarnos y compartir sus conocimientos para realizar este trabajo. A los técnicos docentes y colaboradores de cada uno de los laboratorios con su valiosa ayuda logramos concluir con éxito el proceso experimental.

A mi compañero de tesis Cristian Ochoa, por el arduo trabajo realizado no solo en la parte práctica así también en el trabajo escrito hicimos un buen equipo de trabajo.

A mis hermanos, amigos y compañeros de vida, Marlon P, Johnny M, Dani C, Wilman G, Edu C, Edison Q, Lupita, Andresito U, Ricardo R, Jonathan I, a mi grupo de amigos Israel, Tiago, Santiago, Pancho, Daniel ET, Cindy, Anahí, Llive, Suko, Yorman, Mera, Dave, Willy. A todos ustedes con los que he formado lasos de familia por compartir gratos momentos y de alguna u otra forma han ayudado a cumplir y culminar esta meta.

A la empresa TEK ECUADOR, por darme la oportunidad de realizar mis pasantías al tecnólogo Daniel Calo aparte de considérate, mi hermano gracias por esta oportunidad.

A la empresa pública EP PETROECUADOR REFINERIA SHUSHUFINDI a la jefatura de movilización Ingeniero Milton Campaña, Alexis Iza, Jorge Baño a la Jefatura de proyectos operativos al Ingeniero Eduardo Pérez, Ingeniero Wilson Canga hoy en día superintendente interino de refinería Shushufindi, a grandes seres humanos que la vida me permitió conocer, Alexandra Ordoñez, Carlitos Acosta, Daniel Mora y Leonela.

Mariuxy

A mis padres Inés y Edwin, todo lo que hacen siempre es por nuestro bien y de todos los que están a su alrededor.

A mi hermana Karina, que siempre es parte de mis locuras y arrebatos, siempre estando ahí cuando necesito algún consejo, pese a que seas mi hermana menor siempre serás a quien acuda.

A mi hermano David, pese a los desacuerdos que tenemos siempre voy a estar ahí para apoyarte que lo que necesites, nunca olvides que te quiero mucho, aunque nunca te lo demuestre.

A mis tíos y padrinos Teresa y Romel, quienes me han apoyado desde mis primeros pasos para que pueda cumplir mis metas.

A mis tíos Isabel y Vicente, de quienes siempre he sentido su apoyo, abriéndome las puertas de su hogar y siempre brindándome su cariño.

A toda mi familia, que han dedicado al menos un poco de tiempo para enseñarme nuevas cosas, brindarme aportes invaluable que servirán para el resto de mi vida.

A mi tutora Ingeniera Verónica Sotomayor, por toda su paciencia y apoyo que nos brindó en la elaboración de la tesis.

A mis amigos y compañera de tesis, gracias por haber sido parte de mi vida universitaria, compartiendo siempre buenos momentos.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica, por las experiencias vividas que nunca se olvidaran.

Cristian Homero

ÍNDICE DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABLAS	ii
LISTA DE ANEXOS	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Aceros al carbono.....	3
1.1.1. Clasificación de los aceros al carbono.....	3
1.1.1.1. Aceros con bajo contenido de carbono.....	4
1.1.1.2. Aceros con medio contenido de carbono.....	5
1.1.1.3. Aceros de alto contenido de carbono.....	5
1.1.2. Aceros al carbono y su soldabilidad.....	5
1.1.3. Fallas características de soldadura.....	6
1.1.3.1. Agrietamiento inducido por hidrogeno	6
1.1.3.2. Agrietamiento durante la solidificación.....	7
1.1.3.3. Desgarramiento laminar	8
1.2. Aceros inoxidables.....	9
1.2.1. Clasificación de los aceros inoxidables.....	10
1.2.1.1. Austeníticos (Serie AISI 200-300).....	10
1.2.1.2. Ferríticos (Serie AISI 400).....	11
1.2.1.3. Martensíticos (Serie AISI 400-500).....	11
1.2.1.4. Endurecidos por precipitación (P.H.)	11
1.2.1.5. Estructura dúplex.....	12
1.2.2. Propiedades mecánicas de los aceros inoxidables austeníticos	12
1.2.3. Fallas en la soldadura de aceros inoxidables austeníticos	13
1.2.3.1. Precipitación de carburos.....	13
1.2.3.2. Fisuración en caliente.....	13
1.2.3.3. Formación fase sigma	14
1.3. Soldabilidad	14

1.3.1.	Soldadura por arco manual con electrodo revestido (SMAW)	14
1.3.2.	Soldadura de metales disímiles	16
1.3.3.	Selección de electrodos	16
1.3.3.1.	Generalidades.....	16
1.3.3.2.	Diagrama de Schaeffler.....	17
1.3.3.3.	Tipos de electrodos disponibles para materiales disímiles	18
1.4.	Ensayos que determinan la soldabilidad.....	18
1.4.1.	Análisis químico de metales.....	19
1.4.1.1.	Espectrometría de emisión por chispa.....	19
1.4.2.	Ensayos no destructivos (END).....	20
1.4.2.1.	Ensayo de inspección visual	20
1.4.2.2.	Ensayos de tintas penetrantes	21
1.4.2.3.	Ensayos de radiografía industrial	22
1.4.3.	Ensayos destructivos.....	23
1.4.3.1.	Ensayos de tracción.....	23
1.4.4.	Ensayos de metalografía	24
1.4.4.1.	Diagrama hierro-carbono.....	25
2.	METODOLOGÍA.....	26
2.1.	Descripción de materiales.....	27
2.1.1.	Materiales Base	27
2.1.2.	Electrodos.....	27
2.2.	Preparación de probetas para soldadura.....	27
2.3.	Proceso de soldadura SMAW	28
2.3.1.	Experimentación inicial.....	30
2.3.2.	Experimentación final	31
2.4.	Análisis químico de los materiales	33
2.5.	Ensayos No Destructivos (END).....	34
2.5.1.	Inspección visual (VT)	35
2.5.2.	Examen radiográfico (RX)	35
2.5.2.1.	Criterios de aceptación del examen radiográfico.....	37
2.5.3.	Tintas penetrantes (PT).....	38
2.5.3.1.	Criterios de aceptación de tintas penetrantes.....	40
2.6.	Preparación de las probetas de ensayos mecánicos	40
2.6.1.	Equipo de corte.....	41
2.7.	Ensayos Mecánicos.....	42
2.7.1.	Pruebas de tracción.....	42

2.7.1.1.	Sección reducida- Placa.....	42
2.7.1.2.	Sección reducida- Tubería	43
2.7.1.3.	Realización de la Prueba de Tensión	44
2.7.1.4.	Criterio de aceptación pruebas de tracción	45
2.7.2.	Ensayo de dobléz	45
2.7.2.1.	Muestras	45
2.7.2.1.1.	Doblado transversal de la cara.....	46
2.7.2.1.2.	Doblado transversal de la raíz.....	46
2.7.2.2.	Procedimiento de Prueba de doblado	47
2.7.2.3.	Criterio de aceptación- Pruebas de doblado.....	48
2.8.	Análisis metalográfico.....	49
2.8.1.	Metalografías	51
2.8.1.1.	Macrografías	51
2.8.1.2.	Micrografías	51
2.8.2.	Diagrama de Scheffer.....	52
2.9.	Pruebas de dureza	53
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
3.1.	Composición química aplicado en el material base.....	54
3.2.	Ensayos no destructivos.....	56
3.2.1.	Resultados del ensayo de inspección visual	56
3.2.2.	Resultados del ensayo de radiografía industrial	57
3.2.3.	Resultados del ensayo de tintas penetrantes	57
3.3.	Ensayos destructivos.....	58
3.3.1.	Resultados de los ensayos de tracción.....	58
3.3.2.	Resultados de los ensayos de dobléz de cara y de raíz	60
3.4.	Estudio metalográfico	62
3.4.1.	Resultados de la macrografía	62
3.4.2.	Resultados de micrografía.....	65
3.4.3.	Resultados del Diagrama Schaeffler.....	65
3.5.	Estudio de dureza.....	69
3.6.	Discusión de resultados	72
3.6.1.	Discusión de composición química del material base	72
3.6.2.	Discusión del ensayo de inspección visual.....	72
3.6.3.	Discusión del ensayo de radiografía industrial	72
3.6.4.	Discusión del ensayo de tintas penetrantes	73
3.6.5.	Discusión del ensayo tracción.....	74

3.6.6.	Discusión del ensayo de tracción en el material base.....	76
3.6.7.	Discusión del ensayo de dobles de cara y raíz.....	77
3.6.8.	Discusión de macrografías.....	78
3.6.9.	Discusión de micrografías.....	79
3.6.10.	Discusión de Diagrama Schaeffler.....	79
3.6.11.	Discusión del ensayo de dureza.....	80
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
4.1.	CONCLUSIONES.....	82
4.2.	RECOMENDACIONES.....	84
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
	ANEXOS.....	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Clasificación de los aceros.....	4
Figura 1.2 - Agrietamiento por solidificación en soldadura.....	8
Figura 1.3 - Desgarramiento laminar.....	8
Figura 1.4 – ZAC de una soldadura.....	13
Figura 1.5 - Fase sigma, micrografías 400X.....	14
Figura 1.6 - Diagrama de proceso de soldadura.....	15
Figura 1.7 - Diagrama Schaeffler.....	17
Figura 1.8 - Sistema óptico.....	20
Figura 1.9 - Inspección Visual.....	21
Figura 1.10 - Clasificación de tintas penetrantes.....	22
Figura 1.11 - Esquema de toma de radiografía.....	23
Figura 1.12 - Máquina universal de ensayos.....	24
Figura 1.13 - Diagrama esfuerzo – deformación.....	24
Figura 1.14 - Diagrama hierro-carbono.....	25
Figura 2.1 - Metodología.....	26
Figura 2.2 - Placas metálicas, material base.....	28
Figura 2.3 - Tuberías, material base.....	28
Figura 2.4 - Soldadura proceso SMAW.....	29
Figura 2.5 - Respaldos en placas planas.....	30
Figura 2.6 - Respaldos en tubería.....	31
Figura 2.7 - Designación de muestras en placas planas.....	32
Figura 2.8 - Designación de muestras en tuberías.....	33
Figura 2.9 - Equipo para determinar la composición química.....	33
Figura 2.10 – Examen de inspección visual.....	35
Figura 2.11 - Kit de inspección visual.....	39
Figura 2.12 - Penetrante colocado en tubería.....	39
Figura 2.13 - Revelador colocado en tubería.....	40
Figura 2.14 - Corte de placas.....	41
Figura 2.15 - Corte de tubería.....	41
Figura 2.16 - Equipo de corte de placas.....	42
Figura 2.17 - Sección reducida probeta de tensión de placas.....	43
Figura 2.18 - Sección reducida probeta de tensión de tubería.....	43
Figura 2.19 - Probetas de tensión placas, tubería cuadrada y redonda.....	44

Figura 2.20 - Máquina universal para el ensayo de tracción.....	44
Figura 2.21 - Especificaciones para el doblado de cara-raíz.	46
Figura 2.22 - Probetas cortadas para el ensayo de doblado de cara-raíz en placas.	46
Figura 2.23 - Probetas cortadas para el ensayo de doblado de cara-raíz en tubería cuadrada.	47
Figura 2.24 - Probetas cortadas para el ensayo de doblado de cara-raíz en tubería redonda.	47
Figura 2.25 - Jig y dimensiones para el ensayo de Doblado.....	48
Figura 2.26 - Prensa hidráulica para el ensayo de doblado.	48
Figura 2.27 - Preparación de las muestras. a) Pulido, b) Identificación, c) Moldeo, d) Colocación de resina.	49
Figura 2.28 - Pulidor de probetas.....	50
Figura 2.29 - Muestras pulidas y atacadas químicamente.	50
Figura 2.30 - Microscopio macrográfico.....	51
Figura 2.31 - Microscopio micrográfico.....	52
Figura 2.32 - Diagrama Schaeffler.	53
Figura 2.33 - Probeta para análisis de dureza.	53
Figura 3.1 - Comparación química del acero ASTM A36.	55
Figura 3.2 - Comparación química del acero ASTM A500.	55
Figura 3.3 - Comparación química del acero inoxidable AISI 304.	56
Figura 3.4 - Resultados ensayo de tracción en placas planas.	59
Figura 3.5 - Resultados ensayo de tracción en tubería cuadrada.....	59
Figura 3.6 - Resultados ensayo de tracción en tubería redonda.....	60
Figura 3.7 - Porcentaje de ZAC por cada material de aporte en macrografías en placas.	64
Figura 3.8 - Porcentaje de ZAC por cada material de aporte en macrografías en tuberías.	64
Figura 3.9 - Diagrama Schaeffler de la muestra P1 con una composición final de Martensita.	67
Figura 3.10 - Diagrama Schaeffler de la muestra P2 con una composición final de Martensita.	67
Figura 3.11 - Diagrama Schaeffler de la muestra P3 con una composición final de 17% Ferrita + Austenita.	68
Figura 3.12 - Diagrama Schaeffler de la muestra P4 con una composición final de 1% Ferrita + Austenita + Martensita.	68

Figura 3.13 - Diagrama Schaeffler de la muestra P5 con una composición final de 7% Ferrita + Austenita.	69
Figura 3.14 - Diagrama de barrido de dureza.	70
Figura 3.15 - Dureza del acero inoxidable AISI 304 después de realizar la soldadura (P1).	71
Figura 3.16 - Dureza del acero inoxidable AISI 304 en zona afectada por el calor (P2). .	71
Figura 3.17 – Comparación de dureza en tuberías de acero al carbono ASTM A 500 después de realizar la soldadura (P5).	72
Figura 3.18 - Valor porcentual de la resistencia a la tracción en placas.	74
Figura 3.19 - Valor porcentual de la resistencia a la tracción en tubos cuadrados.	75
Figura 3.20 - Valor porcentual de la resistencia a la tracción en tubos redondos.	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 - Aceros al carbono y sus principales características	6
Tabla 1.2 - Principales fuentes de hidrogeno en los procesos de soldadura	7
Tabla 1.3 - Serie designada de los aceros inoxidables	9
Tabla 1.4 - Tipos de aceros inoxidables	10
Tabla 1.5 - Aceros inoxidables austeníticos más comunes con sus propiedades.	12
Tabla 1.6 - Electrodoos disponibleos para materiales disímiles.	18
Tabla 2.1 - Composición química de los electrodoos	27
Tabla 2.2 - Dimensiones de las probetas a soldar	28
Tabla 2.3 - Ficha técnica del equipo de soldadura utilizado.	29
Tabla 2.4 - Codificación de las uniones soldadas planas.	32
Tabla 2.5 - Codificación de las uniones soldadas tubería redonda tubería cuadrada	32
Tabla 2.6 - Especificaciones técnicas del equipo de espectrometría.	34
Tabla 2.7 - Especificaciones técnicas del equipo de radiografía	35
Tabla 2.8 - Codificación de Placas	36
Tabla 2.9 - Codificación de tubería cuadrada	36
Tabla 2.10 - Codificación de tubería redonda	37
Tabla 2.11 - Números P. Agrupación de metales base para la calificación.	45
Tabla 3.1 - Composición química nominal del material base	54
Tabla 3.2 - Resultados del ensayo de inspección visual.	56
Tabla 3.3 - Resultados del ensayo de radiografía industrial.	57
Tabla 3.4 - Resultados del ensayo de líquidos penetrantes.	58
Tabla 3.5 - Resumen de ensayo de dobles	61
Tabla 3.6 - Defectos más evidentes en el ensayo de dobles de cara y raíz.	61
Tabla 3.7 - Resumen de resultados obtenidos en macrografías.	63
Tabla 3.8 - Cromo y níquel equivalente en placas planas soldadas con diferentes materiales de aporte	65
Tabla 3.9 - Resultado del barrido de dureza en las juntas soldadas	69

LISTA DE ANEXOS

Anexos I - WPS de los procedimientos de soldadura.....	87
Anexos II - Informe del ensayo de espectrometría	102
Anexos III - Informe del ensayo de tensión.....	107
Anexos IV - Resultados del ensayo de doblado	111
Anexos V - Resultados del análisis macrográfico.....	115
Anexos VI - Resultados del análisis micrográfico.....	120

RESUMEN

El presente trabajo estudia la soldabilidad de materiales disímiles de un acero inoxidable AISI 304 y acero al carbono ASTM A36 en placas y ASTM A500 en tubería, mediante el proceso de soldadura SMAW con el uso de 5 diferentes tipos de material de aporte E7018, E6010, E312 E308 y E309L. Se describe la metodología del desarrollo experimental referidos a la norma ASME IX para establecer los criterios de aceptación en los ensayos realizados. Iniciando con la adquisición de los materiales, seguido por la caracterización de los materiales para garantizar la calidad de estos, después el corte y preparación de las juntas a ser soldadas con el proceso de soldadura SMAW. Una vez obtenido las juntas soldadas se realizó los ensayos no destructivos incluyen inspección visual, tintas penetrantes y rayos x. Posteriormente se realizó los ensayos destructivos que consisten en ensayos de tracción, doblado de cara y doblado de raíz. Luego se realizó el análisis metalográfico de las ZAC de las uniones soldadas. Se realizó el ensayo de dureza en 5 puntos estratégicos de la soldadura. Para finalizar se describe el análisis y la comparación de los resultados obtenidos en el desarrollo experimental y así obtener un material de aporte óptimo para la soldadura de materiales disímiles entre aceros inoxidable y acero de bajo contenido de carbono.

Palabras clave: materiales disimiles, acero inoxidable AISI 304, SMAW, soldabilidad, ZAC.

ABSTRACT

The present work studies the weldability of dissimilar materials of an AISI 304 stainless steel and carbon steel ASTM A36 in plates and ASTM A500 in piping, by means of the SMAW welding process with the use of five types of electrodes E7018, E6010, E312 E308 AND E309L. The experimental development methodology referred to the ASME IX standard for establishing acceptance criteria in the tests carried out is described. Starting with the acquisition of the materials, followed by the characterization of the materials to ensure the quality of the materials, then the cutting and preparation of the joints to be welded with the SMAW welding process. Once the welded joints were obtained, the non-destructive tests included visual inspection, penetrating inks and x-rays subsequently, destructive tests consisting of traction, face bending and root bending tests were carried out. The metallographic analysis of the VAC of the welded joints was then performed. The hardness test was carried out on 5 strategic points of the weld. Finally, we describe the analysis and comparison of the results obtained in the experimental development and thus obtain an optimal contribution material for welding dissimilar materials between stainless steels and low carbon steel.

Keywords: dissimilar materials, AISI 304 stainless steel, SMAW, weldability, ZAC.

ESTUDIO DE SOLDABILIDAD DE PLACAS Y TUBERIAS DE ACERO INOXIDABLE AISI-304 CON ACEROS ASTM A36 Y ASTM A500 UTILIZANDO EL PROCESO DE SOLDADURA SMAW

INTRODUCCIÓN

EL acero inoxidable puede ser el acero de elección para muchas aplicaciones, pero cuando se trata de la fabricación de piezas totalmente de acero inoxidable y más aún si se considera la creación de un equipo de gran escala el costo puede ser muy elevado.

Esto crea la oportunidad de utilizar acero inoxidable solo en áreas específicas, por ejemplo, en zonas de alto calor o áreas corrosivas, y luego usar acero de bajo contenido de carbono en zonas de menores solicitaciones. Al realizar el proceso de soldadura SMAW en aceros inoxidables austeníticos, en su microestructura se forman carburos de cromo de manera preferencial debido al enfriamiento no controlado, lo cual sensibiliza al acero inoxidable.

El aporte del presente trabajo es el estudio de soldabilidad de aceros inoxidables austeníticos AISI 304 con acero al carbono ASTM A-36 y ASTM-A500 en placas y tuberías con el uso de cinco tipos de electrodos: E7018, E6010, E312, E308L y E309L, brindando una comparación de comportamiento mecánico (Ensayos mecánicos, análisis metalográficos y micro dureza), soldados mediante el proceso SMAW. Determinando el electrodo revestido adecuado, con el cual se debe cumplir los requisitos indispensables para que la soldadura se aprobada por las normas.

Al concluir el presente proyecto se tiene un estudio completo de las uniones soldadas de materiales disimiles, se analiza si es posible o no soldar y además para determinar e identificar las limitaciones de ese proceso.

De esta manera aportar a la industria del país donde se presente la necesidad de unir materiales disimiles específicamente aceros inoxidables con acero al carbono con el material de aporte que cumpla las condiciones descritas en la norma ASME IX.

Objetivo general

Estudiar la soldabilidad de materiales disímiles entre el acero de bajo carbono ASTM A36 con un acero inoxidable AISI 304 en placas y entre el acero de bajo carbono ASTM A500 con un acero inoxidable AISI 304 en tuberías en base a sus propiedades mecánicas referente a la norma ASME IX.

Objetivos específicos

- Estudiar la microestructura, dimensiones y característica presentes de los cordones de soldadura realizados.
- Caracterizar la zona afectada por el calor causada por la soldadura SMAW en el metal base.
- Realizar los ensayos requeridos para determinar la aprobación de estas soldaduras, basado en la norma ASME IX.
- Identificar las limitaciones de la soldadura SMAW mediante el análisis de resultados.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Aceros al carbono

Es uno de los principales aceros que se producen mundialmente, con un estimado de un 90% del total de la fabricación de aceros comprende a los aceros referentes al carbono y el 10% restante corresponde a todas las aleaciones que se pueden realizar en los aceros. Los aceros debido a las varias aplicaciones que posee en la industria también se los conoce como aceros de construcción, el carbono presente en los aceros generalmente no es mayor al 1% de la composición total. En las aleaciones están presentes varios elementos indispensables para mejorar las propiedades en la producción de los aceros, tales como Si y Mn, y existen otros que se les considera impurezas por la dificultad de extraerlos totalmente, como el P, S, H y oxígeno. Al aumentar la cantidad de carbono presente en el acero al carbono, su resistencia a la tracción y su índice de fragilidad incrementan, además, su ductilidad y tenacidad se reduce considerablemente. (León Nuñez, 2016)

Para la identificación de los aceros al carbono y aleaciones de acero se utilizan las siguientes nominaciones: Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI), Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) o Sociedad Americana de Pruebas en Materiales (ASTM).

Las designaciones AISI y SAE se constituyen por cuatro cifras. En las cuales, las dos primeras especifican la cantidad de elementos aleantes presentes en el acero (1 y 0 para aceros, y 13, 41 o 43 para aceros aleados), y las 2 últimas el contenido total en peso de carbono multiplicado por cien. Por ejemplo, el acero código AISI 1015, con un 0.15% de contenido en peso total de carbono y sin elementos aleantes. Por lo general se utiliza las designaciones AISI y SAE para la elaboración de planchas, barras y tiras, mientras que las designaciones ASTM se especifican en productos como perfiles estructurales. (Villavicencio Cevallos, 2010)

1.1.1. Clasificación de los aceros al carbono

Se clasifican de acuerdo a la composición química que tienen o por la manera en la cual fueron manufacturados, los cuales se describen en la Figura 1 en base a sus características de soldabilidad:



Figura 1.1 - Clasificación de los aceros.
(Fuente propia, 2020)

1.1.1.1. Aceros con bajo contenido de carbono.

El acero con el mayor porcentaje de fabricación en la industria es el de bajo contenido de C. Este posee un contenido menor al 0.25 % en peso de carbono, con una microestructura ferrítica-perlítica. Estos son materiales blandos y con poca resistencia, con buenas propiedades mecánicas como la ductilidad y tenacidad, de la misma manera, facilidad al momento de mecanizarlos, excelente soldabilidad y de bajo costo, apropiados para la producción de vigas (canales, ángulos y vigas), carrocerías y estructuras para la construcción (estructuras, edificaciones y puentes). El límite elástico en estos aceros suele ser de 275 MPa, una resistencia a la tracción en el intervalo de 415 y 550 MPa. (Callister, 2005)

La adicción de algunos elementos aleantes como el Cu, Va, Ni y Mo en combinación en peso compuesto aproximado al 10 % en total, estos dan paso a otro grupo conocidos como HSLA (aceros de bajo carbono con alta resistencia y baja aleación). Por tanto, poseen una resistencia mecánica mayor que los aceros de bajo contenido de C comunes; esta propiedad se la puede aumentar mediante la aplicación de un tratamiento térmico manteniendo sus propiedades de ductilidad y fácil mecanizado. (Callister, 2005)

1.1.1.2. Aceros con medio contenido de carbono.

Comprenden entre el 0.25 y 0.60 % en peso total de contenido de C. La martensita revenida es su principal microestructura. Son aceros que poseen una baja templeabilidad, que no pueden ser tratados térmicamente a menos que sean piezas de sección delgada y altas velocidades de temple. La añadidura de Cr, Ni y Mo facilitan el tratamiento térmico que en su ausencia es difícil y útil solo para secciones de pieza relativamente delgadas. Estos aceros poseen una mayor resistencia que los aceros con bajo porcentaje de carbono. Las típicas aplicaciones de este acero es la fabricación de cinceles, martillos, cigüeñales, pernos, hojas de cierra, etc. (Callister, 2005).

1.1.1.3. Aceros de alto contenido de carbono.

Esta clase de acero corresponden entre el 0.60 y 1.4 % de contenido en peso de C. Poseen una mayor dureza y resistencia mecánica que los demás aceros al carbono sin embargo poseen una menor ductilidad. A estos aceros siempre se les aplica el tratamiento térmico de templado y revenido, los cuales mejoran las propiedades mecánicas como la resistencia al desgaste, son utilizados para la fabricación de herramienta de corte debido a que pueden ser moldeados. Habitualmente contienen como aleantes Cr, Va, W y Mo, los cuales dan carburos con una mayor dureza. Su principal aplicación es la fabricación de herramientas de corte, aunque también se pueden fabricar herramientas para herrería y elementos de maquinado de madera. Por ejemplo: herramientas de alta resistencia, matrices, brocas, etc. (Callister, 2005)

1.1.2. Aceros al carbono y su soldabilidad

En los aceros al carbono su soldabilidad depende directamente del porcentaje de carbono presente en su estructura, sin embargo, en caliente se tiende a agrietar. Por lo consiguiente, se debe estimar varios factores ya citados para obtener un mejor diseño de las juntas soldadas para mejorar las propiedades de las soldaduras realizadas mediante este procedimiento.

En la Tabla 1.1 se indica una breve descripción de las propiedades de soldabilidad, aplicaciones y principales limitaciones en los tipos de aceros previamente descritos.

Tabla 1.1 - Aceros al carbono y sus principales características.

	Porcentaje de carbono	Soldabilidad	Observaciones	Aplicaciones
Aceros bajo carbono	0.25 Max.	Óptima	Óptimo para cualquier soldadura	Perfiles y barras estructurales laminadas
Aceros medio carbono	0.25 - 0.60	Con Cuidados Especiales	Pre calentamiento	Partes de Maquinaria
			Post Calentamiento	
Aceros alto carbono	0.6 - 1.4	Alto Riesgo	Susceptible a Agrietamiento	Resortes, troqueles y rieles de ferrocarril
			Excesiva dureza y fragilidad	

(Fuente Propia, 2020)

1.1.3. Fallas características de soldadura

Las fallas características de soldadura halladas en los aceros al carbono son muy frecuentes, seguidamente, se presenta una breve descripción de las fallas más comunes.

1.1.3.1. Agrietamiento inducido por hidrogeno

Los aceros al carbono son muy propensos a la fragilización por hidrógeno, debido a que se produce por debajo de los 150°C durante el proceso de enfriamiento después de haber realizado la soldadura en los aceros al carbono, en la cual el hidrógeno atómico se difunde en el material y se deposita en la estructura reticular del metal. Puede suceder tanto en la unión soldada como en la ZAC, cuando en una microestructura susceptible a agrietamientos se encuentran presentan átomos de hidrogeno juntos a los esfuerzos de tensión, como la estructura martensítica.

El hidrógeno se encuentra en el medio ambiente por lo que se puede añadir a la soldadura de diferentes maneras como residuos presentes en el material base, material de aporte, gas de protección o la húmeda ambiental. A pesar de esto, cada proceso tiene asociado una propia fuente de hidrógeno, las cuales se presentan de manera resumida en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 - Principales fuentes de hidrógeno en los procesos de soldadura.

Proceso	Origen del hidrógeno
SMAW	<ul style="list-style-type: none">• La combustión que se produce en el vapor de agua.• Agua cristalizada.
SAW	<ul style="list-style-type: none">• Humedad almacenada en el material de aporte.
GMAW	<ul style="list-style-type: none">• Humedad almacenada en el material de aporte.• Gas de protección con humedad.• Defectos en la pistola.

(Fuente Propia, 2020)

1.1.3.2. Agrietamiento durante la solidificación

Se presenta normalmente en aceros al carbono al momento de ser sometidos a un proceso de soldadura, donde, se presentan agrietamiento en caliente, el cual consiste en una serie anomalías presentes en el metal a elevadas temperaturas. Se producen cuando la resistencia del material base en la soldadura son superadas por las tensiones de tracción desarrolladas en los bordes de granos contiguos durante la fase terminal de solidificado. Estas grietas son intergranulares o interdendriticas, y la causa principal es por la presencia de sulfuros, fosfuros, nitruros, carburos, etc., sustancias presentes con bajo punto de fusión en la composición química del material El Si y el Mn son aleantes que generan una reducción de la vulnerabilidad al agrietamiento en caliente en los aceros. (iVACE, 2016)

El metal base adyacente también puede contraerse, pero no de la misma manera que en la soldadura, debido a que este no alcanza una alta temperatura. De esta manera, en la zona que se está solidificando del metal su contracción puede ser obstruida por el metal base, principalmente si la pieza soldada está limitada y no puede contraerse libremente. Las grietas producidas en la soldadura generalmente ocurren a lo largo de la línea del cordón, tal como podemos observar en la Figura 1.2.

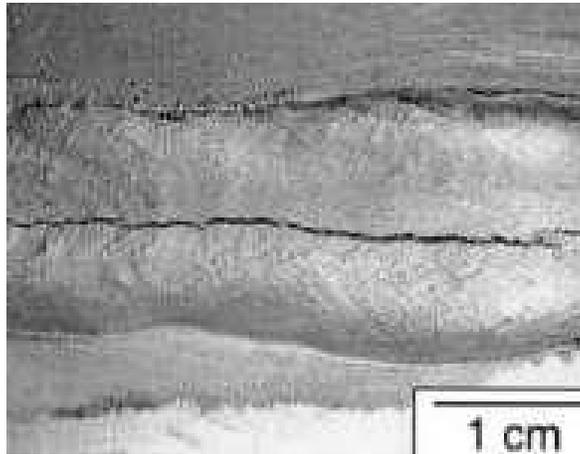


Figura 1.2 - Agrietamiento por solidificación en soldadura.
(iVACE, 2016)

1.1.3.3. Desgarramiento laminar

Son las separaciones provocadas en la soldadura debido a las restricciones de movilidad presentes en el material base. La presencia de inclusiones en el acero, la mayoría de veces tienden a producir desgarramiento internos con una apariencia laminar y fibrosa, debido a los altos esfuerzos generados en la soldadura, los cuales se desarrollan de manera perpendicular al plano medio de las láminas, o bien paralelos a este en el interior de las chapas gruesas, soldaduras de ranuras o soldadura de filete. Esta falla se puede observar en la Figura 1.2.

Un desgarramiento laminar solamente puede suceder en el material base y aun cuando pueda originarse cerca de la sobre monta o raíz de una soldadura, frecuentemente el desgarramiento se genera lejos de la ZAC y no se propaga hacia la superficie.

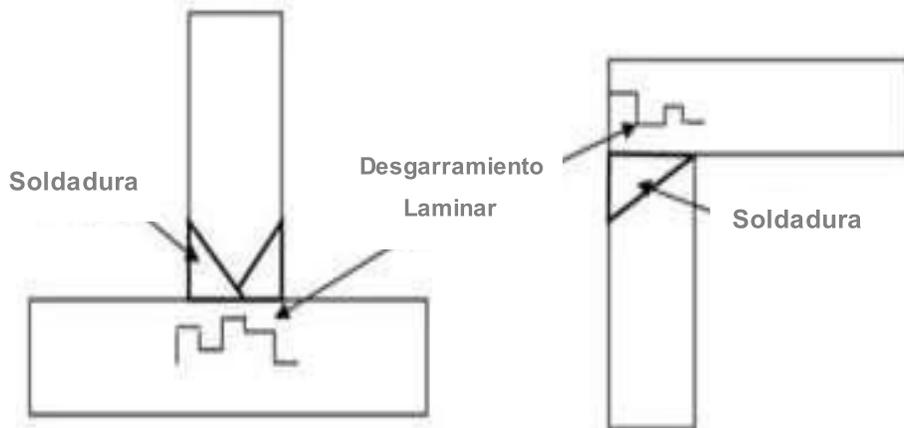


Figura 1.3 - Desgarramiento laminar.
(Fuente Propia, 2020)

1.2. Aceros inoxidable

Es un tipo de acero de baja aleación compuesta por Fe, carbono y como aleante que le da las propiedades inoxidable el cromo. El hierro es el elemento como mayor cantidad presente en los aceros inoxidable. No obstante, para hacer que el acero sea “inoxidable”, el porcentaje de cromo presente en la mezcla debe tener un mínimo del 11,5% en peso. Con la finalidad de mejorar e incluir ciertas propiedades al acero inoxidable se agregan otros aleantes como son Ni, Cu, Mo, Al, Ti, Si, S y Se. El máximo contenido de cromo presente en la solución es del 30% y un 50% la cantidad mínima de contenido de hierro. Habitualmente el porcentaje de carbono en estos aceros va desde un 0.03 % hasta 1,2% en ciertas calidades martensíticas. (INDURA S.A., 2010)

A más de ser un acero de gran pureza, es resistente a la corrosión debido a que posee un elemento aleante como el cromo que al reaccionar con el oxígeno forman una pequeña película dura, delgada y muy adherente sobre la superficie, de la misma manera, este puede actuar como un material estabilizador de ferrita.

Para la identificación de los aceros inoxidable se utiliza un sistema de numeración de tres dígitos, el primer número indica el grupo al que pertenece, sin embargo, los dos siguientes números no poseen un significado específico que describa alguna cualidad de los aceros inoxidable, esto se puede observar en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3 - Serie designada de los aceros inoxidable.

Serie designada	Características
2XX	<ul style="list-style-type: none">Son aceros austeníticos (no magnéticos), no pueden aumentar su dureza, debido a que no pueden ser tratados térmicamente. Están conformados principalmente por Cr-Ni-Mn.
3XX	<ul style="list-style-type: none">Son aceros austeníticos (no magnéticos), no pueden aumentar su dureza, debido a que no pueden ser tratados térmicamente. Están conformados principalmente por Cr-Ni.
4XX	<ul style="list-style-type: none">Son aceros Martensíticos (magnéticos), pueden aumentar su dureza por trabajos en frío o caliente. Están conformados principalmente por Cr.
4XX	<ul style="list-style-type: none">Son aceros ferríticos (no magnéticos), no pueden aumentar su dureza. Están conformados principalmente por Cr
5XX	<ul style="list-style-type: none">Son aceros resistentes al calor, y poseen un bajo contenido de Cr.

(Avner, 1988)

1.2.1. Clasificación de los aceros inoxidable

Existe una gran cantidad de variaciones de aceros inoxidable. Sus propiedades mecánicas y costos varían en un amplio rango de posibilidades, debido a esto es importante la adecuada selección del acero inoxidable para cada aplicación. Todas estas variaciones nos permiten dividir a estos aceros en 5 principales grupos, definidos en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4 - Tipos de aceros inoxidable.

Acero inoxidable	Propiedades	Usos comunes
Austeníticos	Alta resistencia a la corrosión. Buena soldabilidad. Fácil limpieza y condición de higiene. No magnéticos.	Industria alimenticia. Industria química. Turbinas de aviones. Usos en arquitectura.
Ferríticos	Moderada-alta resistencia a la corrosión. Baja soldabilidad. No pueden ser tratadas térmicamente. Magnéticos. Baja resistencia al impacto.	Utensilios cocina. Escapes de vehículos. Artículos ornamentales.
Martensíticos	Moderada resistencia a la corrosión. Baja soldabilidad. Pueden ser templados. Magnéticos.	Hojas para cuchillos. Instrumentos quirúrgicos. Resortes. Ejes.
Endurecidos por precipitación	Buena resistencia a la tracción. Elevada dureza. Buena resistencia mecánica Alto límite de elasticidad.	Turbinas de vapor y gas. Equipo marino. Cuchillería.
Estructura dúplex	Excelente resistencia a la corrosión. No pueden ser tratadas térmicamente. Magnéticos. Excelente tenacidad. Buena soldabilidad. Soporta grandes esfuerzos.	Plataformas marinas. Equipos industriales. Construcción. Botes de navegación.

(Fuente Propia, 2020)

1.2.1.1. Austeníticos (Serie AISI 200-300)

Aceros no magnéticos donde no se pueden aplicar tratamientos térmicos para endurecimiento del material. El porcentaje en peso presente en la solución de Ni y Cr es de un mínimo del 23% del total. Se pueden modificar con facilidad tanto en caliente como en frío, donde, en este aumenta su resistencia al impacto y otorga mayor dureza. De todos los aceros inoxidable existentes en esta clasificación, los austeníticos son los que poseen una mayor resistencia a elevadas temperaturas. Su resistencia a la corrosión es mucho mayor que los demás aceros inoxidable.

Debido a que estos se expanden con gran facilidad y que poseen una mala conductividad térmica, los aceros inoxidable austeníticos suelen doblarse o torcerse al ser sometidos a un proceso de soldadura. (INDURA S.A., 2010)

1.2.1.2. Ferríticos (Serie AISI 400)

Contienen cromo en solución entre 17% y 27% en peso. Estos aceros se endurecen moderadamente mediante deformación en frío, debido a que no se puede aplicar ningún tratamiento térmico. Estos aceros son magnéticos y pueden ser modificados tanto en frío como en caliente. Poseen una menor ductilidad que los aceros inoxidable austeníticos. Los aceros ferríticos están expuestos al crecimiento del grano, generando así un gran inconveniente al momento de realizar el proceso de soldadura. Se recomienda un pos-calentamiento (entre 700°C a 850°C) si los elementos a soldar son de dimensiones considerables, se recomienda pos-calentar las piezas, seguido de un enfriamiento rápido. (INDURA S.A., 2010)

1.2.1.3. Martensíticos (Serie AISI 400-500)

El porcentaje de cromo presente en la aleación se encuentra en el rango entre el 11,5% y 18% en peso total. Una de las características de estos materiales es que la mayoría de estos no posee Ni en su mezcla. Pueden ser sometidos a tratamientos térmicos para poder mejorar las propiedades mecánicas.

Es conveniente precalentar la pieza que va a ser soldada cuando se utiliza electrodos inoxidable martensíticos. Para recuperar las propiedades mecánicas después de la soldadura, se recomienda un revenido, una vez que estas estén frías. La realización del revenido y temple en estos aceros generan la resistencia óptima a la corrosión, a pesar de esto, esta es mucho menor a la de los demás aceros inoxidable. (INDURA S.A., 2010)

1.2.1.4. Endurecidos por precipitación (P.H.)

Los principales aleantes de estos aceros son el Cr y Ni, además de poseer en pocas cantidades Cu, Al, Ti o Mo. Desarrollan una gran resistencia mecánica mediante la aplicación de tratamientos térmicos simples, además, de mejorar su resistencia a la corrosión manteniendo todas sus propiedades mecánicas como la tenacidad y ductilidad en comparación con los demás aceros inoxidable. La soldabilidad va limitada en ciertos casos, siendo su principal defecto la fisuración en caliente. (León Nuñez, 2016)

1.2.1.5. Estructura dúplex

Estos aceros tienen una microestructura compuesta de dos fases (ferrita - austenita). Poseen buena resistencia mecánica y a la corrosión. Mediante el proceso de deformación en caliente o frío pueden aumentar su dureza. Poseen una buena soldabilidad, sin embargo, tiene la tendencia a generar zonas frágiles en los rangos de temperatura de 280-520 °C y 610-950 °C. Formaciones de estas áreas microestructurales reducen la capacidad de resiliencia y disminuyen la resistencia a la corrosión. (León Nuñez, 2016)

1.2.2. Propiedades mecánicas de los aceros inoxidable austeníticos

Existen varios tipos de aceros inoxidables utilizados para diferentes aplicaciones, no todos usados en la construcción, especialmente cuando se lleva aplicaciones de soldadura. En la Tabla 1.5 se indican los aceros inoxidables austeníticos más comunes con sus valores respectivos para cada uno de sus propiedades mecánicas, además, se presenta las características y aplicaciones principales.

Tabla 1.5 - Aceros inoxidables austeníticos más comunes con sus propiedades.

Aleación	Resistencia a la tensión		Resistencia a la Fluencia		Observaciones
	MPa	Ksi	MPa	Ksi	
301	515	75	205	30	Baja resistencia a la corrosión. Buena soldabilidad y puede ser deformado en frío o caliente.
303	515	75	205	30	De fácil mecanizado, con excelente resistencia a la corrosión.
304	480	70	170	25	Alta resistencia a la corrosión. Soporta elevadas temperaturas (800 a 900 °C). Se puede soldar grandes espesores. Excelentes propiedades mecánicas.
309	515	75	205	30	Poseen excelente resistencia mecánica, tenacidad y buena resistencia a la corrosión.
310	515	75	205	30	Buena resistencia a altas temperatura.
316	515	75	205	30	Alta resistencia a la corrosión. Soporta la interacción con productos químicos ácidos y atmósfera salina.
321	515	75	205	30	Propiedades similares al acero inoxidable 304. Contiene una adición de titanio equivalente.

(León Nuñez, 2016)

1.2.3. Fallas en la soldadura de aceros inoxidables austeníticos

Existen factores especiales que se deben de considerar al momento de realizar un excelente proceso de soldadura y así poder disminuir la cantidad de defectos presentes en la soldadura. Para obtener una soldadura de buena calidad y sin defectos es necesario que la superficie se encuentre limpia y libre de impurezas. Se debe retirar todas las impurezas y materiales extraños mediante el uso de productos limpiadores y desengrasantes, además, se puede realizar un esmerilado o uso cepillos limpiadores de acero inoxidable para evitar corrosión. Antes de cualquier proceso de soldadura, se debe retirar cualquier tipo de óxido generado por cualquier equipo de corte. (INDURA S.A., 2010)

1.2.3.1. Precipitación de carburos

Es una de las principales causas de generación de corrosión, el cual ocurre en las zonas adyacentes al cordón de soldadura en el material base. Es decir, este tipo de corrosión afecta directamente a la ZAC. Este defecto se produce cuando el acero se encuentra en un rango de temperatura de 450 y 950 °C durante un intervalo corto de tiempo, en el cual se genera discontinuidades como precipitados de carburo de Fe y Cr. Estos precipitados disminuirían la cantidad de Cr en los aceros, generando así una capa de corrosión. Estos carburos suelen generarse en su mayoría en los bordes de grano, disminuyen la propiedad de inoxidable, dejando como resultado un acero "sensibilizado", lo que quiere decir, mayor sensible a la corrosión. Se puede observar este efecto en la Figura 1.4. (León Nuñez, 2016)

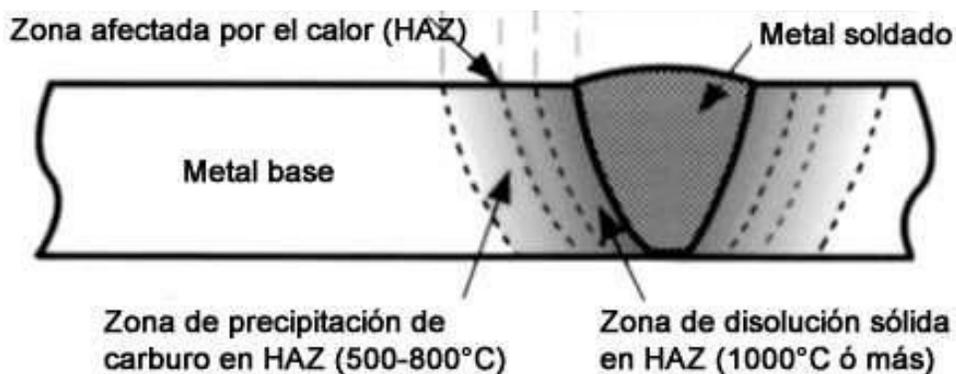


Figura 1.4 – ZAC de una soldadura.
(Villanueva & Autores, 2004)

1.2.3.2. Fisuración en caliente

Este tipo de grietas son las más comunes que se originan durante el proceso de soldadura en este tipo de aceros, estas se generan en el período de enfriamiento. La presencia de

aleantes de bajo punto de fusión en la solución del material base como el P, S o Si ayudará a la formación de fisuras. La presencia de ferrita en la estructura ayuda a la reducción de este defecto, además, gracias a su gran ductilidad puede deformarse en cualquier dirección evitando así la generación de fisuras. (León Nuñez, 2016)

1.2.3.3. Formación fase sigma

Se les denomina así a los compuestos inter metálicos de Fe y Cr, caracterizado por su fragilidad y elevada dureza (mayor de 900 Vickers), lo cual hace que disminuya sus propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión, incrementando el riesgo de generación de fisuras. La ferrita en aceros inoxidable se transforma en Fase Sigma cuando el acero inoxidable se mantiene durante un largo periodo de tiempo entre los 550 y 900 °C.

Mediante la ayuda de un tratamiento térmico que consiste en aumentar la temperatura del material base sobre los 1050°C este defecto puede ser removido, transformando la Fase Sigma nuevamente en ferrita. Se puede observar una micrografía de la Fase Sigma en la Figura 1.5. (León Nuñez, 2016)



Figura 1.5 - Fase sigma, micrografías 400X
(Villanueva & Autores, 2004)

1.3. Soldabilidad

1.3.1. Soldadura por arco manual con electrodo revestido (SMAW)

El material de aporte utilizado para este proceso es una varilla metálica revestida, el cual, es un proceso manual donde el soldador es el que controla los parámetros principales de soldeo, siendo este el procedimiento de unión de metales más versátil, antiguo y sencillo. En la actualidad, casi el 50% de toda la industria de fabricación de estructuras ocupa dicho

proceso. La generación del arco eléctrico se produce cuando la varilla metálica toca el material base, para después tener una separación adecuada para mantener el arco. El revestimiento del material de aporte es el que genera una atmosfera protectora impidiendo que elementos externos ingresen a la soldadura, formando una capa de escoria. Como se puede apreciar en la Figura 1.6, la varilla metálica se sostiene directamente con la fuente de poder, mientras que, la otra terminal va unida al material base. (Flores & Suárez, 2020)



Figura 1.6 - Diagrama de proceso de soldadura
(León Nuñez, 2016)

La soldadura SMAW está conformado por una fuente generadora de energía, dos puertos de salida, una de poder y la otra a tierra; y por último una pinza porta electrodos. Es utilizada con frecuencia para la soldadura de metales con espesores de 3 a 19 mm, para poder superar este rango, se puede utilizar la técnica de varios pases, esto depende la habilidad de los soldadores y el manejo de los voltajes, se debe considerar que después de cada pase se debe realizar la limpieza de soldadura quitando la escoria e impurezas que puedan afectar al siguiente pase de soldadura. Para la limpieza es recomendable el uso de una grata o un cepillo de alambre.

El arco en este proceso puede ser generado con corriente alterna o continua. Las corrientes que se emplean en este proceso varían entre 30 a 300 amperios y los voltajes están entre 15 a 45 voltios. (Groover, 2009)

Este proceso tiene una gran desventaja debido a que el electrodo al ser consumible, este debe ser cambiado cuando se desgasta, generando así discontinuidades y pérdidas de tiempo.

1.3.2. Soldadura de metales disímiles

Materiales disímiles son aquellos que poseen una estructura química diferentes, como los materiales puros, aluminio y cobre, o cuyos metales con diferentes cantidades de elementos aleantes, como los acero al carbono e inoxidable; o aquellos que posean una microestructura diferente como los austeníticos y ferríticos. (Chávez, 2017)

Las aplicaciones donde se unen materiales disímiles son muy extensas. Para la unión de los metales se puede realizar mediante varios procesos de soldadura, por lo que se debe considerar las diferentes propiedades físicas y mecánicas de cada uno de los materiales base para poder seleccionar el adecuado. No se podrá lograr una buena soldadura si la soldabilidad de ambos materiales no coincide en ninguna característica, caso contrario si estos son similares tendrán una excelente junta soldada. La unión de metales con grandes diferencias de estructuras deberá ser previamente investigada para determinar las propiedades mecánicas finales, con lo cual se evitarán futuros problemas durante y después de la soldadura. (Soldargen, 2015)

En la actualidad existen una gran variedad de combinaciones de materiales disímiles con diferentes aplicaciones. Los materiales a soldar y el tipo de proceso a elegir depende el uso que se les vaya a dar y especificaciones mecánicas. (Lippold & Kotecki, 2005)

1.3.3. Selección de electrodos

1.3.3.1. Generalidades

Para la adecuada elección del tipo de electrodo revestido en las soldaduras por fusión se debe considerar el porcentaje de austenita y ferrita presente en la estructura del electrodo y material base, el cual debe ser balanceado, para así obtener en la soldadura resultante adecuadas propiedades mecánicas. Ciertos aleantes que se encuentra en la solución del acero, como el P, S o Si, quedando dentro del cordón de soldadura en el proceso de enfriamiento pueden producir defectos de agrietamiento en la junta soldada, cierta cantidad de ferrita facilitaría la absorción de estas impurezas e impedir que se queden atrapadas en la soldadura durante su enfriamiento.

Para conocer el porcentaje de cada uno de los elementos presentes en la soldadura final, existe una gran cantidad de métodos teóricos, como la aplicación de equipos de laboratorio con gran sensibilidad al magnetismo, también se puede estimar mediante un examen metalográfico, o se puede calcular mediante gráficos los cuales estiman un valor teórico muy parecido a los que se obtendrán finalmente a partir de las composiciones químicas del

material base y del electrodo. El método más común utilizado para soldadura disímil es este último, por lo que desarrollaremos a continuación. (Chávez, 2017)

1.3.3.2. Diagrama de Schaeffler

Es un método que mediante un sencillo cálculo podemos obtener la estructura final teórica de la junta soldada después de haber realizado el proceso de soldadura en materiales disímiles (acero al carbono e inoxidable), entregando información sobre varias fases o estructuras presentes. Antón Schaeffler obtuvo su primer diagrama de manera empírica, a partir del cual fue mejorando hasta obtener el hoy conocido como diagrama de Schaeffler mostrado en la Figura 1.7. Este diagrama nos ayuda a predecir la estructura final de la junta soldada obtenida.

Para su aplicación se requiere realizar algunos pasos relativamente sencillos, como el cálculo de cromo equivalente el cual se base en elementos químicos que generan ferrita en la soldadura; y el cálculo de níquel equivalente que incorpora elementos químicos que generan austenita; estos pequeños cálculos se realizan en los materiales base y en el electrodo que se utilizará en la soldadura.

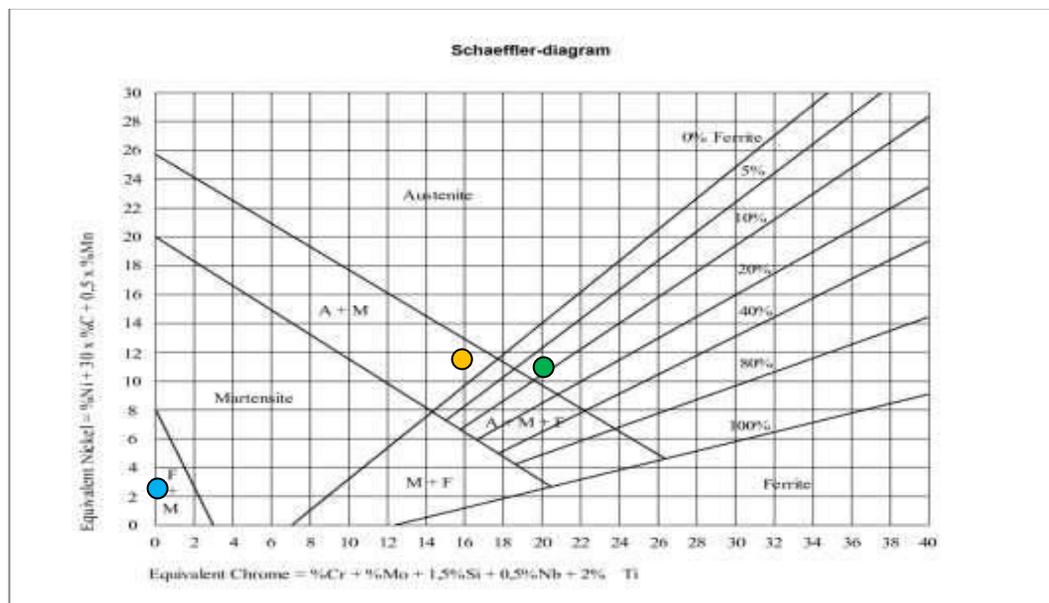


Figura 1.7 - Diagrama Schaeffler.
(Fuente Propia, 2020)

1.3.3.3. Tipos de electrodos disponibles para materiales disímiles

Los electrodos revestidos más comunes utilizados para un procedimiento de soldeo de materiales disímiles, se muestran en la Tabla 1.6, donde se indican las principales especificaciones y aplicaciones de los mismos.

Tabla 1.6 - Electrodos disponibles para materiales disímiles.

Electrodo	Características	Aplicaciones	Posición de soldadura	Corriente
E 308 L	Material de aporte con revestimiento rutilico. La escoria se desprende con facilidad. Proporciona un arco estable. Con muy buena reanudación de arco.	- Estanques. - Aceros inoxidables. - Industria química.	- Todas	- CCEP - CA
E 309 L	No permiten que se produzca la corrosión intergranular. Evita la precipitación de carburos de Cr.	- Materiales disímiles. - Aceros inoxidables.	- Todas	- CCEP - CA
E 312	Tiene revestimiento rutilico. Su escoria se desprende fácilmente. Permite usarlo en soldaduras intermitentes.	- Mantenimiento de engranes y ejes. - Aceros inoxidables.	- Todas	- CCEP - CA
E 7018	Revestimiento básico. Cordones de apariencia uniforme con fácil remoción de escoria.	- Aceros de bajo y medio carbono. - Aceros de alto contenido de fosforo y azufre. - Construcciones navales.	- Plana - Horizontal - Sobrecabeza	- CC - CA
E 6010	Revestimiento celulósico. Fácil encendido de chispa. Presenta arco estable con moderada densidad de salpicaduras.	- Pases de raíz - Estructuras metálicas y tanques de almacenamiento. - Chapas de gran espesor.	- Plana - Horizontal - Vertical - Sobrecabeza	- CC - CA

(Fuente Propia, 2020)

1.4. Ensayos que determinan la soldabilidad

Son operaciones experimentales que se efectúan para observar las propiedades físicas y mecánicas en los materiales después de haber realizado un proceso de soldadura.

Realizados en laboratorios con fines investigativos, por esta razón todos los procedimientos se encuentran especificados bajo un reglamento de instituciones oficiales de normalización.

Mediante el uso de reglamentos y normas en la aplicación de ensayos, se podrá verificar la validez de la junta soldada. Cada ensayo está diseñado para evaluar la susceptibilidad a un problema específico de soldabilidad.

A continuación, se realiza una descripción que resume las particularidades de gran parte de estos ensayos:

1.4.1. Análisis químico de metales

El análisis químico se puede dar mediante dos procesos, el cualitativo, el cual informa de especies atómicas o moleculares presentes en la muestra, o el cuantitativo, el cual consiste en dar información numérica de especies atómicas o moleculares de una muestra. Este proceso se utiliza para cualquier tipo de metal o aleación.

Utilizando métodos instrumentales con técnicas de espectrometría de emisión por chispa, se puede determinar el contenido de cualquier elemento en cualquier metal.

1.4.1.1. Espectrometría de emisión por chispa

Espectroscopías con fuentes de arco y de chispa fueron los primeros métodos instrumentales más empleados. Este es un método estándar para el análisis directo y la rápida determinación de elementos químicos presentes en la aleación. Utilizado en el proceso de manufactura de metales. El equipo consta de varios elementos, como la fuente eléctrica la cual genera una chispa de alto voltaje en el material base; además de un sistema óptico presente en la Figura 1.8 y un sistema informático, el cual procesa la información. (Escudero, 2016)

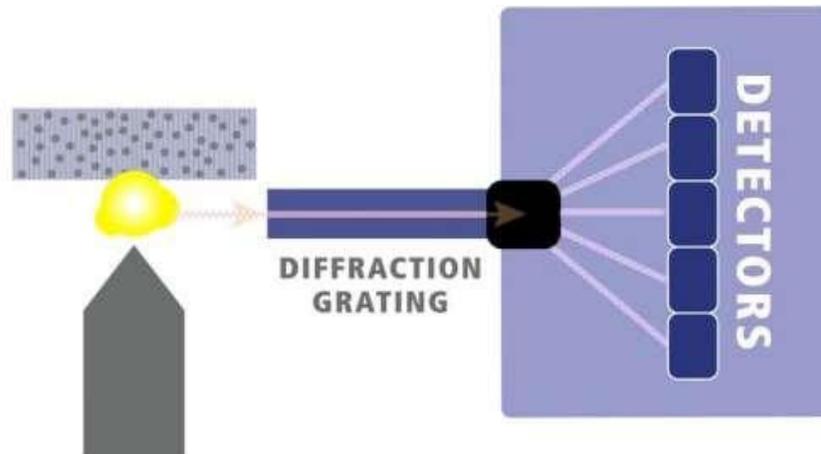


Figura 1.8 - Sistema óptico.
(Oxford Instruments, 2016)

1.4.2. Ensayos no destructivos (END)

Los END son herramientas que nos permiten la obtención de información de la junta soldada de manera superficial y volumétrica, mediante el uso de varias técnicas y equipos tecnológicos sofisticados, estos ensayos se caracterizan por que se pueden aplicar en el material sin modificar propiedades físicas o químicas. (Chávez, 2017) Son métodos que se aplican a la inspección de productos acabados y semiacabados, los cuales detectan discontinuidades internas y superficiales.

Los END utilizados para la caracterización del presente trabajo fueron: Inspección visual, Tintas Penetrantes los cuales son procedimiento de inspección superficial, y Radiografía Industrial que es un proceso de inspección volumétrica.

1.4.2.1. Ensayo de inspección visual

Sin duda es el END más utilizado en la industria. De fácil aplicación, resultados inmediatos y de un bajo costo (Lopez, Trujillo, & Parra, 2011). Para una buena inspección visual es primordial una excelente iluminación del material que se está examinando. Es un método netamente visual cuyos únicos elementos primordiales para la ejecución de este examen es el sentido de la vista humana y como energía la luz, la cual, puede ser de manera directa e indirecta. Es uno de los ensayos que se realizan en un material previo a someter a otros tipos de ensayos no destructivos. Se emplean instrumentos de apoyo tales como: reglas, lupas, espejos, endoscopios y binoculares, en caso de ser necesario. (Ruiz, 2011) Un ejemplo de inspección visual se puede observar en la Figura 1.9.



Figura 1.9 - Inspección Visual.
(PND Soluciones Integrales, 2016)

1.4.2.2. Ensayos de tintas penetrantes

Es un tipo de END con el cual se puede observar defectos superficiales en materiales metálicos y no metálicos, pero estos deben ser no porosos. Consiste en la colocar sobre la superficie del material a ensayar un líquido de gran mojabilidad, este líquido deberá de ingresar hacia las discontinuidades y esto será posible debido al efecto de la capilaridad. El líquido sobrante deberá ser retirado con la ayuda de un limpiador, para posteriormente aplicar un revelador el cual será capaz de mostrar la ubicación de las discontinuidades. (CSI Control & Inpeccion, 2018). Una breve clasificación se muestra en la Figura 1.10.

Ventajas al momento de aplicar el ensayo de tintas penetrantes:

- ✓ Resultados de manera inmediata y de fácil interpretación.
- ✓ Es aplicable en materiales ferromagnéticos.
- ✓ Es un método sencillo, de fácil aplicación en materiales que se encuentra exteriormente.
- ✓ Es aplicable en piezas de diferente tamaño sin importar su dimensión.
- ✓ Solo es necesario de pocos implementos.

Tipo	Método	Nivel de Sencibilidad	Revelador	Removedor
<ul style="list-style-type: none"> •I: Fluorecente •II: Visible •III: Dual 	<ul style="list-style-type: none"> •A: Lavable con agua •B: Postemultificador •C: Removible con solvente •D: Postemultificador 	<ul style="list-style-type: none"> •Muy baja •Baja •Media •Alta •Ultra alta 	<ul style="list-style-type: none"> •a: Polvo seco. •b: Agua soluble •c: Suspendido en agua. •d: No acuoso I. •e: No acuoso II. •f: Aplicación específica. 	<ul style="list-style-type: none"> •Clase 1: Halogenado •Clase 2: No halogenado •Clase 3: Aplicación específica

Figura 1.10 - Clasificación de tintas penetrantes
(Fuente Propia, 2020)

1.4.2.3. Ensayos de radiografía industrial

Es un método de inspección volumétrica, es decir, puede mostrar defectos internos. Este ensayo consiste en atacar la pieza a estudiar mediante un haz de radiación electromagnética ionizante. Dicha radiación es impregnada en los defectos presentes en las probetas, atravesando hacia la cara opuesta de la pieza, donde se encontrará una película radiográfica la cual absorberá la radiación, finalmente la película será revelada con la ayuda de elementos químicos, donde se podrá observar las discontinuidades. (CSI Control & Inpeccion, 2018). Ese fenómeno se muestra en la Figura 1.11. La radiografía industrial se utiliza para la detección de características en una región determinada del material comparada con un área cercana, mientras las diferencias sean de mayor tamaño, estas serán detectadas con mayor facilidad.

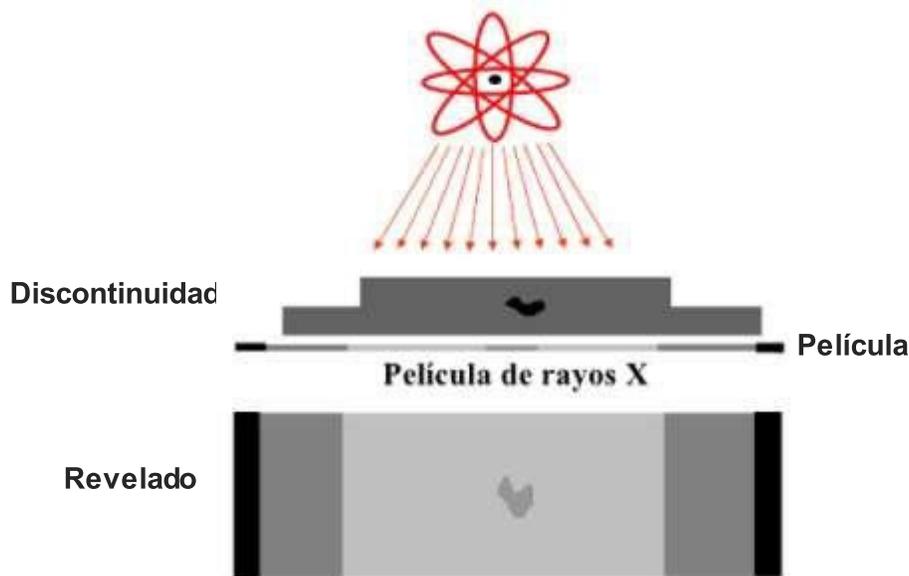


Figura 1.11 - Esquema de toma de radiografía
(Fuente Propia, 2020)

Discontinuidades como inclusiones y poros pueden ser fácilmente descubiertas siempre y cuando estas no sean tan pequeñas en relación con el espesor del material. Generalmente, variaciones que presentan el 2 % o más de la variación de absorción en relación con el espesor total, pueden ser detectadas. (Lopez, Trujillo, & Parra, 2011)

1.4.3. Ensayos destructivos

Son denominadas de esa manera debido a que una vez realizados estos ensayos el material no puede ser usado nuevamente ya que este es destruido, los ensayos destructivos usados con mayor frecuencia por la industria se explican a continuación.

1.4.3.1. Ensayos de tracción

Es uno de los ensayos más comunes al momento de determinar la resistencia máxima a la tracción de los materiales. Este ensayo consiste en aplicar un esfuerzo de tensión en los extremos de probetas previamente fabricadas, estas pueden ser de forma cilíndrica o plana, con dimensiones especificadas por una norma. Mediante la ayuda de una máquina universal de ensayos, la cual se puede observar en la Figura 1.12, provoca la deformación de la probeta del material a ensayar al aplicarle una carga progresiva en sentido axial. (Chávez, 2017)



Figura 1.12 - Máquina universal de ensayos
(Solucoes Industriais, 2017)

Las probetas son sometidas a cargas progresivas, provocando que se vayan alargando y adelgazando de un modo gradual hasta que este llegue a provocar la fractura de la pieza. Para que el ensayo sea válido la fractura deberá de producirse en la zona central de la muestra. Una curva característica de aceros se presenta en la Figura 1.13.

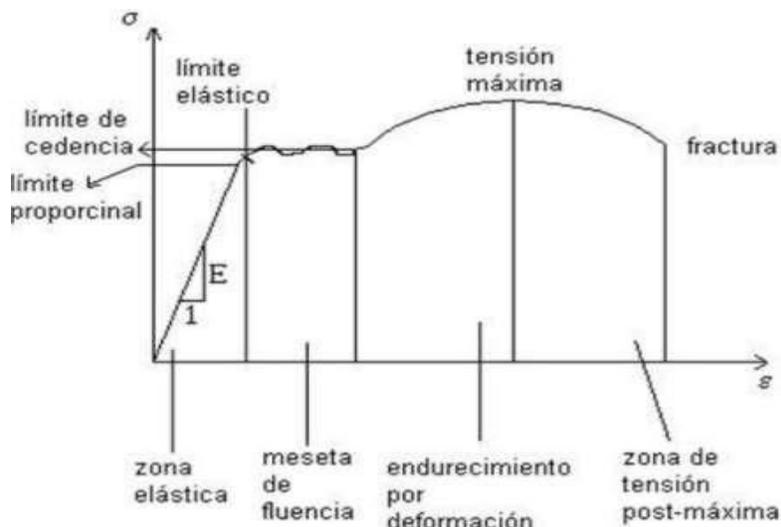


Figura 1.13 - Diagrama esfuerzo – deformación.
(Fuente Propia, 2020)

1.4.4. Ensayos de metalografía

El ensayo metalográfico es la caracterización de materiales mediante el estudio microscópico. Mediante este proceso se puede determinar la estructura de los metales y defectos microscópicos que podrían afectar las propiedades mecánicas del material. Las probetas usadas pueden ser de cualquier geometría, mientras a estas se las pueda ingresar en la platina del microscopio. (Ruiz Martínez, 2015)

Las muestras se observan mediante la ayuda de un microscopio óptico, en el cual se puede apreciar con diferentes aumentos. Si se desea observar una macrografía, se puede colocar con aumentos de 50X a 100X, pero si el objetivo es el estudio de micrográfico, se pueden emplear desde 200X hasta 2000X en un microscopio óptico. (Ruiz Martínez, 2015)

En la interpretación de las micrografías es necesario de conocer los tipos de estructuras presentes en los aceros, para esto una gran ayuda es conocer el diagrama hierro-carbono, el cual nos permite conocer el tipo de estructura en cada fase de enfriamiento de soldadura.

1.4.4.1. Diagrama hierro-carbono

Es la interpretación de las distintas fases presentes en un campo de estabilidad en base a la temperatura y el porcentaje de C. Estas gráficas se obtienen de diagramas de enfriamientos y muestras micrográficas. De esta manera se puede trazar el diagrama hierro-carbono representado en la Figura 1.14.

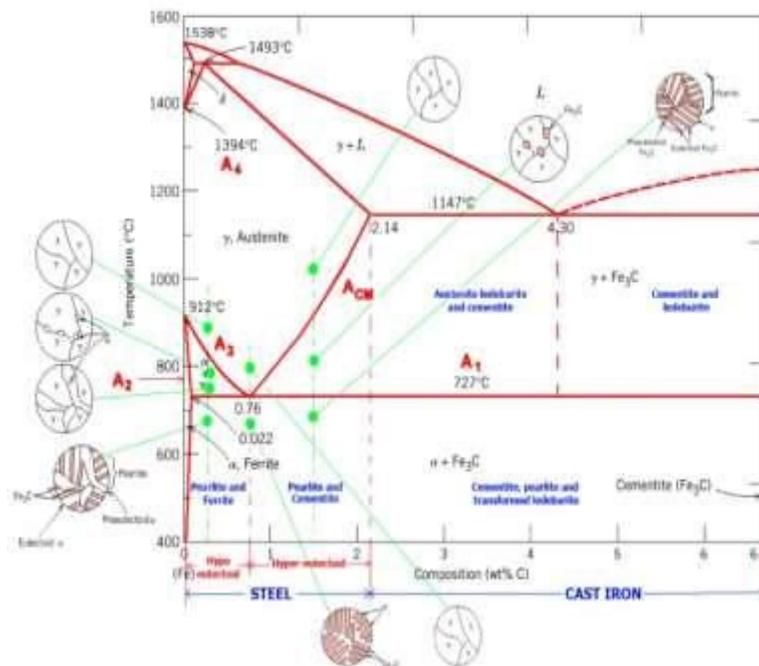


Figura 1.14 - Diagrama hierro-carbono
(Föll, 2018)

El diagrama sugiere una clasificación que consiste en aleación de hierro si posee un porcentaje de carbono menos a 0.0025% a una temperatura de 723°C, acero solo si en la solución el porcentaje de C alcanza el 2%, y fundiciones si el porcentaje de carbono es mayor. (Molera Solá, 1991)

2. METODOLOGÍA

El presente capítulo estará orientado al desarrollo experimental de la soldadura de materiales disímiles además la realización de los respectivos ensayos no destructivos y ensayos mecánicos, basados en la norma ASME IX. En diagrama de flujo que se muestra en la Figura 2.1 se indica la metodología seguida en el desarrollo del proyecto, se distingue, la caracterización de los materiales base, preparación de las juntas de soldadura en placas y tubería seguida por el proceso de soldadura SMAW posteriormente la ayuda de ensayos no destructivos y ensayos mecánicos finalmente el análisis, discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones.

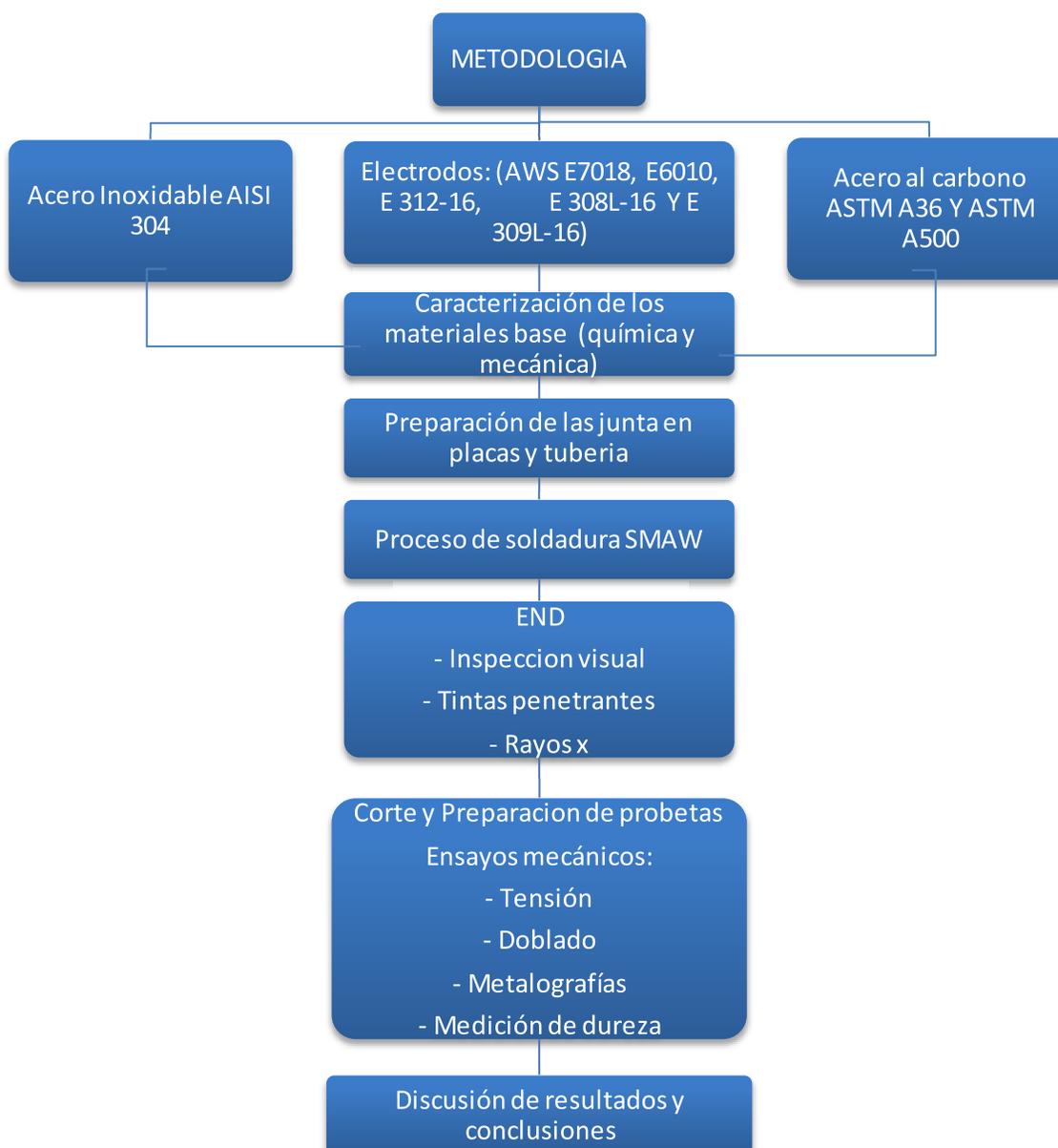


Figura 2.1 - Metodología
(Fuente Propia, 2020)

2.1. Descripción de materiales.

2.1.1. Materiales Base

Como material base se utiliza materiales disimiles, acero inoxidable AISI 304 y el acero de bajo contenido de carbono ASTM A36 en placas planas.

En tubería redonda y cuadrada se ha utilizado la combinación de acero inoxidable austenítico AISI 304 con acero al carbono ASTM A500, debido a la facilidad de adquisición y las aplicaciones existentes en la industria.

2.1.2. Electrodo

El estudio de soldabilidad se realizará con 5 tipos de electrodos E7018, E6010, E312, E308L y E309L cada uno de los electrodos posee diferentes características, composición química, propiedades mecánicas y aplicaciones.

Tomando en cuenta el tipo de corriente, la polaridad, la temperatura de almacenamiento y la recuperación requerida para cada electrodo. Los electrodos tienen 2.4mm de diámetro (3/32in). El porcentaje de la composición química de cada uno de los electrodos utilizados en este trabajo según el catálogo AGA de AWS presentes en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 - Composición química de los electrodos.

AWS	AGA	Descripción	Composición
E7018	B-10	Electrodo básico baja aleación	C 0.08%, Mn 1.0%, Si 0.6%
E6010	C-10	Electrodo celulósico especial	C 0.12%, Mn 0.6%, Si 0.25%
E312-16	R-91	Electrodo para acero inoxidable	C 0.12%, Mn 1.8% Si 0.8% Cr 30% Ni 10%
E308L-16	R-60	Electrodo para acero inoxidable	C 0.02%, Mn 0.7% Si 0.7% Cr 19% Ni 10%
E309L-16	R-72	Electrodo para acero inoxidable	C 0.025%, Mn 0.8% Si 0.9% Ni 13.5% Mo 2.5% Cr 23%

(AGA, 2016)

2.2. Preparación de probetas para soldadura

En placas planas se utiliza 5 placas de material ASTM A36 y 5 placas de acero inoxidable AISI 304 de 400mm de largo por 150mm de ancho y un espesor de 3mm se visualiza en la Figura 2.2, seguido por la tubería cuadrada se utilizó 10 probetas acero ASTM A500, combinado con 10 probetas de acero inoxidable AISI 304 de 50.8x50.8 y 120mm de largo y un espesor de 1.5mm, finalmente en la tubería redonda se utilizó 10 probetas de acero ASTM A500 y 10 probetas de acero AISI 304 siguientes dimensiones diámetro de 2 1/2"

su espesor de 1.5mm Figura 2.3. Las dimensiones de las muestras se detallan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 - Dimensiones de las probetas a soldar

	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Lado (mm)	Diámetro
Placas planas	400	150	3		
Tubería redonda	120		1.5		2 1/2"
Tubería cuadrada	120		1.5	50.8	

(Fuente Propia, 2020)



Figura 2.2 - Placas metálicas, material base.
(Fuente Propia, 2020)



Figura 2.3 - Tuberías, material base.
(Fuente Propia, 2020)

2.3. Proceso de soldadura SMAW

El método utilizado es el proceso de soldadura SMAW se emplea un equipo de soldadora multiuso marca Lincoln Electric mostrado en la Figura 2.4.

Mediante una fuente de corriente se genera un arco eléctrico entre material base a soldar y el material de aporte utilizado, provocando la fusión de estos. Los electrodos tienen un recubrimiento de un revestimiento que genera una atmósfera protectora que aísla el cordón de soldadura.



Figura 2.4 - Soldadura proceso SMAW
(Fuente Propia, 2020)

Especificaciones del equipo de soldadura utilizado para realizar el presente trabajo, se puede observar la ficha técnica en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 - Ficha técnica del equipo de soldadura utilizado.

Especificaciones técnicas Lincoln Electric Invertec® V350 PRO	
	<ul style="list-style-type: none"> • Continuo control de la Inductancia. • Cubierta protectora con barras estabilizadoras y de arrastre para aumentar la resistencia. • Mandos digitales con buena iluminación, sencillos y de fácil manipulación. • Plug and play permite ajustar automáticamente el devanador al instante. • Revisión y corrección continua de voltaje, amperaje y velocidad de alimentación.
Amperaje (50-60Hz)	200/220/380/400/ 415/440V/3Fs
Intervalos de Corriente (A)	5-425
Factor Marcha	350A/34V/60%-3Fs 300A/32V/100%-3Fs 320A/33V/60%-1Fs 275A/31V/100%-1Fs
Resistencia (A) (lento)	63A

Peso (kg)	37,5
Dimensiones Alto x Ancho x Largo	373 x 317 x 706 mm
Protección/Clase de Aislamiento	IP23 / S

(LINCORN, 2017)

2.3.1. Experimentación inicial

Se determina, el número de probetas y su nomenclatura para preparar el bisel de la cara transversal en la cual se va a soldar.

Se realiza las pruebas necesarias de soldadura en las placas y tubería para regular el amperaje requerido y necesario con el fin de obtener un cordón de soldadura uniforme, tomando en cuenta la variación de las propiedades según el electrodo a utilizar.

En las placas planas debido a su espesor de 3mm se realizará un bisel con un ligero talón posteriormente se procede a alinear las caras a ser soldadas lo más paralelas posibles con una separación de 1/16", previamente soldados con placas de respaldo en la parte posterior y en la unión de los dos materiales para evitar el desalineamiento y la deformación por sobrecalentamiento ilustrado en la Figura 2.5.



Figura 2.5 - Respaldos en placas planas.
(Fuente Propia, 2020)

El cordón de soldadura se realiza mediante un pase oscilatorio con una junta a tope en posición plana 1G.

En la geometría de tuberías redonda y cuadrada por su espesor de 1.5mm se realiza un ligero bisel en V con una junta a tope con la ayuda de dos puntos de soldadura en cada extremo en 0° y 180° para evitar desalineamiento entre las uniones soldadas ilustrado en la Figura 2.6.



Figura 2.6 - Respaldos en tubería.
(Fuente Propia, 2020)

El cordón de soldadura posee un pase oscilatorio en posición 5G.

2.3.2. Experimentación final

Al obtener los parámetros de soldadura, especificados en cada WPS Anexo I, se realiza la unión de los materiales verificando la uniformidad y la correcta penetración del material en la raíz y al mismo tiempo observar que se realice un cordón uniforme a lo largo de la unión soldada mismo que será verificado por un inspector de soldadura calificado.

En la unión disímil de placas se realizó 2 pases del cordón de soldadura el primer pase de raíz con una técnica recta posteriormente se realizó una limpieza con amoladora y el segundo pase oscilatorio en posición 1G a tope al usar el electrodo E7018 se utiliza una polaridad DC+, la corriente utilizada tuvo un rango de 73-140 A, una tensión de 15 V y 45 V y la velocidad de avance aproximadamente de 90 y 152 mm/min respectivamente. Los WPS 001 al 005 especifican las variables y parámetros de soldadura para cada tipo de electrodo.

La unión disímil de tubería cuadrada se realizó 1 pase del cordón de soldadura en posición 5G a tope al usar el electrodo E7018 se utiliza una polaridad DC+, la corriente aproximada es de 47 A y la velocidad de avance de 210 mm/min. Los WPS 006 al 010 especifican las variables y parámetros de soldadura para cada tipo de electrodo.

La unión de tubería redonda se realizó 1 pase del cordón de soldadura en posición 5G a tope al usar el electrodo E7018 se utiliza una polaridad DC+, la corriente es de 46 A y la velocidad de avance aproximadamente de 193 mm/min.

A continuación, se realiza la codificación de las placas soldadas iniciando como P1 la placa soldada con el electrodo E7018, P2 con el electrodo E6010, P3 con el electrodo E312, P4

con el electrodo E308L finalmente P5 soldado con el electrodo E309L se detallan en la Tabla 2.4 y en la Figura 2.7

Tabla 2.4 - Codificación de las uniones soldadas planas.

Tipo de electrodo	AISI 304 (unidades)	ASTM A 36 (unidades)	Designación probeta
E 7018	1	1	P1
E 6010	1	1	P2
E 312	1	1	P3
E 308 L	1	1	P4
E 309 L	1	1	P5

(Fuente Propia, 2020)

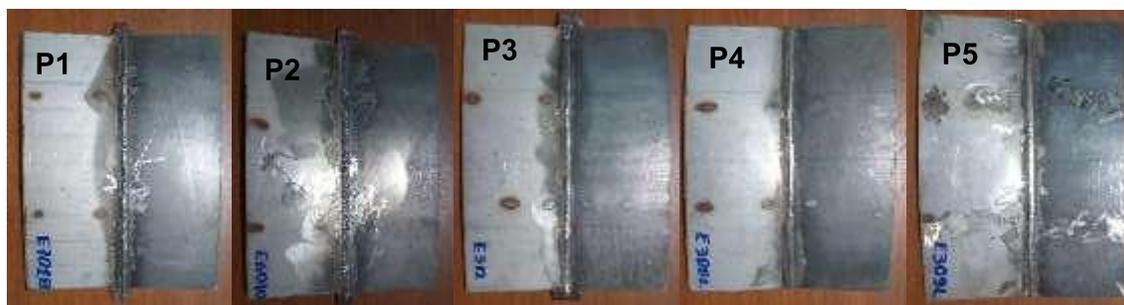


Figura 2.7 - Designación de muestras en placas planas.
(Fuente Propia, 2020)

En tubería redonda y cuadrada se tomó dos probetas por cada material de aporte designando PO1 a las probetas de sección redonda soldadas con el electrodo E7018, PO2 a las probetas soldadas con el electrodo E6010, PO3 a las probetas soldadas con el electrodo E312, PO4 a las probetas soldadas con el electrodo E308L y al PO5 a las probetas soldadas con el electrodo E309L. Seguido por las probetas de sección cuadrada PC1 a las probetas soldadas con el electrodo E7018, PC2 a las probetas soldadas con el electrodo E6010, PC3 las probetas con el electrodo E312, PC4 las probetas con el electrodo E308L finalmente PC5 las probetas soldadas con el electrodo E309, se detallan en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 - Codificación de las uniones soldadas tubería redonda tubería cuadrada

Tipo de electrodo	Tubería redonda			Tubería cuadrada		
	AISI 304 (unidad)	ASTM A500 (unidad)	Designación probeta	AISI 304 (unidad)	ASTM A500 (unidad)	Designación probeta
E 7018	2	2	PO1	2	2	PC1
E 6010	2	2	PO2	2	2	PC2
E 312	2	2	PO3	2	2	PC3
E 308 L	2	2	PO4	2	2	PC4

E 309 L	2	2	PO5	2	2	PC5
---------	---	---	-----	---	---	-----

(Fuente Propia, 2020)



Figura 2.8 - Designación de muestras en tuberías.

(Fuente Propia, 2020)

2.4. Análisis químico de los materiales

Para garantizar la calidad de los materiales utilizados para la realización de este trabajo es necesario realizar un análisis químico de los mismos.

Al efectuar este análisis es necesario tomar una muestra de cada material aproximadamente de 2 x 2 cm para el acero AISI 304, y el acero ASTM A-36 en placas planas. Para el acero AISI 304 y el acero ASTM A500 en tuberías redonda y cuadrada.

Este ensayo es un método de análisis químico, utiliza el mismo principio de la soldadura TIG emplea un electrodo no consumible con el fin de que exista un contacto con el material a ser analizado el cual se hace la lectura de los componentes químicos, con la ayuda del gas inerte argón al 99% de pureza permite una protección del proceso con la finalidad de facilitar la ionización del material y evitar falsas lecturas. El equipo utilizado se muestra en la Figura 2.9.



Figura 2.9 - Equipo para determinar la composición química.

(Fuente Propia, 2020)

Tabla 2.6 - Especificaciones técnicas del equipo de espectrometría.

Especificaciones técnicas Q2 ION	
	
Sistema óptico patentado	Detectores CCD sin recubrimiento, con baja corriente de reposo Montaje óptico de Flat Field. Completa cobertura del espectro: 170 - 411 nm (685 nm) Resolución: 30 pm Purga de Argón para la mejor transparencia Tecnología ClearSpectrum ® para de convolución avanzada del espectro Compensación de Ambiente Activo (AAC) para uso entre 10°C y 45°C
Paquetes de soluciones de análisis (ASP)	Disponibles diferentes paquetes de calibración de matriz ASP cubre todos los principales elementos y grupos de aleaciones Ampliable con futuras extensiones
Fuente del generador	Libre de mantenimiento, Generador PWM de dos fases Frecuencia de 50 a 1.000 Hz Descargas Chispa y Arco de 10 µs a 2 ms
Cámara de Chispeo	No es necesario de mantenimiento Consumo de argón 2,5 l/min. durante la medición Calidad de Argón 4.8 (o superior)
Datos eléctricos	100 a 240 V 50/60 Hz 200 W durante la medición 50 W en espera 16 A (240 V) fusible de acción lenta o 25 A (100 V) Fusible de acción lenta
Dimensiones	Profundidad: 440 mm Altura:530 mm Ancho: 390 mm
Peso	Aprox. 28 kg

(IZASA SCIENTIFIC, 2017)

2.5. Ensayos No Destructivos (END)

Los END tiene como objetivo garantizar la calidad de la junta disímil realizada, permite detectar posibles imperfecciones superficiales del cordón de soldadura que podrían estar presentes y detectarlos sin la necesidad de destruir la integridad del cordón de soldadura la inspección visual, el examen radiográfico y tintas penetrantes. Los END en este trabajo deben cumplir con los requisitos de la norma ASME Sección V, el artículo 9 se refiere a la inspección visual, el artículo 2 se detalla los criterios de aceptación que debe cumplir el examen radiográfico juntamente con el artículo 6 que se refiere a los líquidos penetrantes.

2.5.1. Inspección visual (VT)

Al terminar el procedimiento de soldadura con su respectiva limpieza se realiza la inspección visual con la asistencia de un inspector calificado y certificado para determinar que las superficies soldadura finales cumplen con los estándares de calidad. Las uniones no deben mostrar grietas, poros, salpicaduras y deben tener una penetración completa de la junta, una fusión completa de los metales base con el material de aporte empleado. Cuando el acceso a la superficie del material está dentro del rango del ojo humano (24" – 600 mm) y un ángulo que no sea menor a los 30° con respecto a la superficie, se considera como un examen directo, el cual, se muestra en la Figura 2.10.

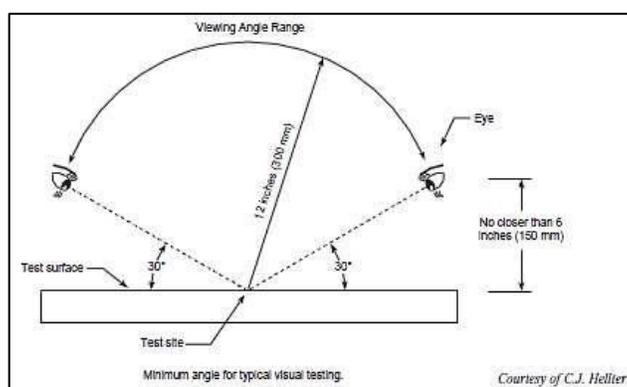


Figura 2.10 – Examen de inspección visual. (ASME, 2019)

2.5.2. Examen radiográfico (RX)

Para las tomas radiográficas es primordial calcular las variables de exposición radiográfica, regulados en la consola de mando, el generador de rayos X se encuentra en una habitación aislada tiene un espesor de 15cm de pared para asegurar la integridad del operador la Tabla 2.7 detalla las especificaciones del equipo utilizado.

Tabla 2.7 - Especificaciones técnicas del equipo de radiografía

Especificaciones técnicas del equipo de radiación	
	
Marca	Balteau

Modelo	Baltographe BF 200/10
Rango	(100 a 160) kV (1 a 10) mA
Resolución	10 kV 1 mA

(Fuente Propia, 2020)

Para continuar con el ensayo de radiografía es necesario cortar películas radiográficas de 120 x 70 mm se debe seleccionar el IQI según el espesor del material a ensayar a continuación se realiza el código de identificación tanto para placas y tuberías con la ayuda de letras de plomo las Tablas 2.8, 2.9 y 2.10 detallan la codificación de cada una de las probetas, una vez lista la película radiográfica se coloca conjuntamente con la placa a la distancia obtenida en la habitación donde se genera los rayos X, se enciende el equipo hasta 120kV y 5 mA en un tiempo de 40 segundos, luego se apaga el generador.

Al terminar la toma se procede a realizar el proceso de revelado, se introdujo la película en el baño de revelado 3 minutos, para proseguir con el baño de lavado 1 minuto, luego se introduce al baño de fijado con duración de 6 minutos y para finalizar en el baño de lavado durante 1 minuto. Una vez se concluye con el revelado, se procede a comenzar la inspección y reportar todas las indicaciones que se muestren en el cordón de soldadura con la ayuda del negatoscopio. (Laboratorio de END, 2020)

Tabla 2.8 - Codificación de Placas.

Tipo de geometría	Tipo de electrodo	Código de la película	Ubicación (lado)	Indicador de calidad de imagen
Placas	E 7018	2020-R07-RX-03-PI	A	1A ASTM 6
			B	
	E6010	2020-R07-RX-03-PII	A	
			B	
	E 312	2020-R07-RX-03-PIII	A	
			B	
	E 308 L	2020-R07-RX-03-PIV	A	
			B	
	E 309 L	2020-R07-RX-03-PV	A	
			B	

(Fuente Propia, 2020)

Tabla 2.9 - Codificación de tubería cuadrada

Tipo de geometría	Tipo de electrodo	Código de la película	Ubicación (lado)	Indicador de calidad de imagen
Tubos cuadrados	E 312	2020-R09-RX-03-PI	A	
			B	
		2020-R09-RX-03-PII	A	
			B	
			A	

	E 308 L	2020-R09-RX-03-PIII	B	1A ASTM 6
		2020-R09-RX-03-PIV	A	
			B	
	E 309 L	2020-R09-RX-03-PV	A	
		2020-R09-RX-03-PVI	B	
			A	
	E 7018	2020-R09-RX-03-PVII	A	
		2020-R09-RX-03-PVIII	B	
			A	
	E 6010	2020-R09-RX-03-PIX	A	
		2020-R09-RX-03-PX	B	
			A	
			B	

(Fuente Propia, 2020)

Tabla 2.10 - Codificación de tubería redonda

Tipo de geometría	Tipo de electrodo	Código de la película	Ubicación (lado)	Indicador de calidad de imagen
Tubería redonda	E312	2020-R09-RX-03-PI-O	A	1A ASTM 6
			B	
	E308L	2020-R09-RX-03-PII-O	A	
			B	
			A	
			B	
	E309L	2020-R09-RX-03-PIII-O	A	
			B	
			A	
			B	
	E309L	2020-R09-RX-03-PIV-O	A	
			B	
			A	
			B	
	E7018	2020-R09-RX-03-PVI-O	A	
B				
A				
B				
E7018	2020-R09-RX-03-PVII-O	A		
		B		
		A		
		B		
E6010	2020-R09-RX-03-PVIII-O	A		
		B		
		A		
		B		
E6010	2020-R09-RX-03-PIX-O	A		
		B		
		A		
		2020-R09-RX-03-PX-O	A	
			B	

(Fuente Propia, 2020)

2.5.2.1. Criterios de aceptación del examen radiográfico

Los criterios de aceptación permiten al inspector verificar si la unión soldada se encuentra en óptimas condiciones para ser aceptado debe cumplir con las siguientes circunstancias.

(a) Indicaciones lineales. En las radiografías se presentan como indicaciones lineales las grietas, la fusión incompleta, la penetración inadecuada y la escoria, en las que la longitud no debe sobrepasar más de tres veces la anchura.

(b) Indicaciones redondeadas. Estas pueden tener varias formas bien enmarcadas como redonda, elíptica, o también, pueden ser de formas irregulares como en forma de cola. En las radiografías se presentan como porosidad y de manera de inclusiones como la escoria o el tungsteno con una longitud que no debe sobrepasar tres veces mayor que la anchura.

Se considerarán inadmisibles cuando en la radiografía se puede observar imperfecciones que superan las especificaciones citadas a continuación.

a) En defectos lineales

- Cualquier tipo de grieta o zona de fusión o penetración incompleta.
- Cualquier inclusión de escoria alargada que tenga una longitud mayor a 1/8 pulg. (3 mm) para t hasta 3/8 pulg. (10 mm).
- Cualquier grupo de inclusiones de escoria en línea que tengan una longitud agregada mayor que t en una longitud de 12t, excepto cuando la distancia entre las imperfecciones sucesivas exceda 6L donde L es la longitud de la imperfección más larga en el grupo

b) En defectos redondeados

- La dimensión máxima permitida para las indicaciones redondeadas será el 20% de to 1/8 de pulgada (3 mm), lo que sea menor.
- Para soldaduras en material de menos de 1/8 pulg. (3 mm) de espesor, el número máximo de indicaciones redondeadas aceptables no debe exceder 12 en un 6 pulg. (150 mm) de longitud de soldadura.

2.5.3. Tintas penetrantes (PT)

Este procedimiento se realiza con la ayuda de un kit de tintas Figura 2.11, constituidas por el limpiador, penetrante y revelador que ingresan superficialmente al cordón de soldadura este procedimiento permite revelar discontinuidades, poros o fisuras no visibles y no detectables en la inspección visual.



Figura 2.11 - Kit de inspección visual.
(Fuente Propia, 2020)

La utilización del kit de líquidos penetrantes debe efectuarse en el siguiente orden:

- a) Limpieza y preparación del cordón de soldadura con el limpiador del kit de tintas.
- b) Aplicar el aerosol de penetrante de manera uniforme sobre la junta soldada y esperar un tiempo considerado según indique el kit, Figura 2.12.



Figura 2.12 - Penetrante colocado en tubería.
(Fuente Propia, 2020)

- c) Retirar el exceso de penetrante con la ayuda de un paño en una sola dirección.
- d) Posteriormente se aplica el revelador sobre el cordón de soldadura y espera que el líquido actúe y pueda revelar las discontinuidades, poros o fisuras presentes ilustrados en la Figura 2.13.



Figura 2.13 - Revelador colocado en tubería.
(Fuente Propia, 2020)

- e) Anotar la ubicación, distancia y tipo de discontinuidad según sea el caso observado en la junta.
- f) Finalmente limpiar y secar la probeta.

2.5.3.1. Criterios de aceptación de tintas penetrantes

Estándares de aceptación, los ensayos de procedimiento y rendimiento examinados mediante técnicas de líquidos penetrantes se considerarán inaceptables cuando el examen muestre alguna indicación que supere los límites especificados en lo siguiente:

- a) Indicaciones lineales relevantes; indicaciones con dimensiones principales mayores de $1/16''$ (1,5 mm) que tiene una longitud superior a tres veces la anchura.
- b) Indicaciones redondeadas relevantes mayores de $3/16''$ (5 mm); una indicación de forma redonda o elíptica con una longitud igual o menor que tres veces la anchura.
- c) Cuatro o más indicaciones redondeadas relevantes en una línea separada por $1/16''$ (1,5 mm) o menos (borde a borde)

2.6. Preparación de las probetas de ensayos mecánicos

Al concluir los ensayos no destructivos, se realiza el corte de las uniones soldadas de placas, tubería redonda y tubería cuadrada para la preparación de las muestras para tensión, doblez de cara y raíz referente a la norma ASME IX.

Para realizar el corte de placas y obtener la geometría para los respectivos ensayos es indispensable realizarlo según indica la Figura 2.14 de extremo a extremo se obtendrá 8 cortes, especificados de la siguiente manera mostrada en la Figura 2.14.

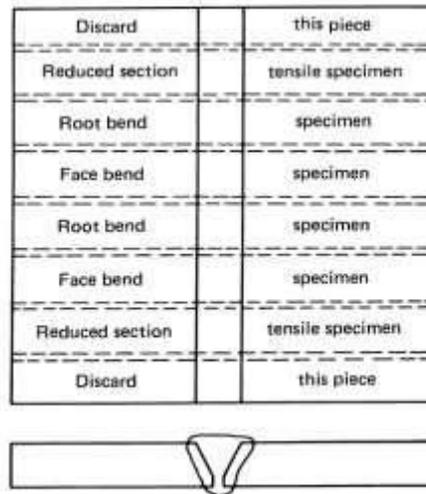


Figura 2.14 - Corte de placas.
(ASME, 2019)

Para la tubería se tomó como referencia la siguiente Figura 2.15 como guía para el corte de las probetas a ensayar, del mismo modo.

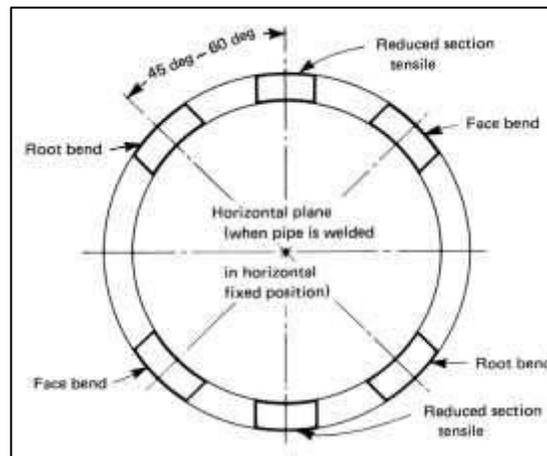


Figura 2.15 - Corte de tubería.
(ASME, 2019)

2.6.1. Equipo de corte

El corte de las placas soldadas se debe marcar como indica la Figura 2.14 con una separación de 42mm entre cada corte para posteriormente desbastar y obtener la geometría normada, para realizar el corte se utilizó el siguiente equipo de la Figura 2.16, este equipo posee un sistema de enfriamiento de agua permitiendo así que el material base conjunto con el cordón de soldadura no se sobrecaliente.



Figura 2.16 - Equipo de corte de placas.
(Fuente Propia, 2020)

2.7. Ensayos Mecánicos

Los ensayos son procedimientos normalizados de forma experimental para determinar las propiedades de las uniones soldadas.

Al realizar los ensayos destructivos permite determinar la variación de las propiedades mecánicas de las juntas soldadas, precisar descripciones, aprobar métodos e instaurar un control del proceso realizado.

2.7.1. Pruebas de tracción

Las probetas son utilizadas para estipular la resistencia máxima de la soldadura especificada mediante la norma. Para realizar la geometría del ensayo de tracción se extrajo muestras longitudinales como se mostró en la Figura 2.14.

2.7.1.1. Sección reducida- Placa

La geometría de la sección reducida en placas se refiere a la Figura 2.17. Y aplica según los siguientes criterios.

- Puede ser aplicado en cualquier espesor de placa en pruebas de tracción.
- Se aplica en espesores menores a 25 mm (1")
- Cuando se utilizan varias probetas, cada conjunto debe representar una sola prueba de tracción de la placa.
- Cuando se necesiten varias probetas, las muestras se cortarán en un número de tiras de igual tamaño, realizadas mecánicamente.

Conforme la geometría y dimensiones establecidas se ha obtenido el resultado de 30 probetas maquinadas de tracción 10 de placas planas, 10 de tubería cuadrada y 10 de tubería redonda presentados en la Figura 2.19.



Figura 2.19 - Probetas de tensión placas, tubería cuadrada y redonda.
(Fuente Propia, 2020)

2.7.1.3. Realización de la Prueba de Tensión

Las probetas de ensayo de tracción se deben romper bajo una tensión carga implementando una máquina universal de ensayos ilustrado en la Figura 2.20, hasta que las probetas lleguen al esfuerzo máximo de tracción para posteriormente tienda a fracturarse.



Figura 2.20 - Máquina universal para el ensayo de tracción.
(Fuente Propia, 2020)

2.7.1.4. Criterio de aceptación pruebas de tracción

Para la calificación del ensayo de tracción deben de cumplir los valores mínimos presentados en la columna. "Tracción mínima especificada, ksi" de la Tabla 2.21.

Se deben de cumplir la prueba de tracción deberá de superar los valores especificados a continuación:

- a) La mínima resistencia a la tracción especificada por el material base; o
- b) La mínima resistencia a la tracción especificada del material más débil de los dos, si se utilizan materiales base de diferente resistencia mínima a la tracción; o
- c) La mínima resistencia a la tracción especificada del metal de soldadura cuando la sección aplicable disponga el uso de metal de soldadura que tenga una resistencia a temperatura ambiente menor que el metal base;
- d) si la muestra se rompe en el metal base fuera de soldadura o interfaz de soldadura, la prueba se aceptará, siempre que la resistencia no sea más del 5% por debajo de la resistencia a la tracción mínima especificada del metal base.

Tabla 2.11 - Números P. Agrupación de metales base para la calificación.

Spec. No.	Designation, Type, or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi (MPa)	Welding		Nominal Composition	Typical Product Form Group
				P - No.	Group No.		
A/SA-36	.....	.....	58 (400)	1	1	C-Mn-Si	Plate, bar & shapes
A/SA-276	304	S 30 400	75 (515)	8	1	18Cr-8Ni	Bars & shapes
A 500	C	K0 27 05	52 (358)	1	1	C	Smls. & welded tube

(ASME, 2019)

2.7.2. Ensayo de doblez

Ensayos de dobles utilizados para establecer un margen de solidez y ductilidad en las juntas unidas mediante un proceso de soldadura.

2.7.2.1. Muestras

Las probetas de ensayo de doblado deben prepararse cortando la placa o tubería de prueba, para la formación de muestras aproximadamente de sección transversal rectangular. Las probetas cortadas deben tener la designación de cada lado de muestra (raíz-cara).

2.7.2.1.1. Doblado transversal de la cara

La junta soldada, que se dobla de modo que la superficie frontal se convierte en la superficie convexa de la muestra doblada. Las probetas de prueba de flexión de cara transversal deben cumplir con las distancias que se indican en la Figura 2.21.

2.7.2.1.2. Doblado transversal de la raíz

La muestra que se dobla de modo que la superficie de la raíz se convierte en la superficie convexa de la muestra doblada. Las muestras de ensayo de curvatura de raíz transversal deben cumplir con las longitudes que se muestran en la Figura 2.21.

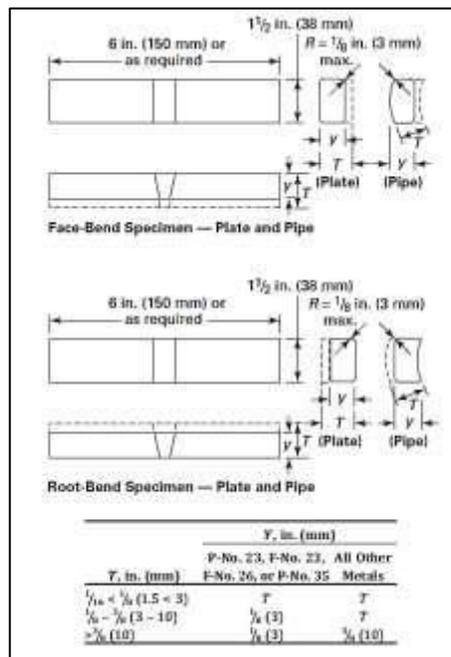


Figura 2.21 - Especificaciones para el doblado de cara-raíz. (ASME, 2019)



Figura 2.22 - Probetas cortadas para el ensayo de doblado de cara-raíz en placas. (Fuente Propia, 2020)



Figura 2.23 - Probetas cortadas para el ensayo de doblado de cara-raíz en tubería cuadrada.
(Fuente Propia, 2020)



Figura 2.24 - Probetas cortadas para el ensayo de doblado de cara-raíz en tubería redonda.
(Fuente Propia, 2020)

2.7.2.2. Procedimiento de Prueba de doblado

Las muestras de curvatura guiada deben doblarse en guías de ensayo. Se utilizan las guías ilustradas en la Figura 2.25, el lado de la muestra girado hacia el espacio de la guía debe ser la cara del espécimen de flexión frontal, el lado posterior a este es la base para curvatura de raíz. Se debe ejercer una carga especificada en el dado indicado para que este actúe sobre el émbolo hasta que en la curvatura de la probeta no se pueda insertar una varilla de 1/8 pulg. (3 mm).

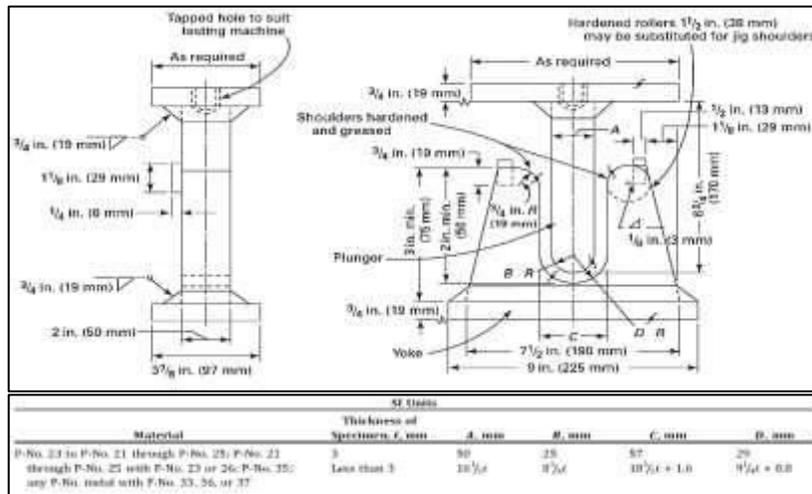


Figura 2.25 - Jig y dimensiones para el ensayo de Doblado.
(ASME, 2019)

El equipo empleado se muestra en la Figura 2.26, la probeta se apoya en la base del Jig. Sus dos extremos de contacto y la parte superior bajan con una fuerza perpendicular para doblar la probeta, la cual, depende de la ubicación de la junta soldada. Se considera doblado de cara cuando la zona inferior se ubica debajo del embolo, y doblado de raíz cuando la zona inferior se ubica debajo del embolo, este ensayo permite evaluar la ductilidad de la unión soldada. La severidad de la prueba de doblado es principalmente una función del ángulo de doblado del diámetro interior al cual el espécimen se dobla, y de la sección transversal del espécimen.



Figura 2.26 - Prensa hidráulica para el ensayo de doblado.
(Fuente Propia, 2020)

2.7.2.3. Criterio de aceptación- Pruebas de doblado

Según la normativa ASME sección IX los criterios de aceptación para las pruebas de doblado especifican que:

“La soldadura y la zona afectada por el calor de una muestra de soldadura curvada transversal deben estar completamente dentro de la parte doblada de la muestra después de la prueba. Las muestras de curvatura guiada no deben tener discontinuidad abierta en la soldadura o la zona afectada por el calor que exceda 1/8 de pulgada (3 mm), medida en cualquier dirección en la superficie convexa de la muestra después de curvarse. Las discontinuidades abiertas que ocurran en las esquinas de la muestra durante la prueba no se considerarán a menos que exista evidencia definitiva de que son el resultado de la falta de fusión, inclusiones de escoria u otras discontinuidades internas.” (ASME, 2019)

2.8. Análisis metalográfico

Este proceso permite revelar las fases en la unión soldada que se ha formado con cada tipo de material de aporte, permite visualizar la zona afectada térmicamente de los materiales base. Para realizar este estudio es necesario preparar las muestras de cada placa y tubería soldada.

Primero se corta una muestra del material soldado de una medida aproximada de 38 x 18 mm, después es necesario pulir las rebabas existentes y tratar que los lados se encuentren de forma paralela, las muestras deben colocarse perpendicularmente a la base en los moldes, posteriormente se fija las muestras con una mezcla de resina líquida y finalmente desmoldar una vez que la resina se ha solidificado en la Figura 2.27 se muestra un poco del procedimiento realizado.

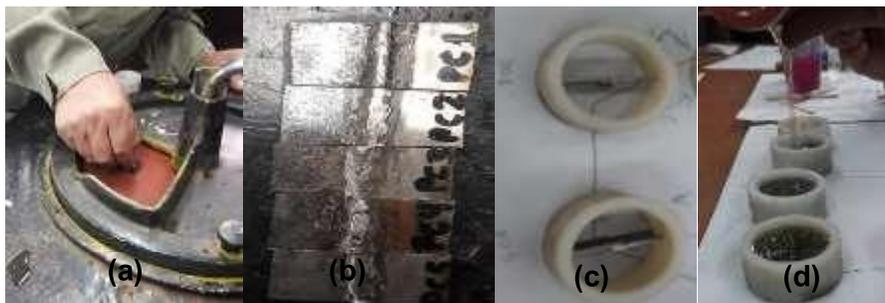


Figura 2.27 - Preparación de las muestras. a) Pulido, b) Identificación, c) Moldeo, d) Colocación de resina.
(Fuente Propia, 2020)

Al obtener las muestras sólidas se procede a pulir con la ayuda de un equipo automático mostrado en la Figura 2.28, este equipo posee una regulación de velocidades, durante el pulido es indispensable colocar en el paño Alúmina esto ayuda que la muestra tenga un mejor acabado superficial luego se coloca un jabón con pH neutro esto ayuda a la limpieza.



Figura 2.28 - Pulidor de probetas.
(Fuente Propia, 2020)

Al adquirir las probetas ya pulidas se procede a realizar el ataque químico, cabe recalcar que se tiene 2 materiales disimiles y es necesario utilizar un reactivo para cada material, se atacó primero el lado de la probeta que contiene el acero al carbono con una solución de nital al 3%. A continuación, la otra mitad de la probeta que contiene el lado del acero inoxidable atacado con marble una solución química de 10 g de CuSO_4 , 50 ml de HCL y 50 ml de H_2O . Los dos reactivos se aplican con la ayuda de un isopo en un tiempo determinado no más de 10 segundos para evitar quemaduras. Finalmente, la muestra se lava con agua seguido con alcohol al 99.8% y secado con aire forzado. Figura 2.29. Indica las muestras ya pulidas y atacadas químicamente.



Figura 2.29 - Muestras pulidas y atacadas químicamente.
(Fuente Propia, 2020)

2.8.1. Metalografías

2.8.1.1. Macrografías

La macrografía consiste en examinar una sección plana pulida y atacada previamente por un reactivo químico. Las macrografías permiten determinar la geometría de una unión soldada, las imágenes y tomas de las macrografías son generadas por el microscopio ilustrado por la Figura 2.30.



Figura 2.30 - Microscopio macrográfico.
(Fuente Propia, 2020)

2.8.1.2. Micrografías

El ensayo micrográfico permite determinar la microestructura de las uniones soldadas, el material base y las fases que lo componen, observar el tamaño de grano, así como inclusiones, carburos, fisuras, poros y quemones por exceso de ataque químico. Se realiza tomas con aumentos de 100X y 500X en 4 zonas. Iniciando en la zona de material base acero al carbono, seguido en la ZAC del acero al carbono, después la ZAC del inoxidable y por último el material base del inoxidable. Las imágenes y tomas son generadas por el microscopio ilustrado en la Figura 2.31.



Figura 2.31 - Microscopio micrográfico.
(Fuente Propia, 2020)

2.8.2. Diagrama de Scheffer

Este método nos permite determinar y predecir las fases presentes en la unión de materiales disimiles con el material de aporte. En este caso, los puntos correspondientes al cromo y níquel equivalentes de cada uno de los materiales presentes en la junta se muestran en la Figura 2.32. Los cálculos se realizan a través de Ecuaciones 2.1 y 2.2. para posteriormente graficarlos en los diagramas.

$$Cr_{equi} = \%Cr + \%Mo + 1.5 * \%Si + 0.5 * Nb$$

Ecuación 2.1

$$Ni_{equi} = \%Ni + 30 * \%C + 0.5 * \%Mn$$

Ecuación 2.2

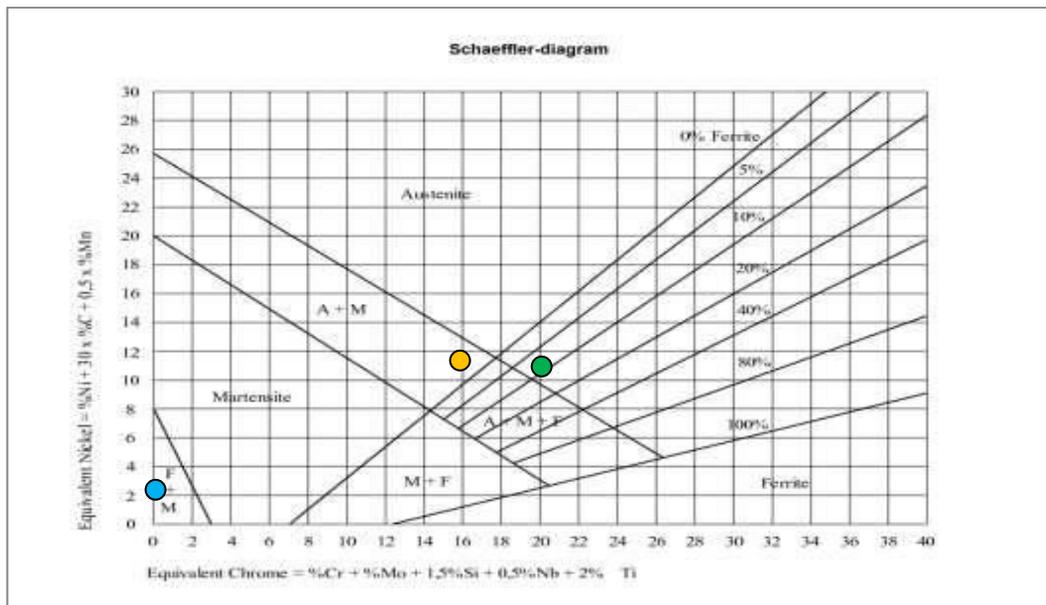


Figura 2.32 - Diagrama Schaeffler.
(Fuente Propia, 2020)

2.9. Pruebas de dureza

Se determinan la dureza de materiales a través de un ensayo de resistencia a la penetración según la norma ASTM A370, la cual nos indica las generalidades. Las tomas de las durezas se han realizado en 5 puntos de izquierda a derecha iniciando por el material base inoxidable, en la ZAC de inoxidable, hacia el material base del acero al carbono, ilustrado en la Figura 2.33.



Figura 2.33 - Probeta para análisis de dureza.
(Fuente Propia, 2020)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Composición química aplicado en el material base

Los resultados se indican en el Anexo II sabiendo que M1 y M3 es el material base A500 de la tubería cuadrada y redonda, M2 es el material A36 de las placas planas, M4 M5 y M6 son de material base AISI 304. Para la comparación se utiliza la composición química nominal, las cuales corresponden las máximas cantidades aceptadas de cada elemento determinadas en la Norma ASME IX. Esto se muestra en la Tabla 3.1

Tabla 3.1 - Composición química nominal del material base.

Material base		AISI 304	ASTM A-36	ASTM A-500
Elemento		Composición [%]	Composición [%]	Composición [%]
Carbono	C	0,08	0,25	0,27
Silicio	Si	1	0,4	.....
Manganeso	Mn	2	.....	1,4
Fósforo	P	0,045	0,03	0,045
Cromo	Cr	18,67	.....	.....
Níquel	Ni	8,78	.....	.....
Cobre	Cu	0,12	0,2	0,18
Azufre	S	0,03	0,03	0,045
Molibdeno	Mo	0,38		
Hierro	Fe	68,8	99,09	98,012

(ASME, 2019)

Las Figuras 3.1, 3.2 y 3.3 son el resultado de la comparación y análisis de la espectrometría (Anexo II) y de la Tabla 3.1. Estas representan cada uno de los materiales base utilizados en el proyecto.

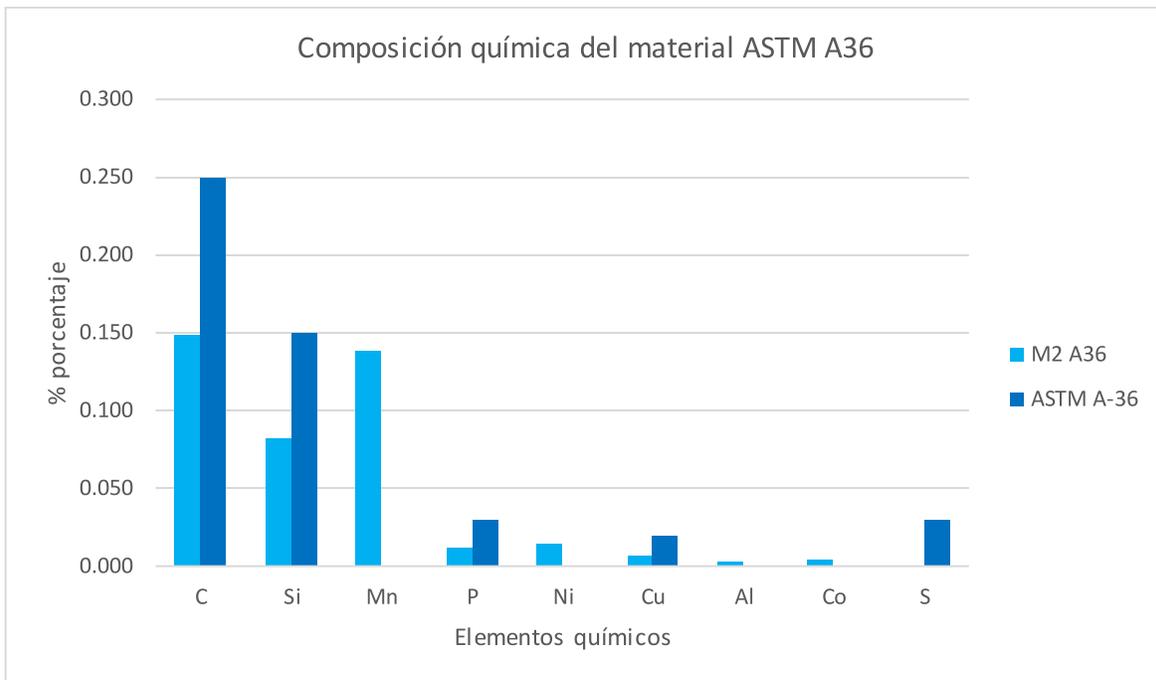


Figura 3.1 - Comparación química del acero ASTM A36.
(Fuente Propia, 2020)

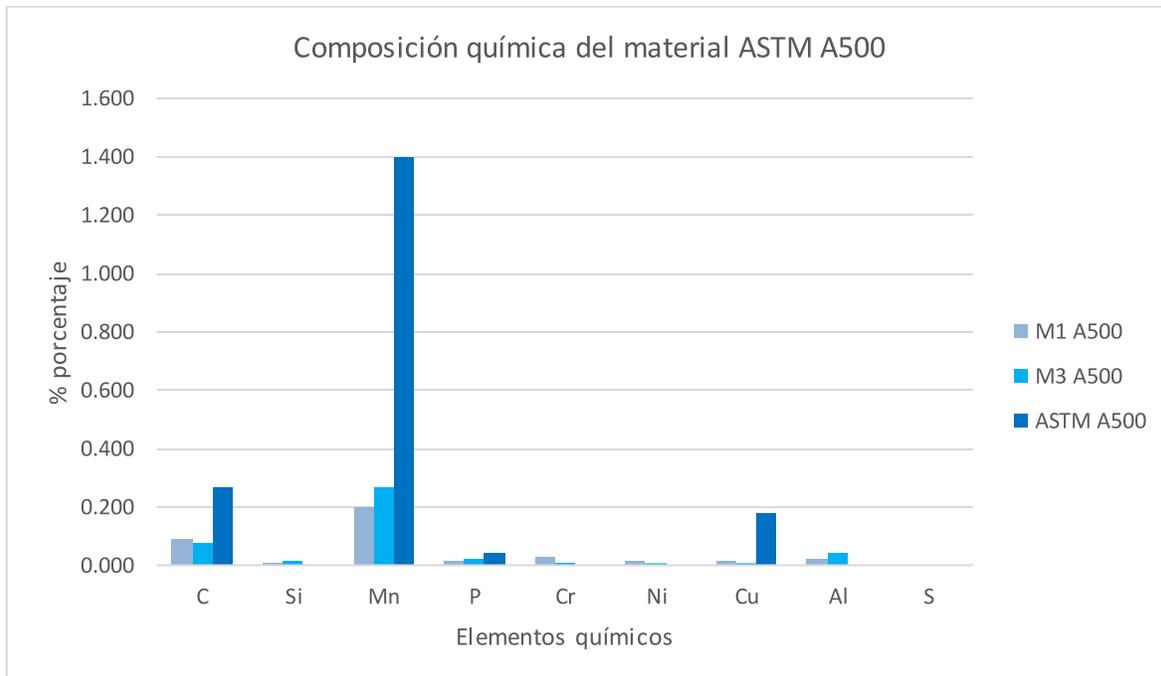


Figura 3.2 - Comparación química del acero ASTM A500.
(Fuente Propia, 2020)

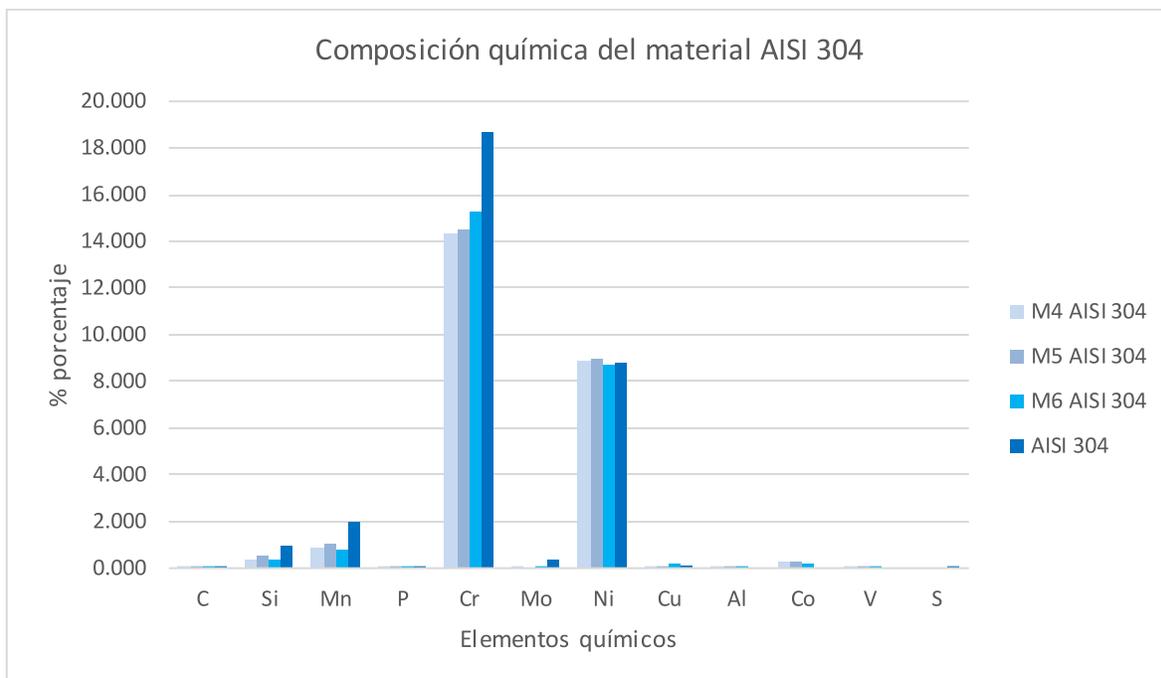


Figura 3.3 - Comparación química del acero inoxidable AISI 304. (Fuente Propia, 2020)

3.2. Ensayos no destructivos

3.2.1. Resultados del ensayo de inspección visual

Los ensayos de inspección visual arrojaron los resultados realizados en placas soldadas con diferente material de aporte presentadas en la Tabla 3.2, estos interpretan en número de discontinuidades presentes en cada probeta soldada.

Tabla 3.2 - Resultados del ensayo de inspección visual.

Electrodo	Probetas	Métodos Superficiales				
		Inspección Visual				
		Discontinuidades				
		Sobremonta			Raíz	
		Redondeada	Poro	Alargada	Redondeada	Alargada
E 7018	P1	6	2	4	1	5
E 6010	P2	2		5		15
E 312	P3			12		9
E 308 L	P4	5				16
E 309 L	P5	4				15

(Fuente Propia, 2020)

3.2.2. Resultados del ensayo de radiografía industrial

Los resultados del ensayo en placas planas, tubería cuadrada y tubería redonda soldadas con varios materiales de aporte presentes en la Tabla 3.3, esta interpreta el número de discontinuadas presentes en cada unión soldada.

Tabla 3.3 - Resultados del ensayo de radiografía industrial.

Electrodo		Radiografía industrial																			
		Placas						Tubería cuadrada				Tubería Redonda									
		Indicaciones Lineales			Indicaciones Redondas			Indicaciones Lineales		Indicaciones Redondas		Indicaciones Lineales			Indicaciones Redondas						
		poro tipo gusano	Fusión incompleta	Penetración inadecuada	Escoria	Porosidad	Escoria	Inclusión de Tungsteno	poro tipo gusano	Fusión incompleta	Penetración inadecuada	Escoria	Porosidad	Escoria	Tungsteno	Porosidad	Fusión incompleta	Penetración inadecuada	Escoria	Porosidad	Escoria	Tungsteno
E7018	5	2		1	5	3		5		3	3		6		5	3		4	4	1	
								2	1	1	6	1	6		2	1		1	1	5	5
E6010				1	5	1	1	4	4	1		2			1	1		2	6	1	
								3			8	1			1		6		3		
E312	1	1	7	2		1		1	5			2	1			4					
											3				4		1				
E308L			1	4	5	5			2	2	4					6					
										1	2	6	1		3	2		6	2	1	
E309L	5		5		8			1	2	3	2	4	3			3					
									3	1	3		1			6		3			

(Fuente Propia, 2020)

3.2.3. Resultados del ensayo de tintas penetrantes

En la tabla 3.4 se indica el número de discontinuidades en las juntas soldadas presente en cada probeta.

Tabla 3.4 - Resultados del ensayo de líquidos penetrantes.

Líquidos Penetrantes								
Electrodo	Placas				Tubería cuadrada		Tubería Redonda	
	cara		raíz		Indicaciones lineales	Indicaciones redondas	Indicaciones lineales	Indicaciones redondas
	Indicaciones lineales	Indicaciones redondas	Indicaciones lineales	Indicaciones redondas				
E7018	4	8	5	1	5	3	10	5
					14	2	20	8
E6010	5	2	15		8	7	5	15
					6	5	4	2
E312	12		9		2	3	4	
					1	2	8	2
E308L		5	16		2	3	1	7
					2	4	12	2
E309L		4	15		5	4	4	1
					5	1	11	8

(Fuente Propia, 2020)

3.3. Ensayos destructivos

3.3.1. Resultados de los ensayos de tracción.

Los resultados en placas planas, tubería cuadrada y redonda de las probetas soldadas se muestran en el Anexo III.

Los valores obtenidos se representan en las Figuras 3.4, 3.5 y 3.6, donde se colocan las líneas horizontales gris y café, estas representan el valor de mínimo esfuerzo a la tracción de cada material base respectivamente especificada en la norma ASME IX. Para el análisis se utiliza el valor de resistencia a la tracción más débil de los dos materiales base.

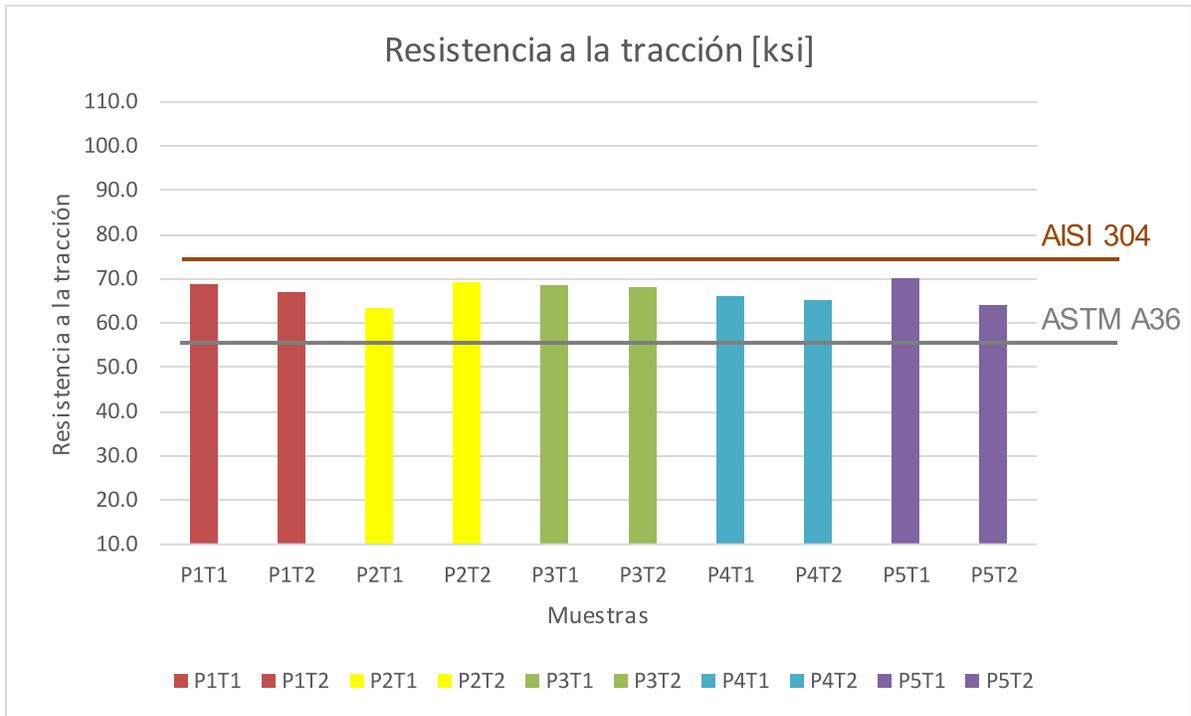


Figura 3.4 - Resultados ensayo de tracción en placas planas.
(Fuente Propia, 2020)

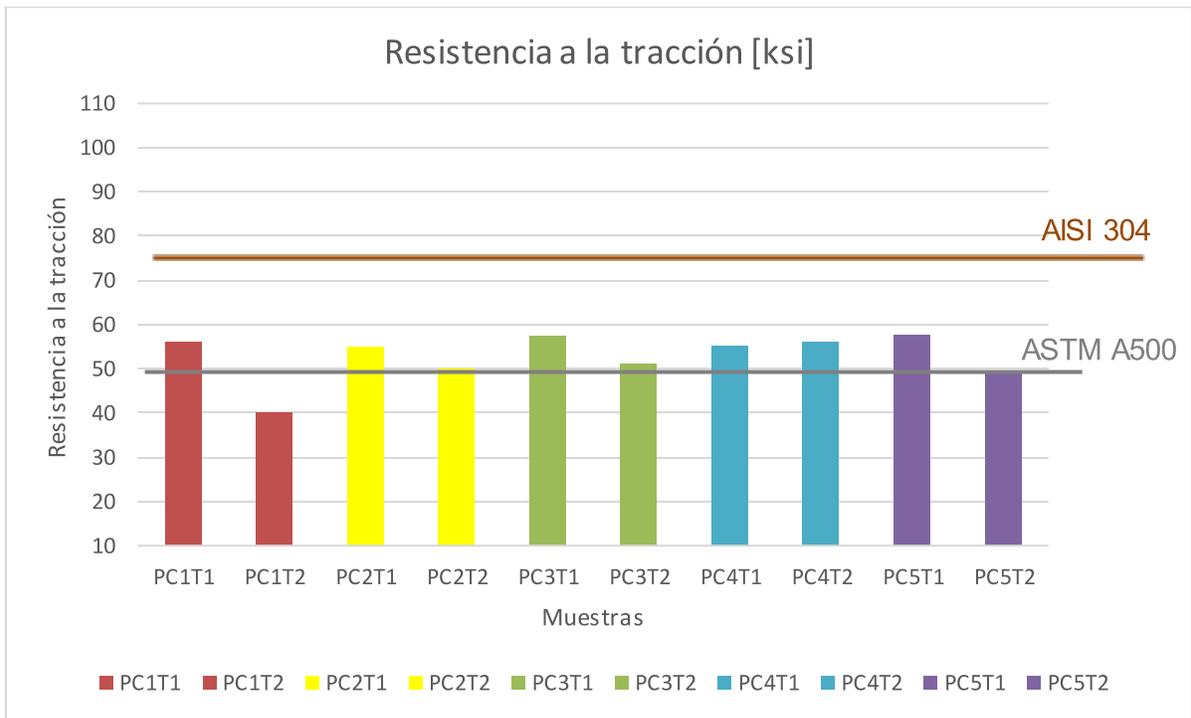


Figura 3.5 - Resultados ensayo de tracción en tubería cuadrada.
(Fuente Propia, 2020)

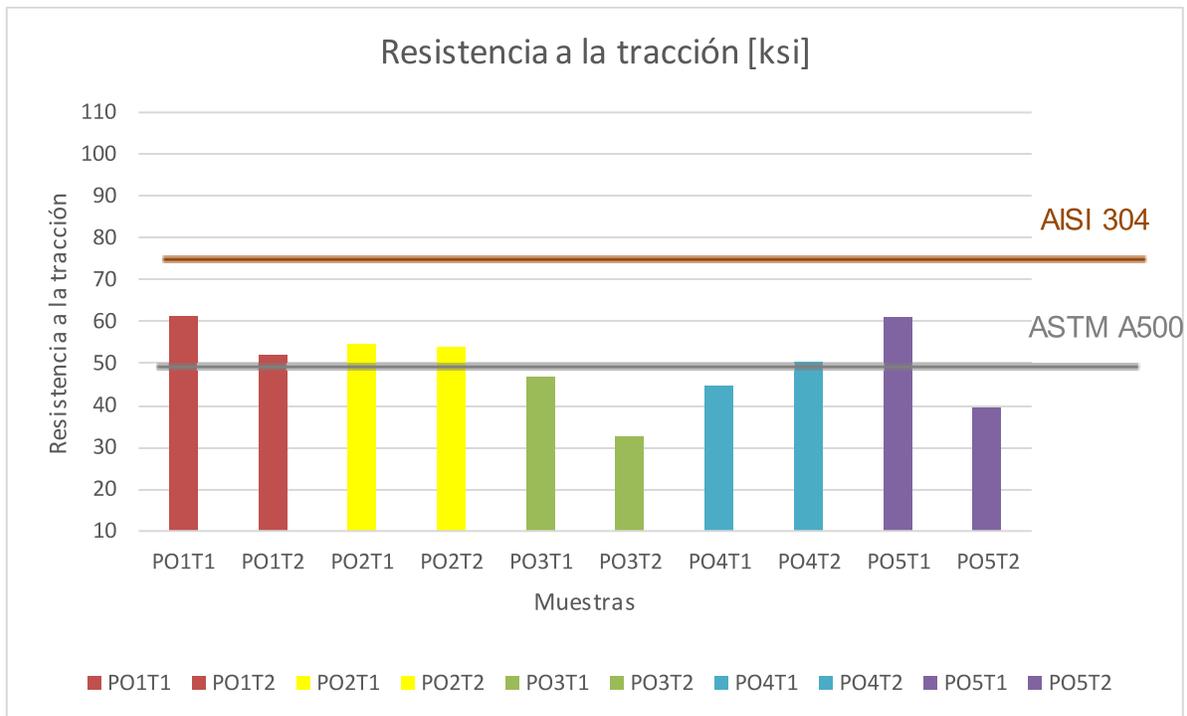


Figura 3.6 - Resultados ensayo de tracción en tubería redonda.
(Fuente Propia, 2020)

3.3.2. Resultados de los ensayos de doblez de cara y de raíz

En el doblez de cara y raíz las uniones soldadas se encuentran especificadas en el Anexo IV. Un resumen de los resultados con los defectos obtenidos en este ensayo se muestra en la tabla 3.5.

Para la aprobación de la soldadura la ASME IX indican que si un defecto es mayor a los 3 mm este no será aprobado, mientras que, si la fractura es de borde depende del tipo de fractura si es por falta de fusión o por efecto de los dobles. En la Tabla 3.6 se observa los defectos más evidentes que se presentaron en las muestras.

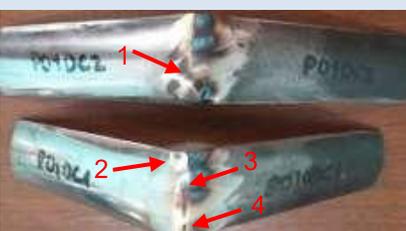
Tabla 3.5 - Resumen de ensayo de dobles

		Dobles Cara y Raíz											
Electrodo	Tipo dobles	Placas				Tubería cuadrada				Tubería Redonda			
		Poros	Discontinuidad abierta en el borde	Discontinuidad	Aprueba	Poros	Discontinuidad abierta en el borde	Discontinuidad	Aprueba	Poros	Discontinuidad abierta en el borde	Discontinuidad	Aprueba
		E7018	Cara				si	1		1	no	2	2		no
	Raíz				si				si		2	1	no
E6010	Cara	1			si	2			si	1			si
	Raíz	1			si	2			si		1		si
E312	Cara				si		1		no			2	no
	Raíz	1			si			3	no		2	1	no
E308L	Cara				si				si				si
	Raíz				si			1	si		2	2	no
E309L	Cara			1	si			1	no			1	no
	Raíz				si				si		3		no

(Fuente Propia, 2020)

Tabla 3.6 - Defectos más evidentes en el ensayo de dobles de cara y raíz.

Muestra	Tipo	Descripción	Evidencia
Placas	Cara	Muestra P2 utilizando electrodo E6010, presenta poros en la superficie por efecto de la soldadura. Aprueba el ensayo.	

Placas	Raíz	Muestra P5 utilizando electrodo E 309 L, presenta poros en la superficie por efecto de la soldadura. Aprueba el ensayo	
Tubería cuadrada	Cara	Muestra PC2 utilizando electrodo E 6010, presenta poros por efecto de la soldadura, además de quemaduras en la superficie. Aprueba el ensayo.	
Tubería cuadrada	Raíz	Muestra PC3 utilizando electrodo E312, presenta tres discontinuidades de 9, 3 y 10 mm respectivamente. No aprueba el ensayo.	
Tubería redonda	Cara	Muestra PO1 utilizando electrodo E 7018, presenta cuatro discontinuidades de 6, 11, 6 y 3 mm respectivamente, además de quemaduras en la superficie por exceso de pulido. No aprueba el ensayo.	
Tubería redonda	Raíz	Muestra PO5 utilizando electrodo E 309 L, presenta tres discontinuidades de 2, 2 y 17 mm respectivamente. No se pudo realizar el doblado por falta de fusión en la soldadura. No aprueba el ensayo.	

(Fuente Propia, 2020)

3.4. Estudio metalográfico

3.4.1. Resultados de la macrografía

Los resultados de las macrografías realizadas a las diferentes muestras se pueden apreciar en el Anexo V, en la que se indica la ZAC, la junta soldada, las mediciones de la sobre monta de la cara y la raíz respectivamente.

La Tabla 3.7 muestra los resultados observados de los ensayos micrográficos. Los principales defectos en tubería es el desalineamiento de las mismas y la falta de fusión.

Tabla 3.7 - Resumen de resultados obtenidos en macrográficas.

Muestra	Electrodo	ZAC (mm ²)	Observaciones
P1	E 7018	11.48	Presenta mayor ZAC en el acero al carbono. Se realiza dos pases de soldadura.
P2	E 6010	16.90	Presenta mayor ZAC en el acero al carbono. Se realiza dos pases de soldadura.
P3	E 312	10.15	Presenta mayor ZAC en el acero al carbono.
P4	E 308 L	6.40	Presenta mayor ZAC en el acero al carbono. Se realiza dos pases de soldadura.
P5	E 309 L	7.10	Presenta mayor ZAC en el acero al carbono.
PC1	E 7018	7.09	Desalineamiento en probetas. Sobremonta en cara muy grande (2.25 mm).
PC2	E 6010	6.10	Desalineamiento en probetas. Se realiza dos pases de soldadura. No presenta sobremonta en la raíz.
PC3	E 312	4.48	Desalineamiento en probetas. No presenta sobremonta en la raíz.
PC4	E 308 L	6.09	Presenta mayor ZAC
PC5	E 309 L	6.06	Presenta mayor ZAC.
PO1	E 7018	10.66	Presenta un poro en la muestra. La sobremonta en la cara es muy grande (1.93 mm). Desalineamiento entre probetas.
PO2	E 6010	5.50	Desalineamiento en probetas.
PO3	E 312	6.70	Desalineamiento en probetas. No presenta sobremonta en la raíz. Se observa falta de fusión.
PO4	E 308 L	7.20	Desalineamiento en probetas. No presenta sobremonta en la raíz.
PO5	E 309 L	8.23	Desalineamiento en probetas. No presenta sobremonta en la raíz.

(Fuente Propia, 2020)

En la obtención de macrografías también se puede verificar el porcentaje de ZAC provocado por cada uno de los materiales de aporte. Esto se puede observar en las Figuras 3.7 y 3.8. El porcentaje indicado es la cantidad de ZAC presente en la soldadura en relación con el tamaño del cordón de la junta.

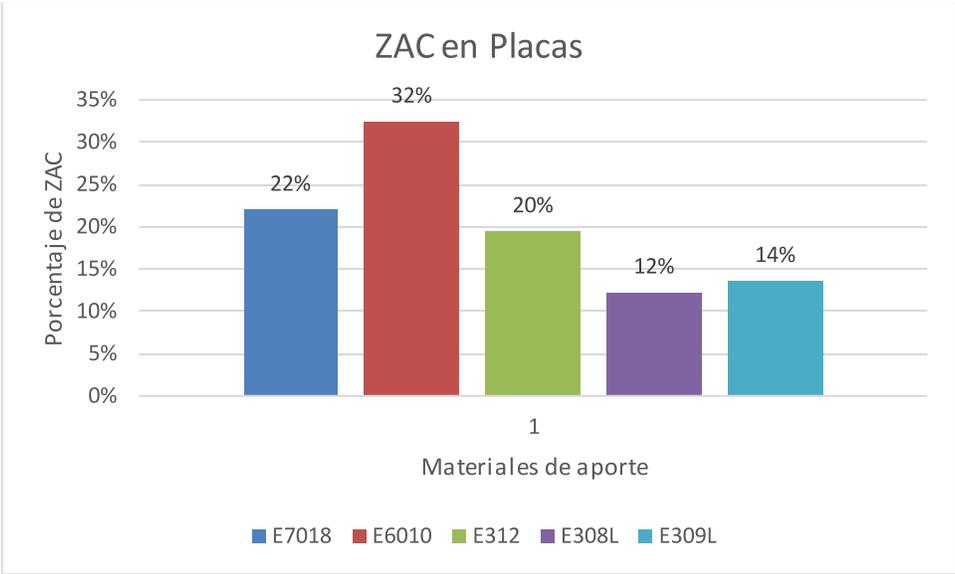


Figura 3.7 - Porcentaje de ZAC por cada material de aporte en macrografías en placas. (Fuente Propia, 2020)

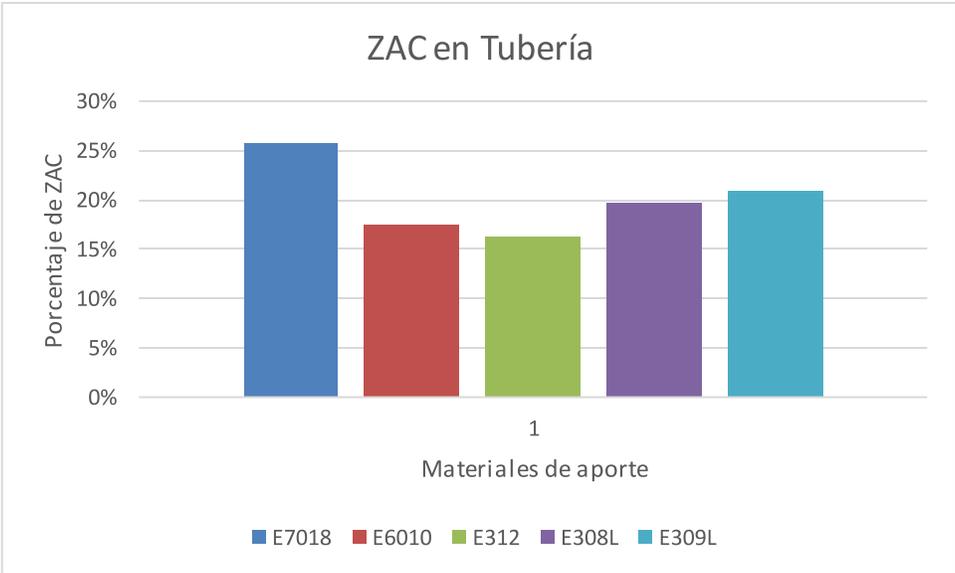


Figura 3.8 - Porcentaje de ZAC por cada material de aporte en macrografías en tuberías. (Fuente Propia, 2020)

3.4.2. Resultados de micrografía

Los resultados del ensayo de micrografías en placas planas, tubería redonda y tubería cuadrada las cuales fueron soldadas con diferentes materiales de aporte se muestran detalladas en el Anexo VI, donde se puede observar el material base afectado por el calor, el cordón de soldadura y su microestructura.

Se ha realizado la toma de las muestras micrográficas de izquierda a derecha iniciando por el acero al carbono, seguido por el cordón de soldadura usando diferentes materiales de aporte y finalizando con el material base del acero inoxidable.

3.4.3. Resultados del Diagrama Schaeffler

Mediante la composición química obtenida previamente y empleando las Ecuaciones 2.1 y 2.2 se determina las cantidades de Cr_{equi} y Ni_{equi} de cada una de las muestras las cuales se presenta en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8 - Cromo y níquel equivalente en placas planas soldadas con diferentes materiales de aporte.

Muestra	Descripción	Cromo Equivalente	Níquel Equivalente
P1	ASTM A-36	0.4	4.6
	AISI 304	15.3	11.5
	E 7018	0.9	2.9
P2	ASTM A-36	0.4	4.6
	AISI 304	15.3	11.5
	E 6010	0.4	3.9
P3	ASTM A-36	0.4	4.6
	AISI 304	15.3	11.5
	E 312	31.2	14.5
P4	ASTM A-36	0.4	4.6
	AISI 304	15.3	11.5
	E 308 L	20.1	11
P5	ASTM A-36	0.4	4.6
	AISI 304	15.3	11.5
	E 309 L	26.9	14.7

(Fuente Propia, 2020)

El proceso de obtención de valores de Cr_{equi} y Ni_{equi} correspondientes a placas de acero inoxidable AISI 304 se realizan de la siguiente manera.

$$Cr_{equi} = 14.55 + 0 + 1.5 * (0.519) + 0.5 * (0)$$

$$Cr_{equi} = 15.3$$

$$Ni_{equi} = 8.99 + 30 * (0.061) + 0.5 * (1.046 + 0.016 + 0.249)$$

$$Ni_{equi} = 11.5$$

El proceso de obtención de valores de Cr_{equi} y Ni_{equi} correspondientes a placas de acero A-36 se realizan de la siguiente manera.

$$Cr_{equi} = 0.268 + 0 + 1.5 * (0.082) + 0.5 * (0)$$

$$Cr_{equi} = 0.4$$

$$Ni_{equi} = 0.014 + 30 * (0.149) + 0.5 * (1.138 + 0.007 + 0.004)$$

$$Ni_{equi} = 4.6$$

El proceso de obtención de valores de Cr_{equi} y Ni_{equi} correspondientes al material de aporte E 7018 se realizan de la siguiente manera.

$$Cr_{equi} = 0 + 0 + 1.5 * (0.6) + 0.5 * (0)$$

$$Cr_{equi} = 0.9$$

$$Ni_{equi} = 0.0 + 30 * (0.08) + 0.5 * (1.0)$$

$$Ni_{equi} = 2.9$$

Con los valores obtenidos se grafican sobre el Diagrama Schaeffler donde el punto azul corresponde a los valores del acero ASTM A-36, el punto amarillo corresponde a acero inoxidable AISI 304, el punto verde corresponde al material de aporte E 7018 y el punto rojo corresponde a la estructura resultante de la soldadura (Figura 3.9).

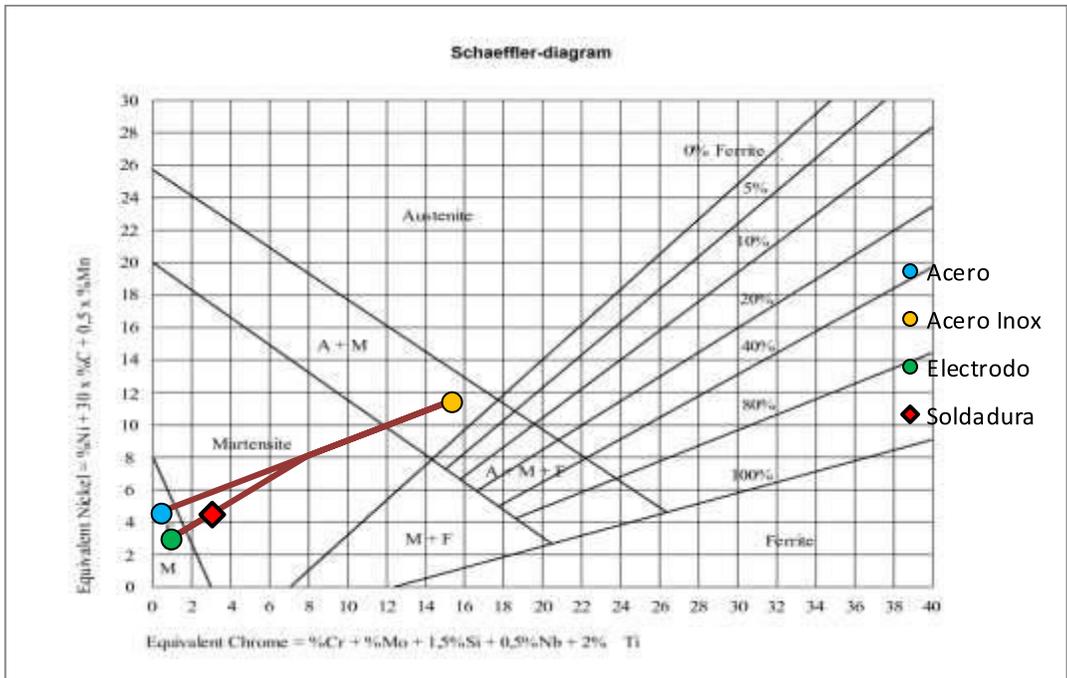


Figura 3.9 - Diagrama Schaeffler de la muestra P1 con una composición final de Martensita.
(Fuente Propia, 2020)

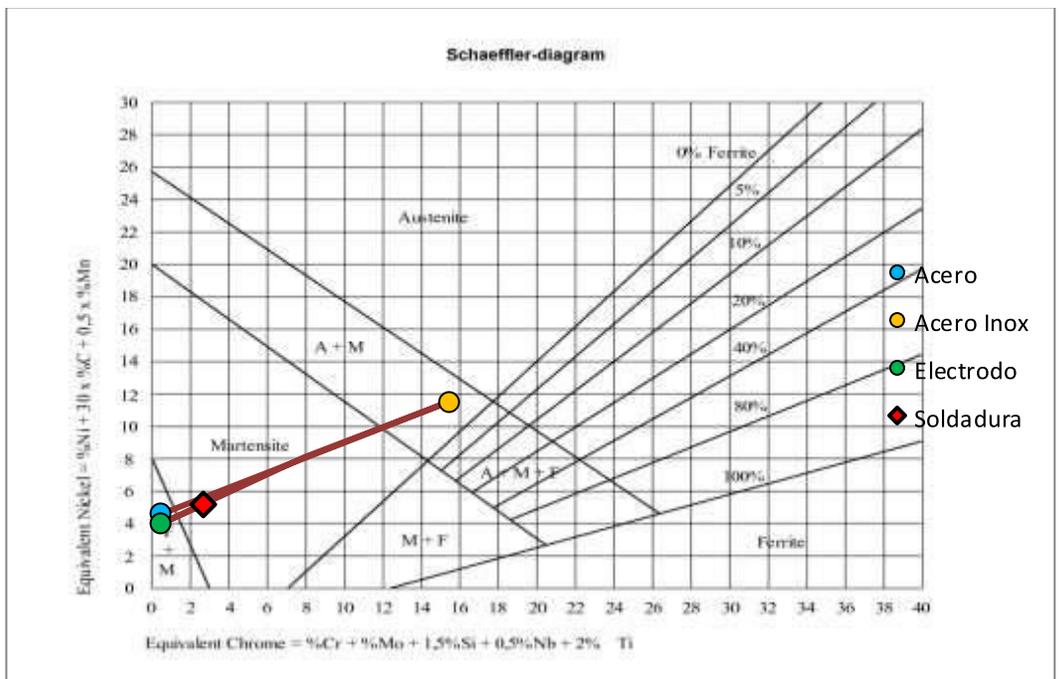


Figura 3.10 - Diagrama Schaeffler de la muestra P2 con una composición final de Martensita.
(Fuente Propia, 2020)

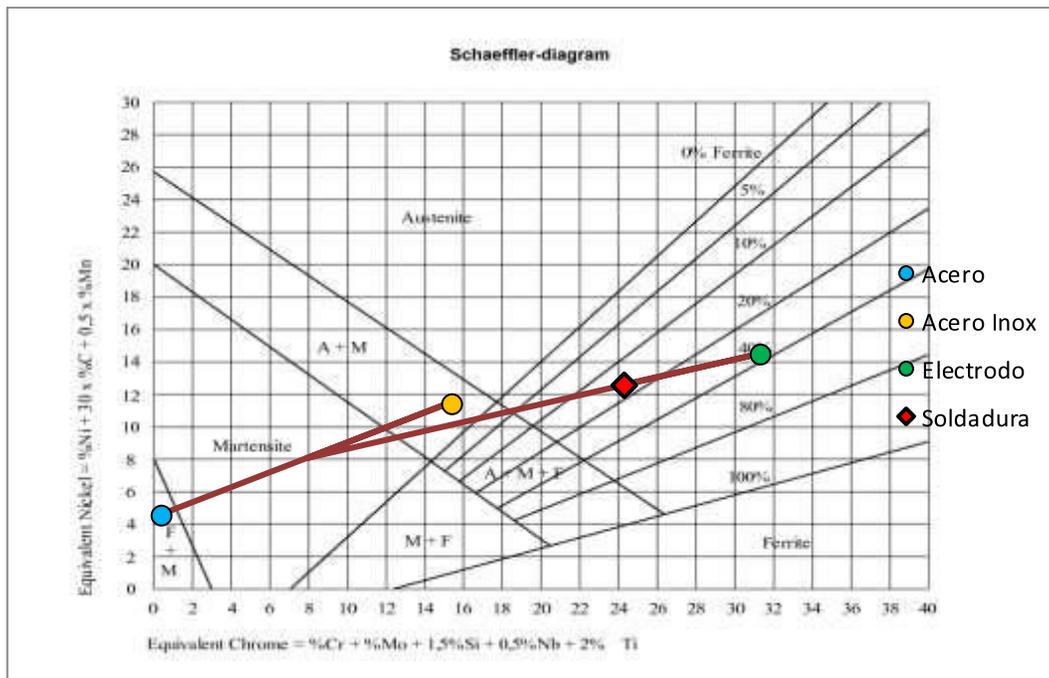


Figura 3.11 - Diagrama Schaeffler de la muestra P3 con una composición final de 17% Ferrita + Austenita.
(Fuente Propia, 2020)

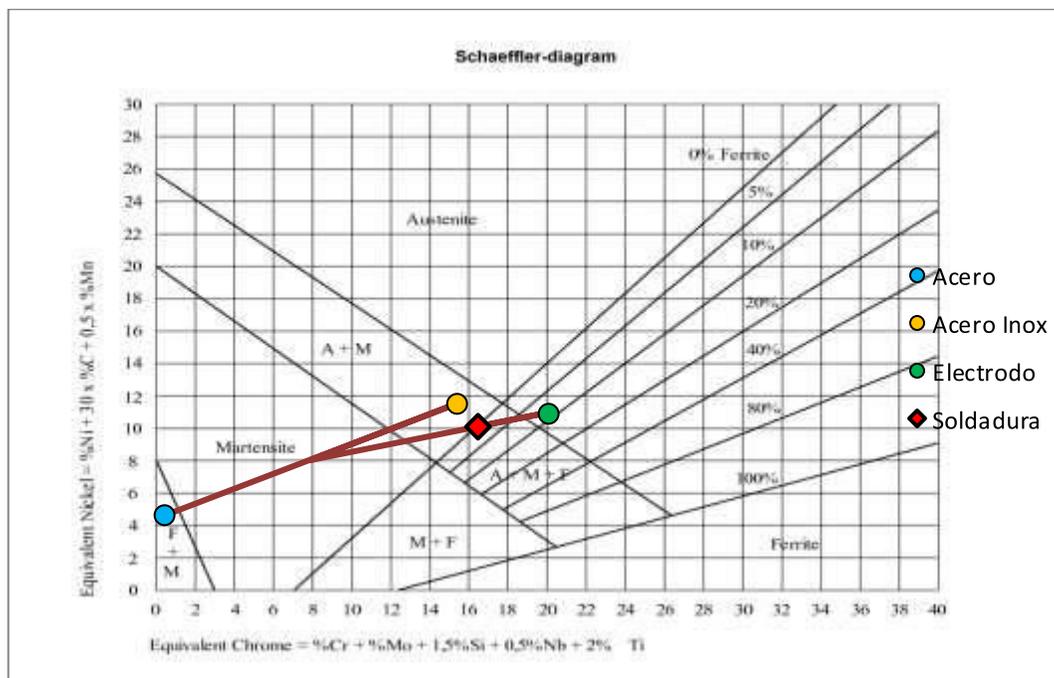


Figura 3.12 - Diagrama Schaeffler de la muestra P4 con una composición final de 1% Ferrita + Austenita + Martensita.
(Fuente Propia, 2020)

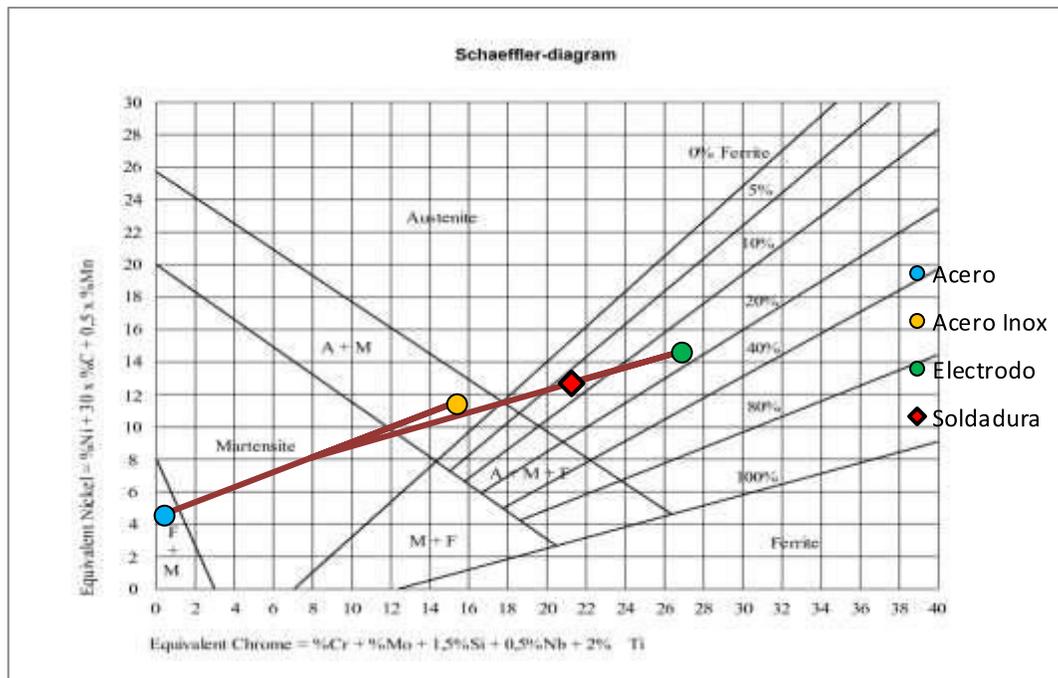


Figura 3.13 - Diagrama Schaeffler de la muestra P5 con una composición final de 7% Ferrita + Austenita.
(Fuente Propia, 2020)

Para los diagramas se considera que los materiales bases aportan el 30% de la dilución, mientras que el material de aporte contribuye con el 70% restante. Se consideran solo los diagramas concernientes a la soldadura de placas, debido a que estos son similares a los obtenidos por las tuberías.

3.5. Estudio de dureza

Los resultados del barrido de dureza en las placas planas, tubería y tubería cuadrada soldados con diferentes materiales de aporte se especifican en las Tablas 3.9. Para medir las durezas se utilizaron las escalas HRC, HRB y HRH.

Tabla 3.9 - Resultado del barrido de dureza en las juntas soldadas.

Tipo	Dureza a HR	Tiempo (s)	Tipo	Dureza HR	Tiempo (s)	Tipo	Dureza HR	Tiempo (s)
P1	87	B	PC1	65	B	PO1	68	B
	33	C		14.06	13.92		13.22	
	63	C		14.65	12.06		97	B
	33	C		15.99	13.28		23	C
	69	B		14.78	13.62		99	H
	69	B		12.56	15.05		94	H
	-----	Promedio		-----	Promedio		-----	Promedio
P2	86	B	PC2	59	B	PO2	70	B
	43	C		13.99	13.91		13.67	
	46	C		14.09	13.90		40	C
			41	C	14.17	42	C	

	48	C	13.53		30	C	15.51		28	C	15.99
	68	B	13.41		95	H	14.97		73	H	13.96
	-----		Promedio		-----		Promedio		-----		Promedio
P3	83	B	12.96	PC3	67	B	13.56	PO3	71	B	16.19
	92	B	12.63		71	B	13.81		80	B	14.78
	93	B	14.06		86	B	15.33		83	B	15.25
	87	B	13.34		52	B	13.74		81	B	14.79
	70	B	13.17		83	H	15.45		82	H	15.31
	85	Promedio			69	Promedio			79	Promedio	
P4	88	B	13.39	PC4	76	B	13.39	PO4	65	B	13.59
	83	B	14.30		69	B	14.30		66	B	13.63
	85	B	12.88		74	B	12.88		73	B	13.41
	83	B	13.49		78	H	13.49		77	B	13.80
	66	B	14.88		96	H	14.88		82	H	15.84
	81	Promedio			-----	Promedio			70	Promedio	
P5	87	B	12.68	PC5	71	B	14.85	PO5	44	B	14.85
	87	B	14.06		75	B	15.23		73	B	15.23
	88	B	14.22		84	B	15.10		79	B	15.10
	87	B	13.32		62	B	14.56		77	B	14.56
	60	B	13.31		76	H	15.18		98	H	15.18
	81.8	Promedio			73	Promedio			68	Promedio	

(Fuente Propia, 2020)

Para el barrido de dureza se realizó cinco tomas las cuales se representan en la Figura 3.14. Se realiza una primera medición en el material base del acero inoxidable (P1), a partir de este se realiza tres mediciones más en el cordón de soldadura (P2, P3 y P4), para el final realizar una medición en el material base de acero de bajo contenido de carbono (P5).

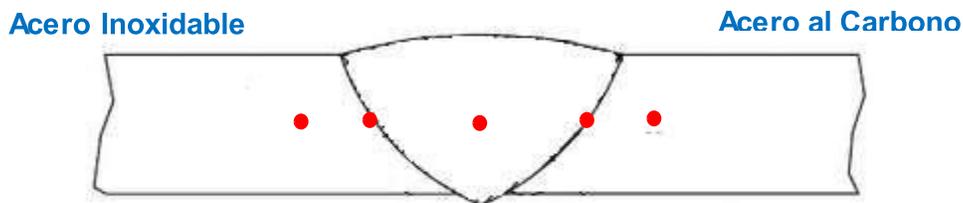


Figura 3.14 - Diagrama de barrido de dureza.
(Fuente Propia, 2020)

A continuación, en las Figuras 3.15, 3.16 y 3.17 se presentan graficas comparativas de dureza en un mismo punto para dientes muestras. Por mediciones en diferentes escalas los resultados pueden variar en comparación entre probetas.

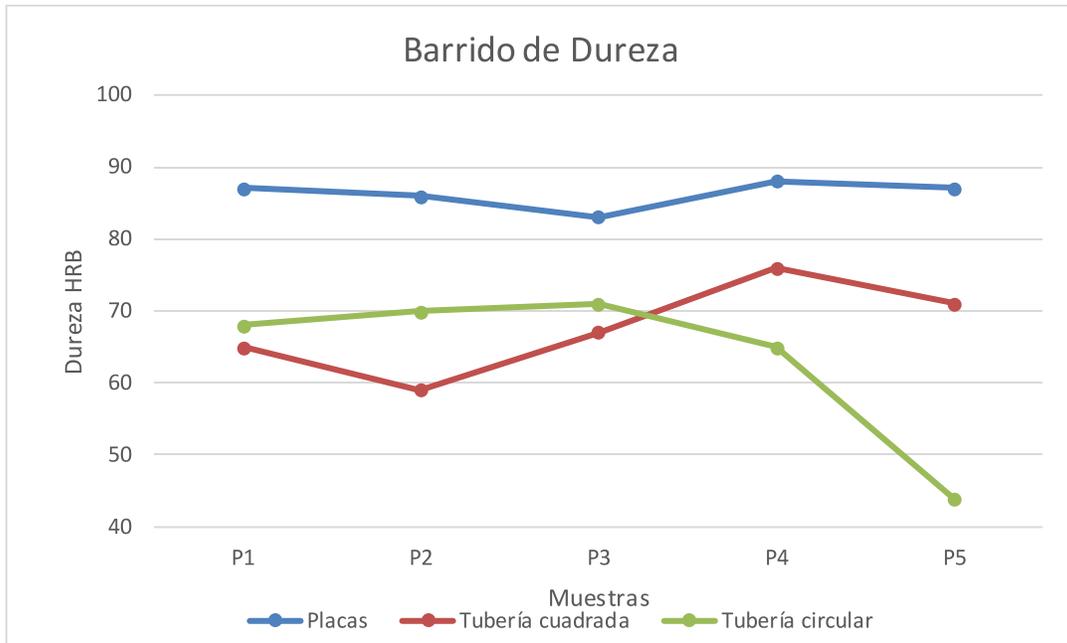


Figura 3.15 - Dureza del acero inoxidable AISI 304 después de realizar la soldadura (P1).
(Fuente Propia, 2020)

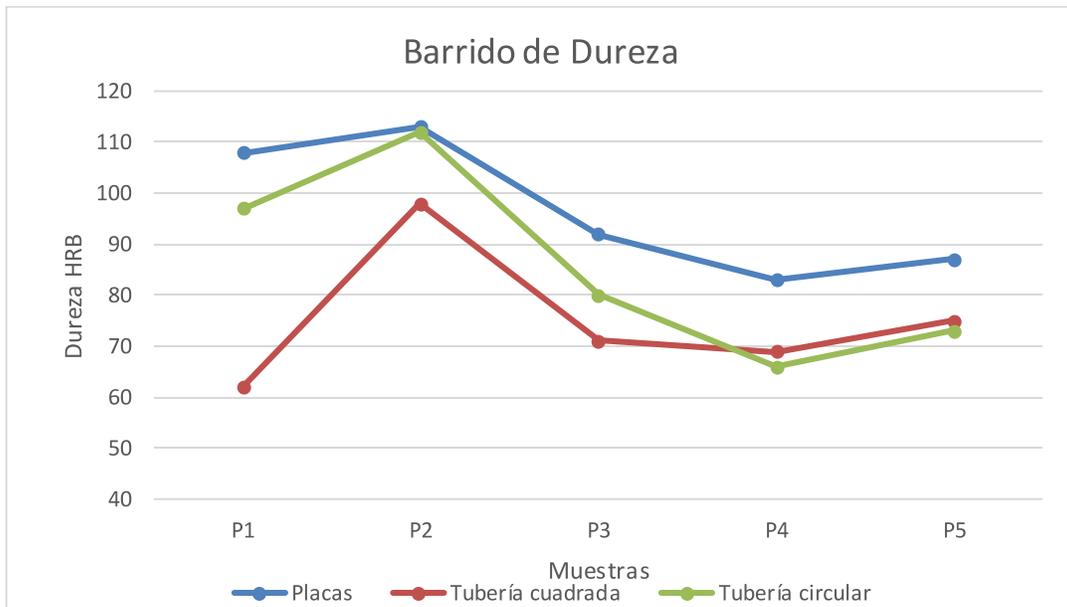


Figura 3.16 - Dureza del acero inoxidable AISI 304 en zona afectada por el calor (P2).
(Fuente Propia, 2020)

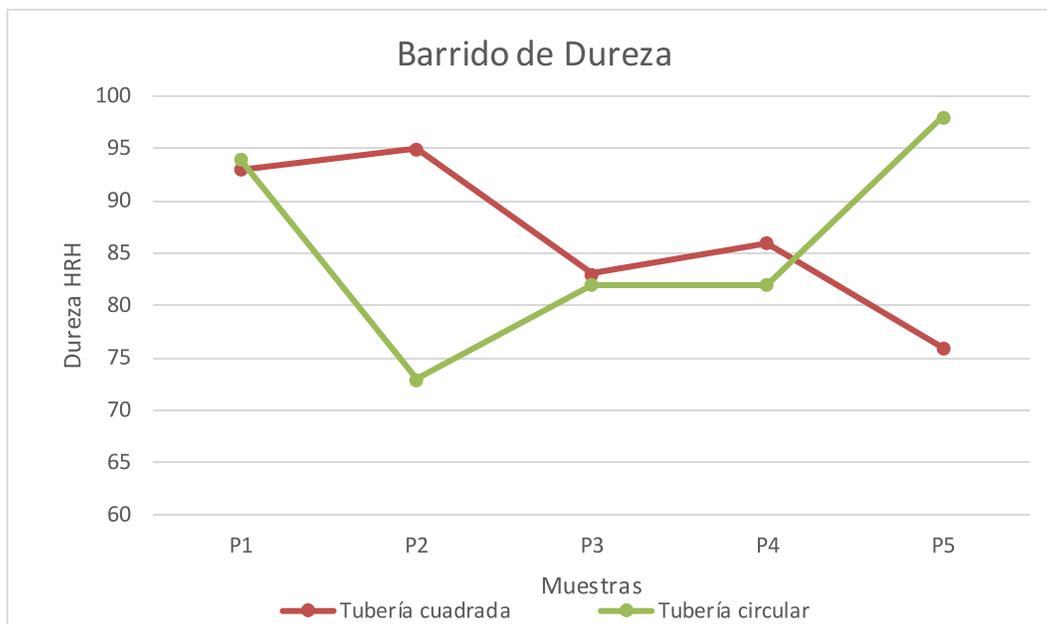


Figura 3.17 – Comparación de dureza en tuberías de acero al carbono ASTM A 500 después de realizar la soldadura (P5).
(Fuente Propia, 2020)

3.6. Discusión de resultados

3.6.1. Discusión de composición química del material base

En el materiales base se obtiene una composición química menor a las cantidades máximas permisibles de elementos aleantes de acuerdo con las normas, los cuales están detallados en la Tabla 3.1. Por lo tanto, el material base adquirido cumple con las especificaciones requeridas para estos tipos de aceros.

3.6.2. Discusión del ensayo de inspección visual

Como se observa en la Tabla 3.2, para el ensayo de inspección visual en placas, el electrodo que presenta una mayor cantidad de discontinuidades es el E 7018, la mayor cantidad de defectos están presentes en la soldadura realizada sobre el acero inoxidable. Los que menor cantidad de discontinuidades presentan son los electrodos E 308 L y E 309 L, debido a que estos presentan un mejor acabado superficial. Todos estos resultados deben ser verificados en los demás ensayos no destructivos.

3.6.3. Discusión del ensayo de radiografía industrial

El estudio en placas es evidente las discontinuidades llamadas poro tipo gusano encontrándose en su mayoría cuando se usan los electrodos E7018 y E309L la cantidad de 5 por cada placa, además siendo estos los electrodos que presentan una gran cantidad

de discontinuidades. La probeta de mejor acabado superficial y menores defectos en la soldadura es cuando se utiliza el electrodo E308L.

En tubería cuadrada cuando se utiliza el electrodo E7018 y E6010 se presenta un promedio de 3 y 4 poros de gusano respectivamente, al mismo tiempo estos electrodos producen una gran cantidad de salpicaduras y escoria, las cuales se pueden observar en este ensayo. Las uniones soldadas que presentan menor cantidad de discontinuidades son las que se realizó con los electrodos E312 y E308L.

En tubería redonda al utilizar el electrodo E7018 y E6010 presentan poros tipo gusano en gran cantidad de igual manera se observa escoria debido a la falta de limpieza en la superficie. Utilizando todos los materiales de aporte presentan una gran cantidad de defectos por falta de fusión debido al desalineamiento que se presentó al momento de realizar el proceso de soldadura. Según los resultados la mejor unión soldada es cuando se utiliza E312. En la tubería redonda todas las probetas presentan una falta de fusión debido al desalineamiento de las tuberías, esto podría afectar en los ensayos mecánicos de dobles de cara/raíz y en los ensayos de tracción.

En general al utilizar los electrodos E7018 y E6010 afecta el material base del acero inoxidable generando una gran cantidad de defectos, debido a los gases que se produce al realizar la unión de estos materiales disimiles.

3.6.4. Discusión del ensayo de tintas penetrantes

En la Tabla 3.4 se presentan los siguientes resultados: En placas se presenta indicaciones superficiales como se pudo apreciar en el ensayo de inspección visual y así confirmando con el ensayo de tintas penetrantes. Siendo la zona de la raíz de la unión soldada, donde se presentan una gran cantidad de discontinuidades alargadas al usar todos los materiales de aporte. Todos los defectos que posean una gran longitud deben tomarse en cuenta al momento de realizar los ensayos mecánicos, ya que estos pueden afectar seriamente en los resultados.

En tubería cuadrada al momento de soldar con el electrodos E6010 y E7018 las probetas presentan una gran cantidad de defectos superficiales, los cuales afectan en las propiedades mecánicas no permitiendo que superen el valor mínimo permisible para la aprobación de la soldadura, además de provocar una posible fractura en la zona del cordón de soldadura, esto se podrá comprobar en los ensayos de tracción, mientras que al utilizar

los electrodos E312, E308L y E309L el principal defecto son la falta de fusión y poros. El de mejor acabado superficial y menores defectos es cuando se utiliza el electrodo E312.

En tubería redonda se observa una falta de fusión en general al utilizar todos los electrodos a causa del desalineamiento al momento de realizar el procedimiento de soldadura provocando así disminución de propiedades mecánicas que se podrán comprobar al momento de realizar los ensayos de tensión y dobles de cara/raíz. Al utilizar el electrodo E7018 y E6010, las probetas presentan una mayor cantidad de defectos, por otra parte, cuando se utiliza el electrodo E312 es de menor defectos y mejor acabado superficial.

3.6.5. Discusión del ensayo tracción

De acuerdo a los resultados del ensayo de tracción en placas planas, tubería cuadrada y tubería redonda, para la comparación se utiliza el metal con menor resistencia a la tracción, en todos los casos corresponde al acero al carbono.

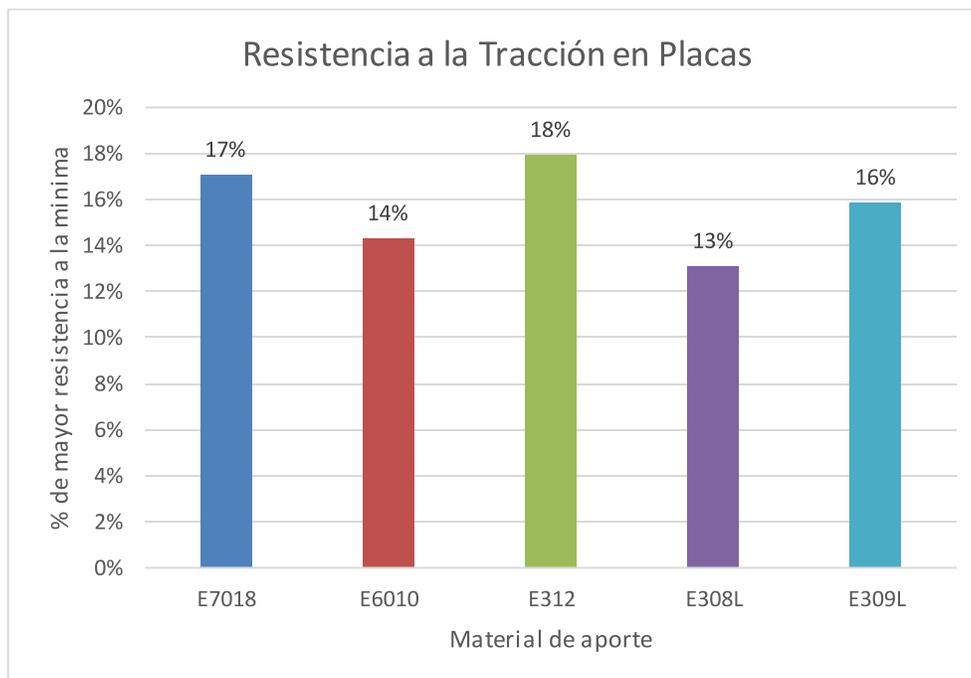


Figura 3.18 - Valor porcentual de la resistencia a la tracción en placas.
(Fuente Propia, 2020)

Para el primer caso de soldadura disímil en placas planas, que se observa en la Figura 3.4, donde, todas las probetas superan el valor de resistencia a la tracción más débil del material base (58 ksi) especificada en la norma ASME IX. Por lo cual se cumple el parámetro de aceptación en los ensayos de tracción. El que mejor resistencia a la tracción

posee es el electrodo E312 con 18% mayor a la mínima resistencia del material base, como se observa en la Figura 3.18.

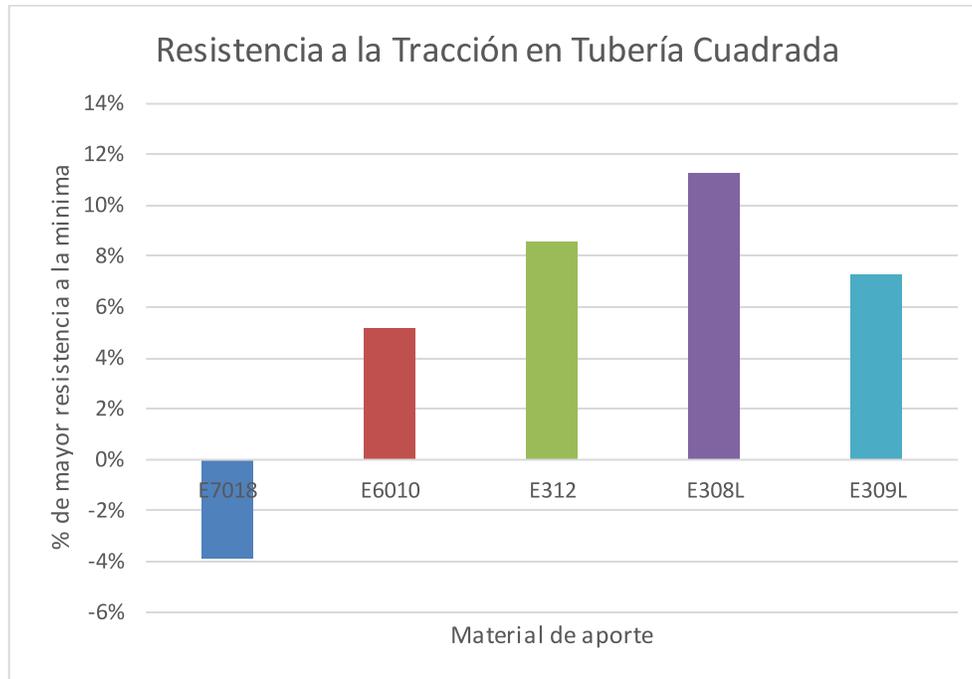


Figura 3.19 - Valor porcentual de la resistencia a la tracción en tubos cuadrados.
(Fuente Propia, 2020)

En soldadura disímil de tubería cuadrada, se visualiza en la Figura 3.5, en la cual, presenta varias probetas por debajo de la resistencia a la tracción más débil. En la probeta PC1T2 en la que se utilizó el material de aporte E7018 presenta una resistencia a la tracción de 40 ksi la cual es menor a la mínima resistencia a la tracción del material base (50 ksi), además, la fractura se origina en el cordón de soldadura por lo esto se debería a la falta de fusión y poros en la misma. En la probeta PC5T2 que se utilizó el material de aporte E309 L presenta una resistencia a la tracción de 49.6 ksi, la cual es menor a la mínima resistencia a la tracción. Siendo estas dos probetas las únicas que no son aprobadas en el ensayo de tracción en tubería cuadrada. Como se observa en la Figura 3.19 el electrodo con un mejor promedio de resistencia a la tracción es el E308L con 11% mayor a la del mínimo valor del material base, mientras que, el electrodo E7018 es el que poseen un promedio menor al mínimo del valor del material base con un 4%, verificando así que los defectos observados en los ensayos de tintas penetrantes afectan a las características mecánicas de la soldadura.

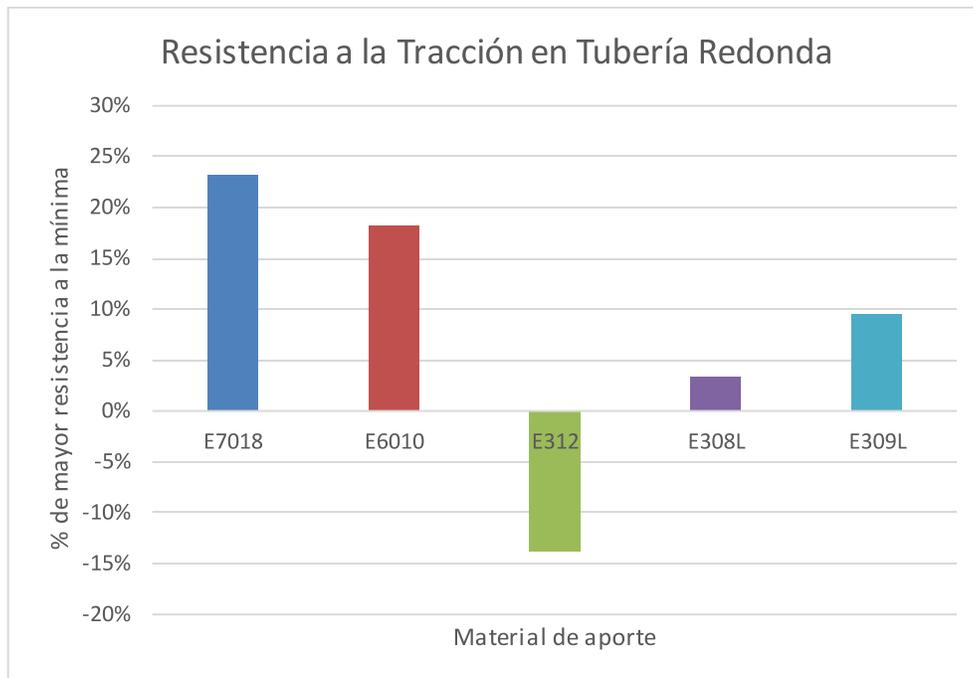


Figura 3.20 - Valor porcentual de la resistencia a la tracción en tubos redondos.
(Fuente Propia, 2020)

En soldadura disímil de tubería redonda, se aprecia en la Figura 3.6, en la que se presentan varias probetas que se ubican bajo la mínima resistencia del material analizado. En la probeta PO3T2 que se utilizó el material de aporte E312 presenta una resistencia a la tracción de 32.5 ksi, la cual es menor a la resistencia del material base (46 ksi). En la probeta PO4T1 que se utilizó el material de aporte E308 L presenta una resistencia a la tracción de 44.8 ksi. En la probeta PO5T2 que se utilizó el material de aporte E 309 L presenta una resistencia a la tracción de 39.6 ksi. Todas las probetas que dan una menor resistencia a la tracción a la permisible para su aprobación presentan la fractura en el cordón de soldadura, de manera que, las juntas no cumplen con la resistencia mínima necesaria. Además, presentan varias discontinuidades confirmando así los resultados encontrados en los END, debido a que estos presentaron varios defectos por falta de fusión. Por lo tanto, ninguna de estas tres probetas mencionadas es aprobada en el ensayo de tracción en tubería redonda. Como se observa en la Figura 3.20 el que presenta un mejor promedio de resistencia a la tracción es el electrodo E7018 con un 23% mayor al mínimo valor del material base.

3.6.6. Discusión del ensayo de tracción en el material base

Referente al Anexo III en la tabla 5, para el acero inoxidable se ensayaron seis probetas divididas igualmente en placas y tubos, dando un valor medio de resistencia a la tracción

de 109.9 ksi con un porcentaje de elongación de 47.8%, presentándose una mayor elongación en las placas inoxidable. En el acero al carbono se dividieron en dos materiales los cuales consistieron: primero en el acero ASTM A-36 con una media de resistencia a la tracción de 66.8 ksi y un porcentaje de elongación de 27%, en segundo, el acero ASTM A-500 con una media de resistencia a la tracción de 48.95 ksi y un porcentaje de elongación de 21.9%, presentándose una mayor resistencia a la tracción en el acero ASTM A-36. Todos los valores obtenidos son mayores a los indicados en la norma ASME IX para la aceptación del material base.

3.6.7. Discusión del ensayo de dobles de cara y raíz

En el Anexo IV se muestra el resultado del ensayo de la prueba de dobles de cada uno de los materiales ocupados, en donde, representan a placas planas, tubería cuadrada y tubería redonda respectivamente.

En soldadura disímil de placas planas utilizando los materiales de aporte E7018 y E308L presentan una buena calidad en la soldadura debido a que estas no presentan ninguna discontinuidad en las superficies analizadas. Mientras que utilizando los materiales de aporte E6010 y E312 presentan poros de diámetros menores a 2 mm principalmente en la zona de raíz de soldadura. Por último, utilizando el material de aporte E309L presenta una discontinuidad de 2 mm provocado por los dobles de raíz de la soldadura, sin embargo, está por debajo de los permitidos. Por lo cual las probetas de placas planas aprueban el ensayo de dobles de cara y raíz.

En soldadura disímil de tubería cuadrada utilizando el material de aporte E7018 en la zona de la cara presenta varios poros en la superficie, además de una discontinuidad de 5 mm, mientras que, en la zona de la raíz no presenta ninguna discontinuidad. Utilizando el material de aporte E6010 presenta poros superficiales menores de 1 mm tanto en la zona de la cara como en la raíz. Utilizando el material de aporte E312 presenta varias discontinuidades principalmente en el doblado de raíz, las cuales conciten en 3 discontinuidades de 9 mm, 3 mm y 10 mm respectivamente. Utilizando el material de aporte E308L presenta una discontinuidad en el doblado de raíz de 5 mm, mientras que en el doblado de cara presenta una buena soldadura. Utilizando el material de aporte E309L presenta una discontinuidad de 7 mm en el doblado de cara, mientras que en el doblado de raíz se muestra una buena soldadura. La mayoría de las discontinuidades se presentan en los dobles de raíz, esto se debe a una mala fusión de los materiales bases como se pudo verificar en los ensayos no destructivos. La probeta utilizando el material de aporte

E6010 es la única que aprueba el ensayo, en vista de que las demás probetas presentan varias discontinuidades mayores a las permitidas por la norma.

En soldadura disímil de tubería redonda presentan varias discontinuidades tanto en la zona de dobles de cara como en el de dobles de raíz, las discontinuidades van desde los 2 mm hasta los 17 mm. La probeta que mayor cantidad de discontinuidades presenta es la que se soldó con el material de aporte E7018, por otra parte, la probeta que se soldó utilizando el material de aporte E6010 presenta un buen acabado superficial tanto en la cara como en la raíz, siendo esta la única muestra que aprueba el ensayo.

3.6.8. Discusión de macrografías

Con los resultados de macrografías presentadas en el Anexo V, las cuales representan a placas planas, tubería cuadrada y tubería redonda respectivamente, referido en la Tabla 3.7 que presenta un resumen de las tomas macrografías.

En la soldadura de placas planas las probetas P1 y P2 son las que muestran una mayor ZAC, debido al uso de materiales de aporte de referencia de acero al carbono, dichos electrodos necesitan de una mayor temperatura para que se fundan, por lo tanto, entregan una mayor cantidad de calor al material base. En el acero al carbono es donde se presenta una mayor ZAC, dado que, este posee una mayor conductividad térmica que el acero inoxidable. La mayor sobremonta de cara se observa en la probeta P2 con 1.82 mm de altura, mientras que la mayor sobremonta de raíz se presenta en la probeta P3 con 1.57 mm de altura.

En la soldadura de tubería cuadrada presenta una mayor ZAC en la probeta PC1, debido a que el electrodo E7018 entrega una mayor cantidad de calor a la junta soldada. En las muestras PC1, PC2, PC3 presentan un desalineamiento en la junta soldada a causa de un incorrecto proceso de soldadura como consecuencia no genera una sobremonta en la zona de la raíz. La probeta PC1 presenta una mayor sobremonta en la zona de la cara (2.25mm).

En todas las uniones soldadas en tubería redonda presenta un desalineamiento high-low en consecuencia se producen no se produce una correcta penetración en el área de la raíz. En la probeta PO1 es la que presenta una mayor ZAC, también es la que presenta una mayor sobremonta en la zona de la cara (1.93mm), igualmente presenta un poro de 1.30mm^2 . La mayor ZAC se presenta en el lado del material base del acero al carbono por presentar un punto de fusión menor al del acero inoxidable.

3.6.9. Discusión de micrografías

Referente al Anexo VI las micrografías presentan quemones por un exceso en el tiempo de aplicación del reactivo en cada material, cabe recalcar que se ha realizado por separado el ataque químico por ser una soldadura de materiales disimiles.

En placas planas en la muestra P2 se evidencia una micro fisura en el material base del acero al carbono, la microestructura del material base del acero inoxidable presenta ferrita alargada en matriz de austenita resultado del proceso de manufactura laminado. En la interfaz de la soldadura cuando se utiliza electrodos referidos al acero inoxidable se presentan dendritas de ferrita y distorsión en los granos de austenita. En la muestra P3 presenta una microestructura ferrita de esqueleto con una matriz de austenita y presencia de carburos en los bordes del grano. En la probeta P4 se observa una microestructura en forma de martensita debido a un enfriamiento controlado que se realizó en ciertas uniones soldadas esta microestructura será confirmada en el análisis del diagrama de Schaeffler.

En tubería cuadrada se observa en la muestra PC4 presenta un poro en la soldadura, debido a los gases generados en el proceso, estos quedan atrapados internamente en la unión soldada generando defectos en la misma. El acero al carbono por lo general presenta una microestructura ferrítica perlítica, mientras que el acero inoxidable presenta una microestructura de ferrita alargada en una matriz de austenita. En el área de la junta soldada del acero inoxidable se presenta ferrita dendrítica y en el área de la junta del acero al carbono presenta una distorsión del grano con una interfaz claramente definida con inclusiones de carburos. En la probeta PC3 en la junta soldada presenta pequeñas partículas de cementita globular con una matriz de austenita.

En tubería redonda la microestructura del acero al a carbono es ferrita + perlita, mientras que la microestructura del acero inoxidable es ferrita alargada en matriz de austenita. En la probeta PO2 y PO5 presenta una microestructura de cementita globular en la zona del acero inoxidable. Una de las principales microestructuras visibles cuando se utiliza electrodo con referencia al acero inoxidable es ferrita lateral y ferrita esquelética, además de presentar una interfaz de soldadura bien definida cuando se une al acero al carbono.

3.6.10. Discusión de Diagrama Schaeffler

El diagrama indica la estructura final de junta soldada después de realizar el proceso de soldadura, este nos ayuda a elegir el procedimiento de soldadura, material de aporte y base adecuados. Dichos diagramas se muestran desde la Figura 3.7 a la Figura 3.11.

En el cálculo de C_{req} y Ni_{eq} del acero al carbono ASTM A 36 se obtuvo 0.4 y 4.6 respectivamente, los cuales corresponden a una zona con estructura ferrítica-martensítica, los cuales se observan en las figuras con el punto azul. Para el acero inoxidable AISI 304 los valores de C_{req} y Ni_{eq} son de 15.3 y 11.5 respectivamente, el cual corresponde a una zona con estructura de austenita más martensita, en las figuras representadas con un punto amarillo.

Los materiales de aporte referidos al acero al carbono presentan una estructura ferrítica-martensítica, mientras que los referidos al acero inoxidable muestran una estructura de austenita más ferrita con diferentes porcentajes de cada uno, estos se muestran con un punto verde en las figuras.

Las muestras P1 y P2 presentan una estructura final martensítica, sin embargo, las observadas en las micrografías no corresponden a esta estructura. En las muestras P3, P4 y P5 se observa una estructura final de ferrita más austenita, siendo la austenita la que posee un mayor porcentaje de la mezcla, de la misma manera, las obtenidas en las micrografías poseen estas estructuras. La composición final de la estructura se muestra con un cuadro rojo que se muestra en las figuras.

3.6.11. Discusión del ensayo de dureza

En soldadura de placas planas los materiales base de acero AISI 304 y acero ASTM A36 presentan una dureza promedio de 86 HRB y 67 HRB respectivamente. Las que presentan mayor dureza en las muestras son las que fueron soldadas con material de aporte referido al acero al carbono. Para las muestras soldadas con material de aporte referido al acero inoxidable tienen una dureza promedio de 87 HRB, siendo la de mayor dureza la probeta P3, la cual, se soldó con el electrodo revestido E312.

En las muestras de tubería cuadrada las probetas poseen una irregularidad en sus resultados teniendo una variación en sus escalas de dureza, a causa del poco espesor de los materiales. Las probetas PC1 y PC2 son las que poseen una mayor dureza en la junta soldada con un promedio de 24 HRC y 30 HRC respectivamente, esto se debe a que fueron soldadas con material de aporte referido al acero al carbono.

Para las muestras de tubería redonda la probeta que presenta mayor dureza es la PO2 soldada con un material de aporte E6010 con un promedio de 37 HRC. Siendo la muestra de mayor dureza la probeta PO3, la cual, se soldó con el electrodo revestido E312.

Utilizando electrodos referido al acero al carbono, el de mayor dureza son las probetas que se utilizaron electrodo E6010, mientras que en los materiales de aporte referidos al acero inoxidable fueron los electrodos E312. La dureza de la tubería redonda es menor a la de la tubería cuadrada, a pesar de ser el mismo material base. Debido a la variación de escalas de dureza en los resultados es complicado realizar una adecuada comparación de los datos obtenidos.

Se observa en la Figura 3.13 la dureza en el material base inoxidable después de realizar el procedimiento de soldadura los valores varían presentado una menor dureza con el electrodo E309L, ya que este puede mejorar la ductilidad del material reduciendo así su dureza como se pudo comprobar en la microestructura de dicha muestra. La dureza en tuberías es menor en consecuencia este posee un espesor menor rango.

En la Figura 3.14 se observa que el electrodo E6010 genera una mayor dureza al finalizar el proceso de soldadura. Los electrodos que son referidos al acero inoxidable E312, E308L y E309L presentan una dureza similar en todas sus muestras de placas y tubería.

La Figura 3.15 se aprecia una comparación de tubería redonda y cuadrada, presentando una similar dureza con el electrodo E7018, E312 y E308L. Al utilizar el electrodo E6010 presenta variación de dureza en la muestra teniendo la mayor dureza la tubería cuadrada. Al utilizar el electrodo E309L se presenta una mayor dureza en la tubería circular, es posible que haya sido una mala toma de datos por no concordar con los demás resultados.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- La mayor ZAC se genera en el material base del acero al carbono y se producen al utilizar los electrodos E7018 y E6010, a causa de que estos entregan una mayor cantidad de calor al momento de realizar la soldadura. También se puede verificar que la sobremonta en la cara en placas es 38% mayor al utilizar estos tipos de electrodos y en tubería un 65% mayor, debido al desalineamiento.
- La tubería cuadrada y redonda, al poseer un menor espesor que las placas, presentan un 67% mayor de ZAC en el material base que el generado en las placas planas.
- En las micrografías se verifica que material base del acero al carbono tiene una estructura ferrítica – perlítica, conjunto con el material base inoxidable se tiene una estructura de austenita con ferrita alargada, mismo que coincide con el Metal Handbook vol 9.
- Los electrodos E312, E308L y E309L, son referidos al material base del acero inoxidable, este material al tener una menor conductividad térmica a comparación del material base del acero al carbono presenta un 40% menor área de la ZAC en las uniones soldadas.
- En el momento de realizar el cordón de soldadura con el electrodo E6010 y E7018 en el material base acero inoxidable se produce un recalentamiento excesivo ocasionando la fundición del material generando roturas de bisel.
- Al soldar con el electrodo E308L en placas planas en el cordón de soldadura genera poros tipo gusano, en su mayoría cuando se realiza un solo pase, presenciando una mayor cantidad de defectos en tubería redonda con 5 defectos y en tubería cuadrada con 4 defectos.
- Al soldar con los electrodos E7018 y E6010 se producen una gran cantidad de poros internos debido al atrapamiento de los gases generados en la junta soldada al unir materiales disimiles.
- La junta soldada con el material de aporte E312 presenta una mejor propiedad mecánica en el ensayo de tracción con un promedio de 68.4 ksi en placas, mientras que en tuberías el de mejor promedio de resistencia a la tracción es la unión soldada con el electrodo E308L con un valor de 55.6 ksi, estos valores son superiores al valor nominal especificado por la norma ASME IX.

- Utilizando el material de aporte E308L presenta mejores resultados en el ensayo de doblado de cara y raíz aprobadas en placas, mientras que en tuberías el electrodo E6010 presenta mejores características en este ensayo.
- La dureza en las muestras obtenidas al realizar el proceso de soldadura con diferentes materiales de aporte presenta valores referenciales similares a los obtenidos en el material base de acuerdo con la especificación técnica, no se obtiene afectaciones considerables a pesar de la diferencia de escalas medidas.
- Utilizando los electrodos E312, E308L y E309L, generan una mejor presentación visual en el cordón de soldadura en comparación cuando se utiliza los materiales de aporte E7018 y E6010.
- Utilizando el electrodo E7018 es el que presenta una mayor cantidad de discontinuidades (28 en total) en soldadura de tubería redonda, afectando así en sus propiedades mecánicas, sin permitir que ninguna de estas aprueben el proceso.
- Con los resultados de inspección superficial, propiedades mecánicas y ZAC, se puede concluir que el material de aporte más conveniente para realizar la soldadura de acero inoxidable AISI 304 y acero al carbono A36 es el E308L, cumpliendo con la mayor cantidad de criterios de aceptación de la norma ASME IX.

4.2. RECOMENDACIONES

- Para realizar el ensayo de caracterización química del material base se debe obtener una muestra del material de forma plana, por ejemplo, si es de una geometría cóncava de una tubería se procede a aplanar la muestra.
- La preparación de la junta que se va a soldar debe cumplir las características especificadas en el WPS.
- Los electrodos E312, E308L y E309L deben mantenerse en una temperatura de reacondicionamiento en un horno seco y procurar que no se enfríen de acuerdo con el manual de conservación de temperatura para cada tipo de electrodo.
- Realizar un enfriamiento de aire controlado a las juntas soldadas sea en el primer pase o entre caras de la tubería, para evitar el sobrecalentamiento y una posterior la fundición del material base
- Cuando el material base posee un menor espesor no se debe tomar en cuenta los amperajes recomendados por catálogos de los electrodos debido a que esto genera un calor excesivo del material base y provocar agujeros fundidos. Es recomendable bajar el diámetro del electrodo.
- Es importante después de realizar el primer pase en placas es necesario dejar un tiempo de enfriamiento para que no exista un sobrecalentamiento de la soldadura y pueda existir algún rechupe en el canal.
- Al momento de realizar el proceso de soldadura es importante tomar en cuenta las caídas de voltaje generadas en la red eléctrica, esto no ayudara a alcanzar los parámetros necesarios y requeridos. Previo a la unión soldada realizar una calibración de los parámetros requeridos por el material de aporte.
- Realizar una correcta limpieza de escoria de las uniones soldadas, para evitar así la presencia de estos y se visualicen como defectos o discontinuidades en el ensayo de tintas penetrantes.
- Al momento de realizar el ataque químico con los reactivos verificar que sean los correctos para cada material y el tiempo de exposición de ataque para evitar la formación de quemaduras por sobre atacado en las muestras. Además, se debe limpiar de manera correcta la muestra para quitar el exceso de alcohol.
- El resultado del diagrama Schaeffler depende de la correcta aplicación de las ecuaciones cálculo del cromo y níquel equivalentes aplicados en los materiales base y el material de aporte utilizado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGA. (2016). *Catálogos de electrodos comunes, especiales y gases para corte & soldadura*. Ecuador: AGA.
- ASM Handbook. (2004). *Mechanical Testing and Evaluation* (Vol. 8th). EEUU.
- ASME. (2019). *Qualification standard for welding, brazing, and fusing proced ures; welders; brazers; and welding, brazing, and fusinf operators*. USA, New York: ASME.
- Callister, W. (2005). *Ciencia e Ingeniería de los materiales*. México: Reverté. .
- Ceballos, M., & Cisneros, M. (2013). *ESTUDIO DE SOLDABILIDAD DE ACEROS INOXIDABLES Y ACEROS AL CARBONO MEDIANTE EL PROCESO GTAW SIN MATERIAL DE APORTE*. Quito: EPN.
- Chávez, J. (2017). *ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD ENTRE UN ACERO INOXIDABLE Y UN ACERO AL CARBONO MEDIANTE EL PROCESO DE SOLDADURA POR FRICCIÓN*. Quito: EPN.
- CSI Control & Inpeccion, A. (2018). *ENSAYOS POR RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL*. Obtenido de <https://scisa.es/ensayos-no-destructivos-y-laboratorio-metalurgico/ensayos-no-destructivos/radiografia-industrial/>
- Escudero, M. E. (2016). *Introducci Introducción a las Técnicas de Análisis por Chispa-OES y XRF*. Madrid: Centro Nacional de Investigacion Metalúrgicos.
- Flores, C., & Suárez, J. (2020). *CARACTERIZACIÓN DE JUNTAS SOLDADAS EN ACERO INOXIDABLE AISI 304 MEDIANTE LOS PROCESOS SMAW, GMAW Y GTAW*. Quito: EPN.
- Föll, H. (2018). *El diagrama de fases de hierro y carbono*. Obtenido de Hierro, acero y espadas: https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_6/illustr/s6_1_2.html
- Fuente Propia. (2020).
- Groover, M. (2009). *Fundamentos de manufactura moderna (Tercera Ed.)*. Obtenido de <https://doi.org/10: 0-8400-5444-0>
- Hofacker, A. (2008). *Rapid lean construction - quality rating model*. Manchester: s.n.
- INDURA S.A. (2010). *Manual de ACEROS INOXIDABLES PARA SOLDADORES*. Chile: 2M Impresores Ltda.
- IVACE. (1 de Enero de 2016). Proyecto HOTC – PROCESADO DE ALEACIONES TENDENTES AL AGRIETAMIENTO EN CALIENTE MEDIANTE TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN ADITIVA POR HAZ LÁSER. *AIDIMME*, 2-8.

- IZASA SCIENTIFIC. (2017). Espectrómetro de Emisión Óptica (OES). IZASA SCIENTIFIC, 1-3.
- Kalpakjian, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: P. Educación, Ed.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. Finland: VTT Building Technology.
- Laboratorio de analisis de esfuerzos y vibraciones. (2020). *INFORME*. Quito.
- Laboratorio de END. (2020). *Ensayo de Inspección visual*. Quito.
- Laboratorio de fundición. (2020). *Espectrometria por chispa*. Quito.
- Laboratorio de metalografía, desgaste y falla. (2020). *Macrografías*. Quito.
- León Nuñez, D. (2016). *Caracterización microestructural y mecánica de una soldadura disímil de aceros inoxidable y al carbono*. Ciudad de Mexico.
- LINCOLN. (Mayo de 2017). *Equipos de Soldadura y Corte*. Obtenido de <https://www.lincolnelectric.com/assets/EU/ES/equip-catalogue-es.pdf>
- Lippold, J., & Kotecki, D. (2005). *Welding metallurgy and weldability of stainless steels*. New Jersey: John Wiley & sons, Inc.
- Lopez, O., Trujillo, H., & Parra, L. (2011). *Aplication and selection of non-destructive test for the evaluation of welded joints*. Scientia et Technica.
- Molera Solá, P. (1991). *Tratamientos térmicos de los metales*. Marcombo.
- Ruiz Martínez, P. (2015). *Fases que integran el análisis metalográfico*. Mexico.
- Ruiz, A. (2011). *Ensayo Visual*. Obtenido de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ee/8._FUNDAMENTO-ESTRUCTURAS_METALURGICAS.pdf
- Soldargen. (2015 de Julio de 2015). Obtenido de <http://soldargen.blogspot.com/2015/07/soldabilidad-de-materiales-disimiles.html>
- Villanueva, J., & Autores, V. (2004). Estudio de la soldabilidad y corrosión del acero inoxidable AISI 904L con los agentes utilizados en la lixiviación del cobre. *Facultad de Ingeniería-Universidad de Tarapacá*.
- Villavicencio Cevallos, J. C. (2010). *Relación, microestructura/propiedad en la soldadura gtaw entre aceros inoxidable y aceros al carbono*. Riobamba, Ecuador.

ANEXOS

Anexos I - WPS de los procedimientos de soldadura

	ESCUELA POLITECNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE MATERIALES LABORATORIO DE SOLDADURA							
ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)								
Nombre Compañía: EPN PQR No.: Según norma: ASME IX – 2019		No. Identificación: EPN.001 Fecha Realizado por: Organización: Escuela Politécnica Nacional						
Artículo I. Junta Utilizada		Artículo II. Técnica de soldadura						
Tipo de junta: A tope Abertura raíz: 1.5mm (1/16") Talón: 1mm Angulo de ranura: 30° Placa de respaldo: si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> Preparar bisel: si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> Método: Amolado	Proceso de soldadura: SMAW Tipo de Soldadura: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza pase raíz: Amoladora Pases siguientes: Cepillo metálico (grata)							
Artículo III. Metal Base		Artículo V. Posición de Soldadura						
Especificación: P-1 y P-8 Espesor: 3 mm Dimensiones: 150*400 mm	Posición de Soldadura: 1G Progresión: Técnica: Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>							
Artículo IV. Metal de Aporte		Artículo VI. Notas						
Diámetro: 2.38mm 3/32" Denominación AWS: E7018 Casa comercial: AGA Denominación comercial: AGA B-10 AWS	Precalentamiento: N/A Tiempo entre pases: N/A							
Detalle de la Junta <div style="text-align: center;">  </div>								
No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad.	Intensidad (Amperios)			oscilado	recto
1	E7018	2.38	DC+	73-80	38	90		x
2	E7018	2.38	DC+	115-140	45	152	x	



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE SOLDADURA**



ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

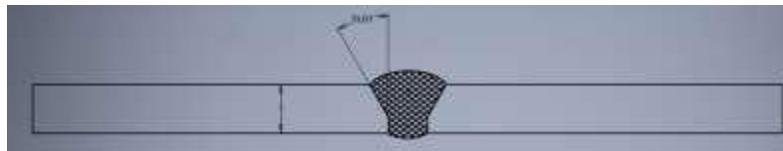
Nombre Compañía: EPN PQR No.: Según norma: ASME IX – 2019	No. Identificación: EPN.002 Fecha: Realizado por: Organización: Escuela Politécnica Nacional
---	---

Artículo I. Junta Utilizada		Artículo II. Técnica de soldadura	
Tipo de junta:	A tope	Proceso de soldadura:	SMAW
Abertura raíz:	1.5mm (1/16")	Tipo de Soldadura:	Manual <input checked="" type="checkbox"/>
Talón:	1mm	Soldadura a:	Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/>
Angulo de ranura:	30°	Cordón de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>
Placa de respaldo:	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	Limpieza pase raíz:	Amoladora
Preparar bisel:	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	Pases siguientes:	Cepillo metálico (grata)
Método:	Amolado		

Artículo III. Metal Base		Artículo V. Posición de Soldadura	
Especificación:	P-1 y P-8	Posición de Soldadura:	1G
Espesor:	3 mm	Progresión:	
Dimensiones:	150*400 mm	Técnica:	Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>

Artículo IV. Metal de Aporte		Pre calentamiento	N/A
Diámetro:	2.38mm 3/32"	Tiempo entre pases	N/A
Denominación AWS:	E6010	Artículo VI. Notas	
Casa comercial:	AGA	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta • Asegurar limpieza de las partes 	
Denominación comercial:	AGA C-10 AWS		

Detalle de la Junta



No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad.	Intensidad (Amperios)			oscilado	recto
1	E6010	2.38	DC+	80-110	26	108		x
2	E6010	2.38	DC+	120-150	29	187	x	



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE SOLDADURA**



ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Nombre Compañía: EPN PQR No.: Según norma: ASME IX – 2019		No. Identificación: EPN.003 Fecha Realizado por: Organización: Escuela Politécnica Nacional						
Artículo I. Junta Utilizada		Artículo II. Técnica de soldadura						
Tipo de junta:	A tope	Proceso de soldadura:	SMAW					
Abertura raíz:	1.5mm (1/16")	Tipo de Soldadura:	Manual <input checked="" type="checkbox"/>					
Talón:	1mm	Soldadura a:	Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/>					
Angulo de ranura:	30°	Cordón de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>					
Placa de respaldo:	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	Limpieza pase raíz:	Amoladora					
Preparar bisel:	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	Pases siguientes:	Cepillo metálico (grata)					
Método:	Amolado							
Artículo III. Metal Base		Artículo V. Posición de Soldadura						
Especificación:	P-1 y P-8	Posición de Soldadura:	1G					
Espesor:	3 mm	Progresión:						
Dimensiones:	150*400 mm	Técnica:	Un pase <input checked="" type="checkbox"/> Varios pases <input type="checkbox"/>					
Artículo IV. Metal de Aporte		Pre calentamiento	N/A					
Diámetro:	2.38mm 3/32"	Tiempo entre pases	N/A					
Denominación AWS:	E312-16	Artículo VI. Notas						
Casa comercial:	AGA	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta • Asegurar limpieza de las partes 						
Denominación comercial:	AGA R-91 AWS							
Detalle de la Junta								
No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad.	Intensidad (Amperios)			oscilado	recto
1	E312-16	2.38	DC+	63-67	46	83		x



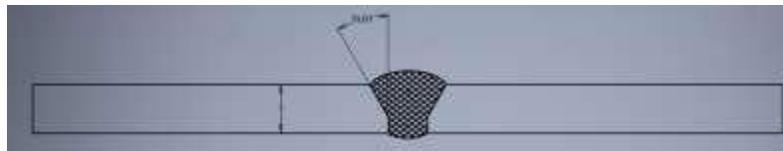
**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE SOLDADURA**



ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Nombre Compañía: EPN PQR No.: Según norma: ASME IX – 2019		No. Identificación: EPN.004 Fecha Realizado por: Organización: Escuela Politécnica Nacional	
Artículo I. Junta Utilizada		Artículo II. Técnica de soldadura	
Tipo de junta:	A tope	Proceso de soldadura:	SMAW
Abertura raíz:	1.5mm (1/16")	Tipo de Soldadura:	Manual <input checked="" type="checkbox"/>
Talón:	1mm	Soldadura a:	Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/>
Angulo de ranura:	30°	Cordón de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>
Placa de respaldo:	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	Limpieza pase raíz:	Amoladora
Preparar bisel:	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	Pases siguientes:	Cepillo metálico (grata)
Método:	Amolado		
Artículo III. Metal Base		Artículo V. Posición de Soldadura	
Especificación:	P-1 y P-8	Posición de Soldadura:	1G
Espesor:	3 mm	Progresión:	
Dimensiones:	150*400 mm	Técnica:	Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>
Artículo IV. Metal de Aporte		Pre calentamiento	N/A
Diámetro:	2.38mm 3/32"	Tiempo entre pases	N/A
Denominación AWS:	E308L-16	Artículo VI. Notas	
Casa comercial:	AGA	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta • Asegurar limpieza de las partes 	
Denominación comercial:	AGA R-60 AWS		

Detalle de la Junta



No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad.	Intensidad (Amperios)			oscilado	recto
1	E308L-16	2.38	DC-	51-96	27	110		x
2	E308L-12	2.38	DC-	65-110	32	180	x	



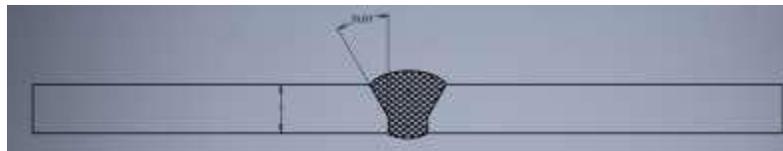
**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE SOLDADURA**



ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Nombre Compañía: EPN PQR No.: Según norma: ASME IX – 2019		No. Identificación: EPN.005 Fecha Realizado por: Organización: Escuela Politécnica Nacional	
Artículo I. Junta Utilizada		Artículo II. Técnica de soldadura	
Tipo de junta:	A tope	Proceso de soldadura:	SMAW
Abertura raíz:	1.5mm (1/16")	Tipo de Soldadura:	Manual <input checked="" type="checkbox"/>
Talón:	1mm	Soldadura a:	Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/>
Angulo de ranura:	30°	Cordón de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>
Placa de respaldo:	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	Limpieza pase raíz:	Amoladora
Preparar bisel:	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	Pases siguientes:	Cepillo metálico (grata)
Método:	Amolado		
Artículo III. Metal Base		Artículo V. Posición de Soldadura	
Especificación:	P-1 y P-8	Posición de Soldadura:	1G
Espesor:	3 mm	Progresión:	
Dimensiones:	150*400 mm	Técnica:	Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/>
Artículo IV. Metal de Aporte		Pre calentamiento	N/A
Diámetro:	2.38mm 3/32"	Tiempo entre pases	N/A
Denominación AWS:	E309L-16	Artículo VI. Notas	
Casa comercial:	AGA	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta • Asegurar limpieza de las partes 	
Denominación comercial:	AGA R-72 AWS		

Detalle de la Junta



No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad.	Intensidad (Amperios)			oscilado	recto
1	E309L-16	2.38	DC-	38-65	40	160		x
2	E309L-16	2.38	DC-	45-76	47	214	x	



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE SOLDADURA**



ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Nombre Compañía: EPN PQR No.: Según norma: ASME IX – 2019		No. Identificación: EPN.006 Fecha Realizado por: Organización: Escuela Politécnica Nacional						
Artículo I. Junta Utilizada		Artículo II. Técnica de soldadura						
Tipo de junta:	A tope	Proceso de soldadura:	SMAW					
Abertura raíz:	N/A	Tipo de Soldadura:	Manual <input checked="" type="checkbox"/>					
Talón:	N/A	Soldadura a:	Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/>					
Angulo de ranura:	N/A	Cordón de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>					
Placa de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	Limpieza pase raíz:	Amoladora					
Preparar bisel:	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	Pases siguientes:	Cepillo metálico (grata)					
Método:	Amolado							
Artículo III. Metal Base		Artículo V. Posición de Soldadura						
Especificación:	P-1 y P-8	Posición de Soldadura:	5G					
Espesor:	1.5 mm	Progresión:						
Dimensiones:	50.8 x 50.8 mm	Técnica:	Un pase <input checked="" type="checkbox"/> Varios pases <input type="checkbox"/>					
Artículo IV. Metal de Aporte		Pre calentamiento	N/A					
Diámetro:	2.38mm 3/32"	Tiempo entre pases	N/A					
Denominación AWS:	E7018	Artículo VI. Notas						
Casa comercial:	AGA	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta • Asegurar limpieza de las partes 						
Denominación comercial:	AGA B-10 AWS							
Detalle de la Junta								
No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad.	Intensidad (Amperios)			oscilado	recto
1	E7018	2.38	DC+	47	45	210	x	



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE SOLDADURA**



ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Nombre Compañía: EPN PQR No.: Según norma: ASME IX – 2019		No. Identificación: EPN.007 Fecha: Realizado por: Organización: Escuela Politécnica Nacional						
Artículo I. Junta Utilizada		Artículo II. Técnica de soldadura						
Tipo de junta:	A tope	Proceso de soldadura:	SMAW					
Abertura raíz:	N/A	Tipo de Soldadura:	Manual <input checked="" type="checkbox"/>					
Talón:	N/A	Soldadura a:	Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/>					
Angulo de ranura:	N/A	Cordón de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>					
Placa de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	Limpieza pase raíz:	Amoladora					
Preparar bisel:	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	Pases siguientes:	Cepillo metálico (grata)					
Método:	Amolado							
Artículo III. Metal Base		Artículo V. Posición de Soldadura						
Especificación:	P-1 y P-8	Posición de Soldadura:	5G					
Espesor:	1.5 mm	Progresión:						
Dimensiones:	50.8 x 50.8 mm	Técnica:	Un pase <input checked="" type="checkbox"/> Varios pases <input type="checkbox"/>					
Artículo IV. Metal de Aporte		Pre calentamiento	N/A					
Diámetro:	2.38mm 3/32"	Tiempo entre pases	N/A					
Denominación AWS:	E6010	Artículo VI. Notas						
Casa comercial:	AGA	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta • Asegurar limpieza de las partes 						
Denominación comercial:	AGA C-10 AWS							
Detalle de la Junta								
No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad.	Intensidad (Amperios)			oscilado	recto
1	E6010	2.38	DC+	46	26	271	x	



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE SOLDADURA**



ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Nombre Compañía: EPN PQR No.: Según norma: ASME IX – 2019		No. Identificación: EPN.008 Fecha Realizado por: Organización: Escuela Politécnica Nacional						
Artículo I. Junta Utilizada		Artículo II. Técnica de soldadura						
Tipo de junta:	A tope	Proceso de soldadura:	SMAW					
Abertura raíz:	N/A	Tipo de Soldadura:	Manual <input checked="" type="checkbox"/>					
Talón:	N/A	Soldadura a:	Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/>					
Angulo de ranura:	N/A	Cordón de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>					
Placa de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	Limpieza pase raíz:	Amoladora					
Preparar bisel:	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	Pases siguientes:	Cepillo metálico (grata)					
Método:	Amolado							
Artículo III. Metal Base		Artículo V. Posición de Soldadura						
Especificación:	P-1 y P-8	Posición de Soldadura:	5G					
Espesor:	1.5 mm	Progresión:						
Dimensiones:	50.8 x 50.8 mm	Técnica:	Un pase <input checked="" type="checkbox"/> Varios pases <input type="checkbox"/>					
Artículo IV. Metal de Aporte		Pre calentamiento	N/A					
Diámetro:	2.38mm 3/32"	Tiempo entre pases	N/A					
Denominación AWS:	E312-16	Artículo VI. Notas						
Casa comercial:	AGA	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta • Asegurar limpieza de las partes 						
Denominación comercial:	AGA R-91 AWS							
Detalle de la Junta								
No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad.	Intensidad (Amperios)			oscilado	recto
1	E312-16	2.38	DC-	46	38	297	x	



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE SOLDADURA**



ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

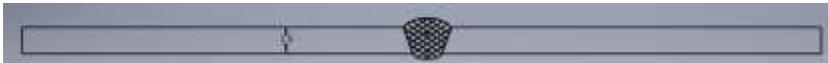
Nombre Compañía: EPN PQR No.: Según norma: ASME IX – 2019	No. Identificación: EPN.009 Fecha Realizado por: Organización: Escuela Politécnica Nacional
---	--

Artículo I. Junta Utilizada		Artículo II. Técnica de soldadura	
Tipo de junta:	A tope	Proceso de soldadura:	SMAW
Abertura raíz:	N/A	Tipo de Soldadura:	Manual <input checked="" type="checkbox"/>
Talón:	N/A	Soldadura a:	Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/>
Angulo de ranura:	N/A	Cordón de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>
Placa de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	Limpieza pase raíz:	Amoladora
Preparar bisel:	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	Pases siguientes:	Cepillo metálico (grata)
Método:	Amolado		

Artículo III. Metal Base		Artículo V. Posición de Soldadura	
Especificación:	P-1 y P-8	Posición de Soldadura:	5G
Espesor:	1.5 mm	Progresión:	
Dimensiones:	50.8 x 50.8 mm	Técnica:	Un pase <input checked="" type="checkbox"/> Varios pases <input type="checkbox"/>

Artículo IV. Metal de Aporte		Pre calentamiento	N/A
Diámetro:	2.38mm 3/32"	Tiempo entre pases	N/A
Denominación AWS:	E308L-16	Artículo VI. Notas	
Casa comercial:	AGA	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta • Asegurar limpieza de las partes 	
Denominación comercial:	AGA R-60 AWS		

Detalle de la Junta



No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad.	Intensidad (Amperios)			oscilado	recto
1	E308L-16	2.38	DC-	56	27	320	x	



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE SOLDADURA**



ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

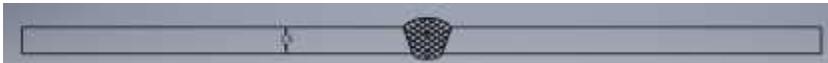
Nombre Compañía: EPN PQR No.: Según norma: ASME IX – 2019	No. Identificación: EPN.010 Fecha Realizado por: Organización: Escuela Politécnica Nacional
---	--

Artículo I. Junta Utilizada		Artículo II. Técnica de soldadura	
Tipo de junta:	A tope	Proceso de soldadura:	SMAW
Abertura raíz:	N/A	Tipo de Soldadura:	Manual <input checked="" type="checkbox"/>
Talón:	N/A	Soldadura a:	Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/>
Angulo de ranura:	N/A	Cordón de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>
Placa de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	Limpieza pase raíz:	Amoladora
Preparar bisel:	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	Pases siguientes:	Cepillo metálico (grata)
Método:	Amolado		

Artículo III. Metal Base		Artículo V. Posición de Soldadura	
Especificación:	P-1 y P-8	Posición de Soldadura:	5G
Espesor:	1.5 mm	Progresión:	
Dimensiones:	50.8 x 50.8 mm	Técnica:	Un pase <input checked="" type="checkbox"/> Varios pases <input type="checkbox"/>

Artículo IV. Metal de Aporte		Pre calentamiento	N/A
Diámetro:	2.38mm 3/32"	Tiempo entre pases	N/A
Denominación AWS:	E309L-16	Artículo VI. Notas	
Casa comercial:	AGA	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta • Asegurar limpieza de las partes 	
Denominación comercial:	AGA R-72 AWS		

Detalle de la Junta



No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad.	Intensidad (Amperios)			oscilado	recto
1	E309L-16	2.38	DC-	46	35	312	x	



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE SOLDADURA**



ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Nombre Compañía: EPN PQR No.: Según norma: ASME IX – 2019		No. Identificación: EPN.011 Fecha Realizado por: Organización: Escuela Politécnica Nacional						
Artículo I. Junta Utilizada			Artículo II. Técnica de soldadura					
Tipo de junta:	A tope		Proceso de soldadura:	SMAW				
Abertura raíz:	N/A		Tipo de Soldadura:	Manual <input checked="" type="checkbox"/>				
Talón:	N/A		Soldadura a:	Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/>				
Angulo de ranura:	N/A		Cordón de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>				
Placa de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>		Limpieza pase raíz:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>				
Preparar bisel:	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>		Pases siguientes:	Amoladora Cepillo metálico (grata)				
Método:	Amolado							
Artículo III. Metal Base			Artículo V. Posición de Soldadura					
Especificación:	P-1 y P-8		Posición de Soldadura:	5G				
Espesor:	1.5 mm		Progresión:					
Diámetro:	2 ½"		Técnica:	Un pase <input checked="" type="checkbox"/> Varios pases <input type="checkbox"/>				
Artículo IV. Metal de Aporte			Pre calentamiento	N/A				
Diámetro:	2.38mm 3/32"		Tiempo entre pases	N/A				
Denominación AWS:	E7018		Artículo VI. Notas					
Casa comercial:	AGA		<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta • Asegurar limpieza de las partes 					
Denominación comercial:	AGA B-10 AWS							
Detalle de la Junta								
No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad.	Intensidad (Amperios)			oscilado	recto
1	E7018	2.38	DC+	46	40	193	x	



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE SOLDADURA**



ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

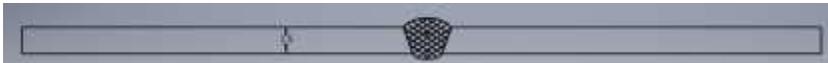
Nombre Compañía: EPN PQR No.: Según norma: ASME IX – 2019	No. Identificación: EPN.012 Fecha: Realizado por: Organización: Escuela Politécnica Nacional
---	---

Artículo I. Junta Utilizada		Artículo II. Técnica de soldadura	
Tipo de junta:	A tope	Proceso de soldadura:	SMAW
Abertura raíz:	N/A	Tipo de Soldadura:	Manual <input checked="" type="checkbox"/>
Talón:	N/A	Soldadura a:	Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/>
Angulo de ranura:	N/A	Cordón de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>
Placa de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	Limpieza pase raíz:	Amoladora
Preparar bisel:	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	Pases siguientes:	Cepillo metálico (grata)
Método:	Amolado		

Artículo III. Metal Base		Artículo V. Posición de Soldadura	
Especificación:	P-1 y P-8	Posición de Soldadura:	5G
Espesor:	1.5 mm	Progresión:	
Diámetro:	2 ½"	Técnica:	Un pase <input checked="" type="checkbox"/> Varios pases <input type="checkbox"/>

Artículo IV. Metal de Aporte		Pre calentamiento	N/A
Diámetro:	2.38mm 3/32"	Tiempo entre pases	N/A
Denominación AWS:	E6010	Artículo VI. Notas	
Casa comercial:	AGA	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta • Asegurar limpieza de las partes 	
Denominación comercial:	AGA C-10 AWS		

Detalle de la Junta



No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad.	Intensidad (Amperios)			oscilado	recto
1	E6010	2.38	DC+	44	26	249	x	



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE SOLDADURA**



ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Nombre Compañía: EPN PQR No.: Según norma: ASME IX – 2019	No. Identificación: EPN.013 Fecha Realizado por: Organización: Escuela Politécnica Nacional
---	--

Artículo I. Junta Utilizada		Artículo II. Técnica de soldadura	
Tipo de junta:	A tope	Proceso de soldadura:	SMAW
Abertura raíz:	N/A	Tipo de Soldadura:	Manual <input checked="" type="checkbox"/>
Talón:	N/A	Soldadura a:	Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/>
Angulo de ranura:	N/A	Cordón de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>
Placa de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	Limpieza pase raíz:	Amoladora
Preparar bisel:	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	Pases siguientes:	Cepillo metálico (grata)
Método:	Amolado		

Artículo III. Metal Base		Artículo V. Posición de Soldadura	
Especificación:	P-1 y P-8	Posición de Soldadura:	5G
Espesor:	1.5 mm	Progresión:	
Diámetro:	2 ½"	Técnica:	Un pase <input checked="" type="checkbox"/> Varios pases <input type="checkbox"/>

Artículo IV. Metal de Aporte		Pre calentamiento	N/A
Diámetro:	2.38mm 3/32"	Tiempo entre pases	N/A
Denominación AWS:	E312-16	Artículo VI. Notas	
Casa comercial:	AGA	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta • Asegurar limpieza de las partes 	
Denominación comercial:	AGA R-91 AWS		

Detalle de la Junta

No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad.	Intensidad (Amperios)			oscilado	recto
1	E312-16	2.38	DC-	46	42	332	x	



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE SOLDADURA**



ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

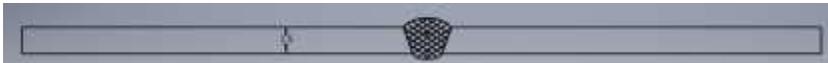
Nombre Compañía: EPN PQR No.: Según norma: ASME IX – 2019	No. Identificación: EPN.014 Fecha Realizado por: Organización: Escuela Politécnica Nacional
---	--

Artículo I. Junta Utilizada		Artículo II. Técnica de soldadura	
Tipo de junta:	A tope	Proceso de soldadura:	SMAW
Abertura raíz:	N/A	Tipo de Soldadura:	Manual <input checked="" type="checkbox"/>
Talón:	N/A	Soldadura a:	Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/>
Angulo de ranura:	N/A	Cordón de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>
Placa de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	Limpieza pase raíz:	Amoladora
Preparar bisel:	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	Pases siguientes:	Cepillo metálico (grata)
Método:	Amolado		

Artículo III. Metal Base		Artículo V. Posición de Soldadura	
Especificación:	P-1 y P-8	Posición de Soldadura:	5G
Espesor:	1.5 mm	Progresión:	
Diámetro:	2 ½"	Técnica:	Un pase <input checked="" type="checkbox"/> Varios pases <input type="checkbox"/>

Artículo IV. Metal de Aporte		Pre calentamiento	N/A
Diámetro:	2.38mm 3/32"	Tiempo entre pases	N/A
Denominación AWS:	E308L-16	Artículo VI. Notas	
Casa comercial:	AGA	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta • Asegurar limpieza de las partes 	
Denominación comercial:	AGA R-60 AWS		

Detalle de la Junta



No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad.	Intensidad (Amperios)			oscilado	recto
1	E308L-16	2.38	DC-	56	27	398	x	



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE MATERIALES
LABORATORIO DE SOLDADURA**



ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

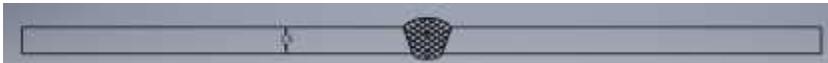
Nombre Compañía: EPN PQR No.: Según norma: ASME IX – 2019	No. Identificación: EPN.015 Fecha Realizado por: Organización: Escuela Politécnica Nacional
---	--

Artículo I. Junta Utilizada		Artículo II. Técnica de soldadura	
Tipo de junta:	A tope	Proceso de soldadura:	SMAW
Abertura raíz:	N/A	Tipo de Soldadura:	Manual <input checked="" type="checkbox"/>
Talón:	N/A	Soldadura a:	Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/>
Angulo de ranura:	N/A	Cordón de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>
Placa de respaldo:	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	Limpieza pase raíz:	Amoladora
Preparar bisel:	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	Pases siguientes:	Cepillo metálico (grata)
Método:	Amolado		

Artículo III. Metal Base		Artículo V. Posición de Soldadura	
Especificación:	P-1 y P-8	Posición de Soldadura:	5G
Espesor:	1.5 mm	Progresión:	
Diámetro:	2 ½"	Técnica:	Un pase <input checked="" type="checkbox"/> Varios pases <input type="checkbox"/>

Artículo IV. Metal de Aporte		Pre calentamiento	N/A
Diámetro:	2.38mm 3/32"	Tiempo entre pases	N/A
Denominación AWS:	E309L-16	Artículo VI. Notas	
Casa comercial:	AGA	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar alineación de la junta • Asegurar limpieza de las partes 	
Denominación comercial:	AGA R-72 AWS		

Detalle de la Junta



No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (Voltios)	Vel. De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y polaridad.	Intensidad (Amperios)			oscilado	recto
1	E309L-16	2.38	DC-	46	39	386	x	

Anexos II - Informe del ensayo de espectrometría



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

DEPARTAMENTO DE MATERIALES

LABORATORIO DE FUNDICIÓN



INFORME TÉCNICO

Solicitado por: Ing. Verónica Sotomayor Msc.

Tipo de Trabajo: Espectrometría por chispa

Fecha: 10 de noviembre del 2020

Realizado por: Ing. Oscar Sotomayor/Ing. Luis G. Huilca

Descripción: Muestras de material metálico

1. ANTECEDENTES.

Se recibe en el Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional seis probetas sueltas

Se solicita realizar la prueba de espectrometría con la finalidad de determinar los componentes presentes en las muestras entregadas.

2. IDENTIFICACIÓN DE LAS PROBETAS.

Las probetas para los análisis correspondientes son identificadas como se muestra a continuación:

Nombre	Identificación de la probeta	Identificación Gráfica
MUESTRAS METÁLICA	Sample M1	
	Sample M2	

MUESTRAS METÁLICA	Sample M3	
	Sample M4	
	Sample M5	
	Sample M6	

3. ANTECEDENTES TÉCNICOS

3.1. **Limpieza Superficial:** Según norma ASTM E415 – 17 Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry

3.2. **Método:** Fe 110 Low alloy

4. VALORES OBTENIDOS

El análisis de espectrometría por chispa se realiza empleando el espectrómetro marca BRUKER modelo Q2 ION. Para el análisis se tomaron 2 mediciones en distintos puntos del espécimen y finalmente se promedió su valor.

Muestra	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Elemento	Valor [%]	Valor [%]	Valor [%]	Valor [%]	Valor [%]	Valor [%]
Carbono [C]	0,089	0,149	0,077	0,066	0,061	0,071
Silicio [Si]	0,010	0,082	0,016	0,392	0,519	0,351
Manganeso [Mn]	0,197	0,138	0,268	0,868	1,046	0,769
Fósforo [P]	0,017	0,012	0,020	0,035	0,026	0,022
Cromo [Cr]	0,026	0,268	0,0089	14,37	14,55	15,26
Molibdeno [Mo]	---	---	---	0,014	---	0,049
Níquel [Ni]	0,013	0,014	0,0063	8,919	8,990	8,682
Cobre [Cu]	0,016	0,0069	0,0041	0,052	0,016	0,183
Aluminio [Al]	0,021	0,0035	0,044	0,0027	0,0025	0,0020
Cobalto [Co]	---	0,0044	---	0,272	0,249	0,213
Vanadio [V]	---	---	---	0,059	0,079	0,076
Hierro [Fe]	99,60	99,32	99,53	74,94	74,44	74,31
Total	99,99	100,00	99,97	99,99	99,98	99,99



Ing. Luis G. Huilca
Técnico Responsable



Ing. Oscar Sotomayor
Jefe del Laboratorio de
Fundición



Con la finalidad de mejorar nuestros servicios, solicitamos de la manera más comedida se llene la encuesta mediante la captura del código QR adjunto, agradecemos su colaboración.

Bruker Analysis Report



Sample: M1

Analysis Time: 10.11.2020 09:20:42

Method: Fe110

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
∅	0,089	0,010	0,197	0,017	0,0051
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
∅	0,026	<0,0050	0,013	0,018	0,021
	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	W [%]
∅	<0,0030	<0,0050	<0,0020	<0,0030	<0,020
	B [%]	Sn [%]	Fe [%]		
∅	0,0023	<0,0020	99,60		

Sample: M2

Analysis Time: 10.11.2020 09:27:37

Method: Fe110

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
∅	0,149	0,082	0,138	0,012	<0,0030
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
∅	0,268	<0,0050	0,014	0,0069	0,0035
	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	W [%]
∅	0,0044	<0,0050	<0,0020	<0,0030	<0,020
	B [%]	Sn [%]	Fe [%]		
∅	0,0028	0,0022	99,32		

Sample: M3

Analysis Time: 10.11.2020 09:31:54

Method: Fe110

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
∅	0,077	0,016	0,268	0,020	<0,0030
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
∅	0,0089	<0,0050	0,0063	0,0041	0,044
	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	W [%]
∅	<0,0030	<0,0050	<0,0020	<0,0030	<0,020
	B [%]	Sn [%]	Fe [%]		
∅	0,0036	0,0081	99,53		

Sample: M4

Analysis Time: 10.11.2020 09:39:58

Method: Fe130

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
∅	0,066	0,392	0,868	0,035	0,0040
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
∅	14,37	0,014	8,919	0,052	0,0027
	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	Fe [%]
∅	0,272	<0,0100	0,0053	0,059	74,94

Sample: M5

Analysis Time: 10.11.2020 09:43:39

Method: Fe130

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
∅	0,061	0,519	1,046	0,026	0,0032
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
∅	14,55	<0,0100	8,990	0,016	0,0025
	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	Fe [%]
∅	0,249	<0,0100	0,0066	0,079	74,44

Sample: M6

Analysis Time: 10.11.2020 09:48:55

Method: Fe130

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
∅	0,071	0,351	0,769	0,022	0,0032
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
∅	15,26	0,049	8,682	0,183	0,0020
	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	Fe [%]
∅	0,213	<0,0100	0,0052	0,076	74,31

Anexos III - Informe del ensayo de tensión



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

F01-PE-LAEV-01 Rev.00

INFORME

LAEV – M20.064

Quito, 29 de octubre de 2020

Solicitado por: M.Sc. Verónica Sotomayor
Persona de contacto: Cristian Ochoa, Lizbeth Legña
Teléfono: 0979209575
Correo: cristian.ochoa@epn.edu.ec
Fecha de recepción: 23/10/2020
Fecha de ejecución: 27/10/2020-28/10/2020

ORDEN DE TRABAJO N°: DM-OTI0084-2020

1. **MUESTRAS:** Treinta (30) juntas soldadas y doce (12) probetas de material base para ensayo de tracción.

2. GENERALIDADES E IDENTIFICACIÓN:

La siguiente descripción fue proporcionada por el cliente:

Título de la tesis: ESTUDIO DE SOLDABILIDAD DE PLACAS Y TUBERÍAS DE ACERO INOXIDABLE AISI-304 CON ACEROS ASTM A36 Y ASTM A500 UTILIZANDO EL PROCESO DE SOLDADURA SMAW

En la tabla 1 se muestra la identificación de las muestras a ser ensayadas:

Tabla 1. Identificación de las muestras

Id. cliente	Id. LAEV
Placas planas 3 mm espesor (10 probetas)	M20.064.01 – M20.064.10
Tubería cuadrada 1.5 mm espesor (10 probetas)	M20.064.11 – M20.064.20
Tubería 1.5 mm espesor (10 probetas)	M20.064.21 – M20.064.30
Material base (12 probetas)	M20.064.31 – M20.064.42

3. CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura: $21,5 \pm 1,7$ °C

Humedad relativa: $53,9 \pm 6,8$ %

4. ENSAYO DE TRACCIÓN EN JUNTAS SOLDADAS

En las tablas 2 a la 4 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de tracción.

Tabla 2. Resistencia a la tracción del grupo M20.064.01 – M20.064.10.

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Obs.
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M20.064.01	18,83	2,82	5 655	25 154	68,7	473,7	FMB
M20.064.02	19,11	2,89	5 731	25 495	67,0	461,6	FMB
M20.064.03	18,99	2,91	5 434	24 172	63,4	437,4	FMB
M20.064.04	19,02	2,73	5 568	24 767	69,2	477,0	FMB
M20.064.05	19,00	2,85	5 756	25 606	68,6	472,9	FMB
M20.064.06	18,99	2,87	5 763	25 636	68,2	470,4	FMB
M20.064.07	19,12	2,85	5 576	24 803	66,0	455,2	FMB
M20.064.08	19,06	2,80	5 396	24 001	65,2	449,7	FMB
M20.064.09	18,94	2,73	5 623	25 011	70,2	483,7	FMB
M20.064.10	18,86	2,84	5 323	23 677	64,1	442,0	FMB

*FMB = Falla en el material base

Tabla 3. Resistencia a la tracción del grupo M20.064.11 – M20.064.20.

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Obs.
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M20.064.11	19.09	1.34	2,226	9,900	56.1	387.0	FMB
M20.064.12	19.01	1.36	1,601	7,124	40.0	275.5	FJS
M20.064.13	19.15	1.44	2,349	10,449	55.0	378.9	FJS
M20.064.14	19.02	1.44	2,127	9,460	50.1	345.4	FZC
M20.064.15	19.18	1.38	2,359	10,491	57.5	396.4	FMB
M20.064.16	19.14	1.40	2,122	9,440	51.1	352.3	FZC
M20.064.17	19.21	1.34	2,204	9,802	55.2	380.8	FZC
M20.064.18	19.04	1.37	2,266	10,081	56.1	386.5	FZC
M20.064.19	18.94	1.31	2,219	9,872	57.7	397.9	FMB
M20.064.20	19.05	1.41	2,063	9,177	49.6	341.6	FZC

*FMB = Falla en el material base

* FZC = Falla en la zona afectada por el calor

* FJS = Falla en la junta soldada

Tabla 4. Resistencia a la tracción del grupo M20.064.21 – M20.064.30.

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Obs.
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M20.064.21	18,82	1,28	2 289	10 181	61,3	422,6	FMB
M20.064.22	19,06	1,54	2 368	10 534	52,1	358,9	FZC
M20.064.23	19,11	1,55	2 515	11 185	54,8	377,6	FMB
M20.064.24	19,20	1,55	2 492	11 087	54,0	372,6	FMB
M20.064.25	19,22	1,51	2 105	9 363	46,8	322,6	FZC
M20.064.26	19,13	1,56	1 504	6 689	32,5	224,1	FJS
M20.064.27	18,97	1,55	2 041	9 081	44,8	308,8	FZC
M20.064.28	19,14	1,67	2 490	11 076	50,3	346,5	FMB
M20.064.29	19,17	1,45	2 635	11 721	61,2	421,7	FZC
M20.064.30	19,24	1,68	1 984	8 826	39,6	273,0	FJS

*FMB = Falla en el material base

* FZC = Falla en la zona afectada por el calor

* FJS = Falla en la junta soldada

5. ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIAL BASE

En la tabla 5 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de tracción.

Tabla 5. Resistencia a la tracción grupo M20.064.31 – M20.064.42.

Id.	Ancho promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M20.064.31	19,28	1,72	2 216	9 858	43,1	297,8	13,7
M20.064.32	19,20	1,71	2 566	11 414	50,4	348,0	24,9
M20.064.33	19,05	1,49	4 541	20 200	103,2	712,9	46,8
M20.064.34	19,23	1,52	4 636	20 623	102,3	706,7	36,4
M20.064.35	18,98	1,47	2 251	10 015	52,1	359,5	24,5
M20.064.36	18,99	1,53	2 259	10 051	50,2	346,5	24,8
M20.064.37	18,99	1,42	4 812	21 403	115,1	794,8	43,9
M20.064.38	18,78	1,42	4 959	22 057	120,0	828,1	41,9
M20.064.39	19,06	2,84	5 565	24 754	66,3	457,8	25,9
M20.064.40	19,07	2,82	5 598	24 901	67,2	463,6	28,1
M20.064.41	19,15	2,97	9 602	42 713	108,9	752,3	59,0
M20.064.42	18,88	2,97	9 583	42 627	110,3	761,5	58,6

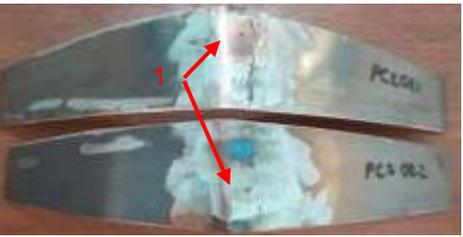
Nota.- Los resultados contenidos en el presente informe corresponden únicamente a las muestras ensayadas por el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV). Además, los valores de fuerza que se emiten en el presente documento (y con los que se ha evaluado la conformidad) corresponden a valores corregidos en función del último certificado de calibración del equipo de fuerza y no se ha utilizado el valor de la incertidumbre

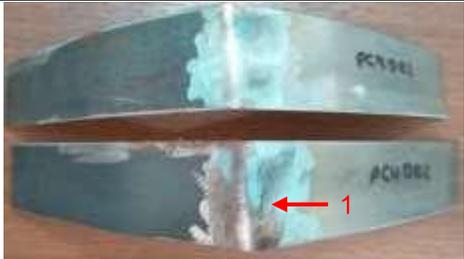
	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:	 Firmado electrónicamente por: JONATHAN FERNANDO CASTRO REVELLO	
Nombre:	Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ph.D. Wilson Guachamín
Cargo:	ESPECIALISTA DE LABRATORIO	JEFE
LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES		

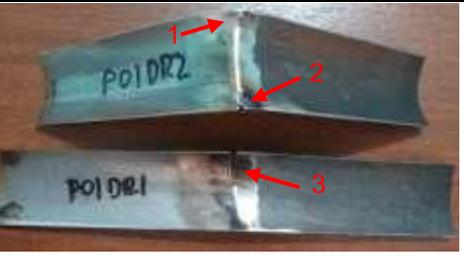
Anexos IV - Resultados del ensayo de doblado

Ensayo de dobléz de cara y raíz en placas planas soldado con diferente material de aporte		
Electrodo	Doblez cara	Doblez raíz
P1 (E 7018)		
	1) No presenta discontinuidades.	1) No presenta discontinuidades.
P2 (E 6010)		
	1) No presenta discontinuidades. 2) Poro en la superficie.	1) No presenta discontinuidades. 2) Poro en la superficie.
P3 (E 312)		
	1) No presenta discontinuidades.	1) No presenta discontinuidades. 2) Poro en la superficie.
P4 (E 308 L)		
	1) No presenta discontinuidades.	1) No presenta discontinuidades.

P5 (E 309 L)		
	1) No presenta discontinuidades.	1) Discontinuidad 2mm. 2) Poros en la superficie.

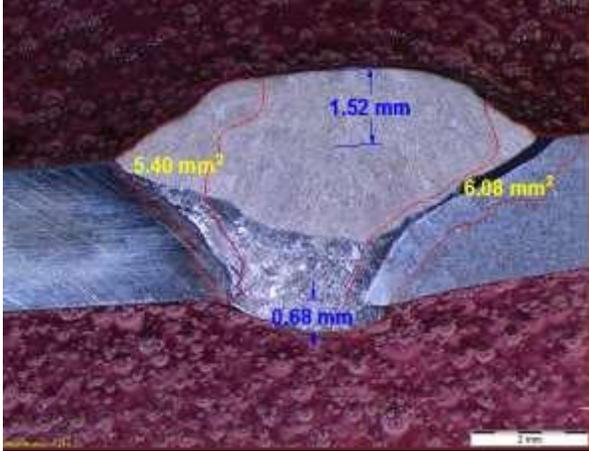
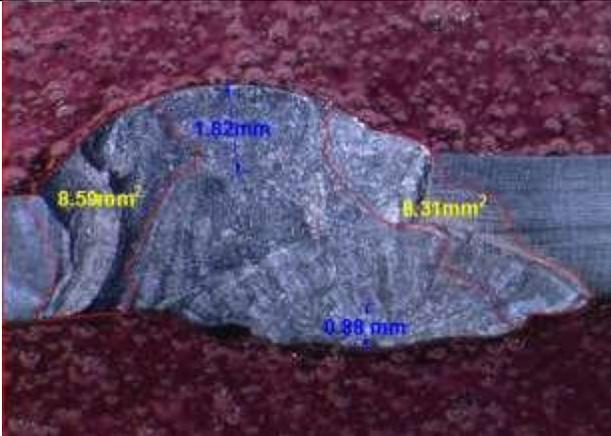
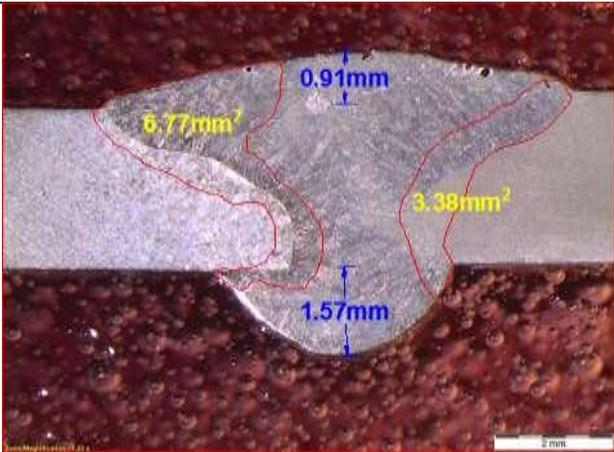
Ensayo de doblez de cara y raíz en tubería cuadrada soldado con diferente material de aporte.		
Electrodo	Doblez cara	Doblez raíz
PC1 (E 7018)		
	1) Discontinuidad de borde 5mm. 2) Microporos en la superficie.	1) No presenta discontinuidades.
PC2 (E 6010)		
	1) Poros superficiales 2) No presenta discontinuidades.	1) Poros superficiales 2) No presenta discontinuidades.
PC3 (E 312)		
	1) Discontinuidades de borde 6mm.	1) Discontinuidades 9mm. 2) Discontinuidad 3mm. 3) Discontinuidad 10mm.

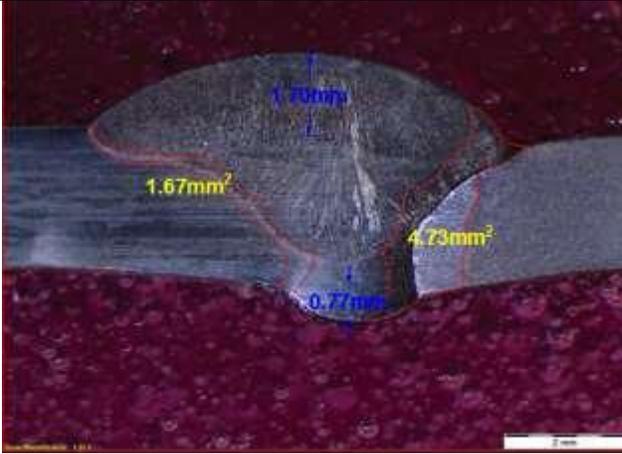
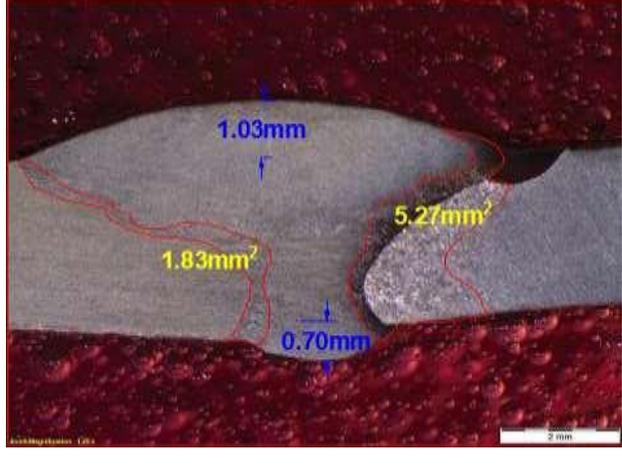
PC4 (E 308 L)		
	1) No presenta discontinuidades.	1) Discontinuidad 5mm.
PC5 (E 309 L)		
	1) Discontinuidad 7mm.	1) No presenta discontinuidades.

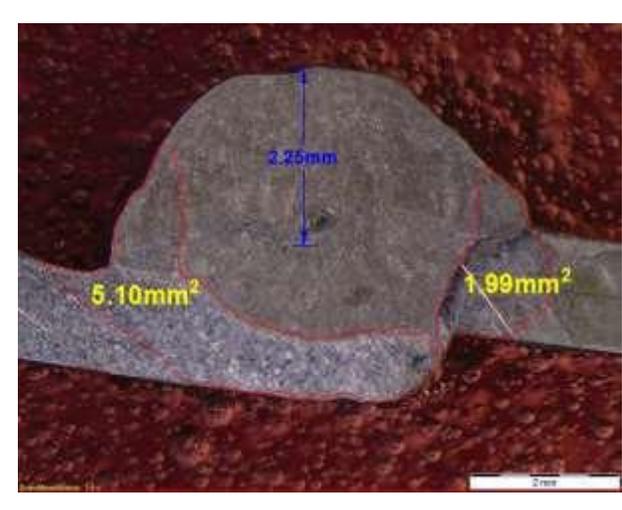
Ensayo de doblez de cara y raíz en tubería redonda soldada con diferente material de aporte.		
Electrodo	Doblez cara	Doblez raíz
PO1 (E 7018)		
	1) Discontinuidad de borde 6mm. 2) Discontinuidad de borde 6mm. 3) Poro 11mm. 4) Poro 3mm.	1) Discontinuidad 3mm. 2) Discontinuidad de borde 7mm. 3) Discontinuidad de borde 18mm.
PO2 (E 6010)		
	1) Poro 2mm. 2) No presenta discontinuidades.	1) Discontinuidad de borde 2mm.

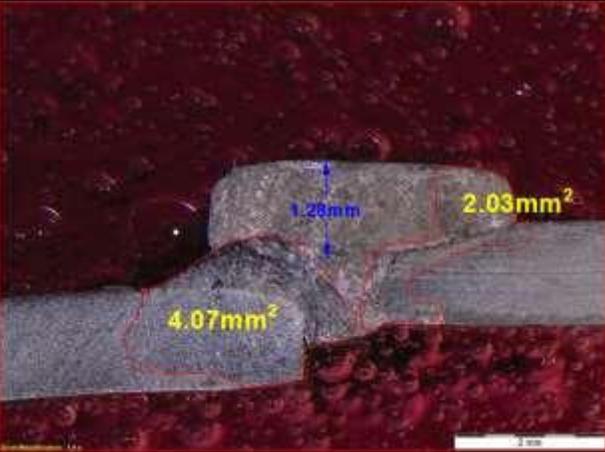
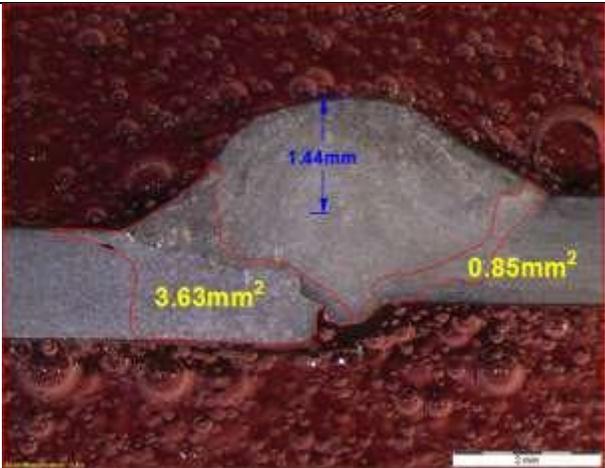
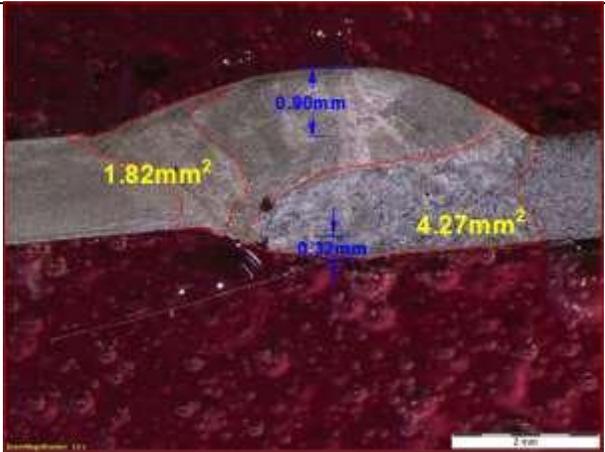
<p>PO3 (E 312)</p>		
	<p>1) Discontinuidad 5mm. 2) Discontinuidad 1mm.</p>	<p>1) Discontinuidad de borde 25mm. 2) Discontinuidad de borde 6mm. 3) Discontinuidad 6mm.</p>
<p>PO4 (E 308 L)</p>		
	<p>1) No presenta discontinuidades.</p>	<p>1) Discontinuidad 1mm. 2) Discontinuidad 2.5mm. 3) Discontinuidad de borde 3mm. 4) Discontinuidad de borde 6mm.</p>
<p>PO5 (E 309 L)</p>		
	<p>1) Discontinuidad 15mm.</p>	<p>1) Discontinuidad de borde 2mm. 2) Discontinuidad de borde 2mm. 3) Discontinuidad de borde 17mm.</p>

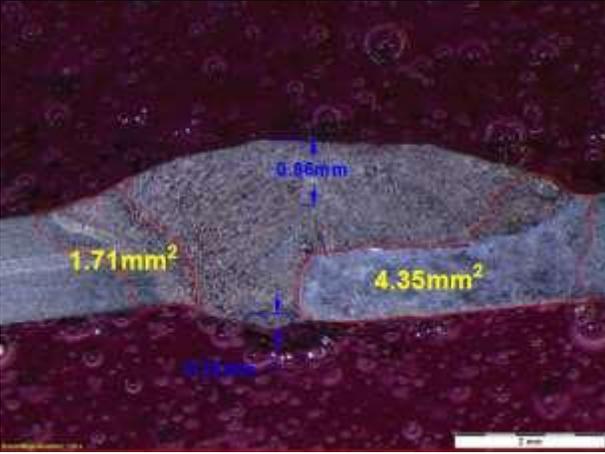
Anexos V - Resultados del análisis macrográfico

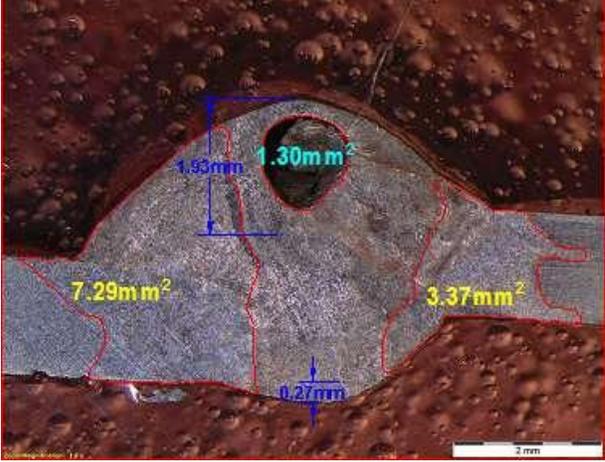
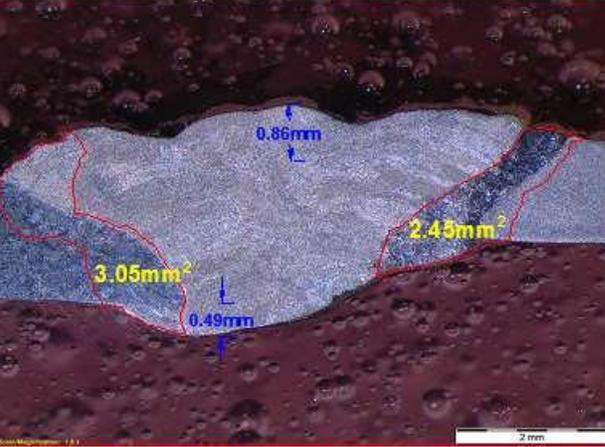
Macrografías de placas planas soldadas con diferente material de aporte.		
Electrodo	Macrografía	Observaciones
P1 (E 7018)		<ul style="list-style-type: none"> • ZAC: 11.48 mm^2. • Sobremonta cara: 1.52 mm. • Sobremonta raíz: 0.68 mm.
P2 (E 6010)		<ul style="list-style-type: none"> • ZAC: 16.90 mm^2. • Sobremonta cara: 1.82 mm. • Sobremonta raíz: 0.88 mm.
P3 (E 312)		<ul style="list-style-type: none"> • ZAC: 10.15 mm^2. • Sobremonta cara: 0.91 mm. • Sobremonta raíz: 1.57 mm.

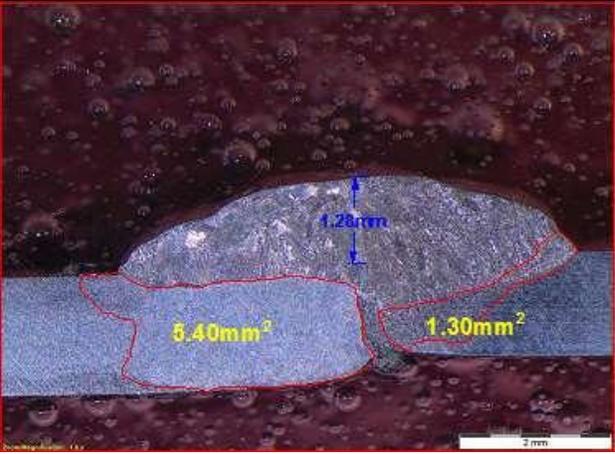
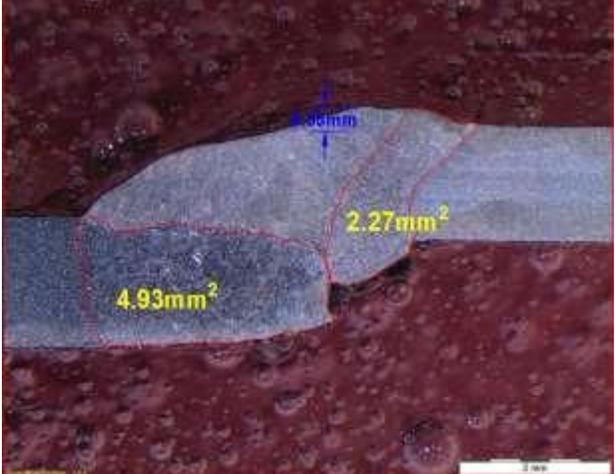
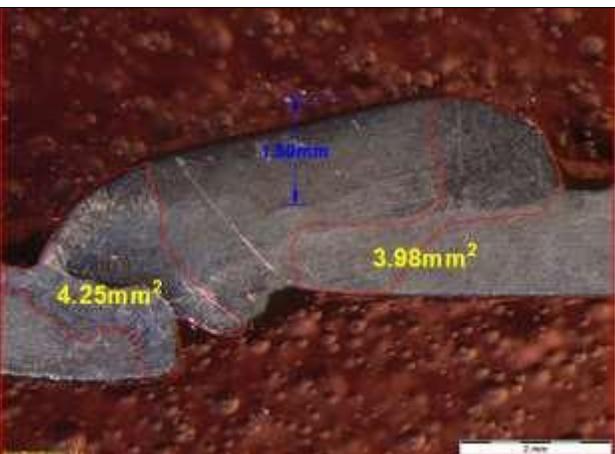
<p>P4 (E 308 L)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • ZAC: 6.40 mm². • Sobremonta cara: 1.70 mm. • Sobremonta raíz: 0.77 mm.
<p>P5 (E 309 L)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • ZAC: 7.10 mm². • Sobremonta cara: 1.03 mm. • Sobremonta raíz: 0.70 mm.

Macrografías de tubería cuadrada soldado con diferente material de aporte.		
Electrodo	Macrografía	Observaciones
<p>PC1 (E 7018)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • ZAC: 7.09 mm². • Sobremonta cara: 2.25 mm. • Sobremonta raíz: 0.0 mm.

<p>PC2 (E 6010)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • ZAC: 6.10 mm^2. • Sobremona cara: 1.28 mm. • Sobremona raíz: 0.0 mm.
<p>PC3 (E 312)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • ZAC: 4.48 mm^2. • Sobremona cara: 1.44 mm. • Sobremona raíz: 0.0 mm.
<p>PC4 (E 308 L)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • ZAC: 6.09 mm^2. • Sobremona cara: 0.90 mm. • Sobremona raíz: 0.32 mm.

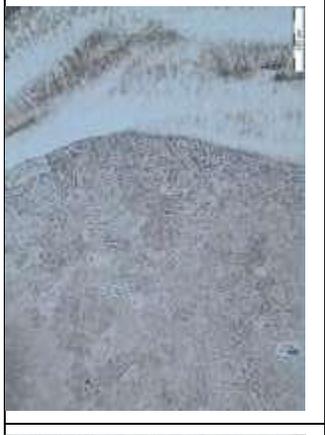
<p>PC5 (E 309 L)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • ZAC: 6.06 mm^2. • Sobremonta cara: 0.86 mm. • Sobremonta raíz: 0.21 mm.
--------------------------	--	--

Macrografías de tuberías redonda soldadas con diferente material de aporte.		
Electrodo	Macrografía	Observaciones
<p>PO1 (E 7018)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • ZAC: 10.66 mm^2. • Sobremonta cara: 1.93 mm. • Sobremonta raíz: 0.27 mm. • Poro: 1.30 mm^2.
<p>PO2 (E 6010)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • ZAC: 5.5 mm^2. • Sobremonta cara: 0.86 mm. • Sobremonta raíz: 0.49 mm.

<p>PO3 (E 312)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • ZAC: 6.70 mm^2. • Sobremonta cara: 1.28 mm. • Sobremonta raíz: 0.0 mm.
<p>PO4 (E 308 L)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • ZAC: 7.20 mm^2. • Sobremonta cara: 0.35 mm. • Sobremonta raíz: 0.0 mm.
<p>PO5 (E 309 L)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • ZAC: 8.23 mm^2. • Sobremonta cara: 1.50 mm. • Sobremonta raíz: 0.0 mm.

Anexos VI - Resultados del análisis micrográfico

Micrografías de placas soldadas con diferentes materiales de aporte.				
Electrodo	Material base acero al carbono	Zona afectada por el calor	Zona afectada por el calor	Material base acero inoxidable
Micrografía con un aumento de 100 X				
P1 (E 7018)				
Obs	Microestructura del acero al carbono ASTM A 36. Quemón por exceso de ataque químico. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de junta donde se observa la interfaz de soldadura correctamente unida con mezcla de materiales con estructura distorsionada de materiales. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa la transición de la microestructura de ferrita alargada a la estructura dendrítica de la soldadura. Ataque químico con Marble. Presenta quemón por exceso de ataque químico.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Matriz austenítica con proceso de manufactura de laminado.
Micrografía con un aumento de 500 X				

P1 (E 7018)					Microestructura del acero al carbono ASTM A 36. Estructura ferrítica-perfítica. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de junta donde se observa pocas inclusiones en ambos materiales. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa precipitados en la interfaz de soldadura. Presenta estructura martensítica en la soldadura. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble.
Electrodo	Material base acero al carbono							
P2 (E 6010)					Microestructura del acero al carbono ASTM A 36. Microfisuras en el material base. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa la transición de la microestructura de ferrita alargada a la estructura dendrítica de la soldadura. Ataque químico con Marble.	Zona de la junta que se observa interfaz de soldadura bien definida con mezcla en algunas zonas. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble.

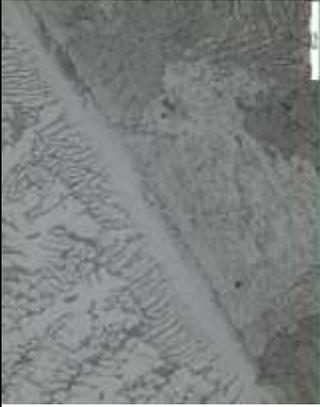
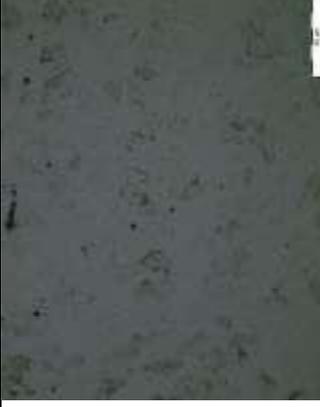
Micrografía con un aumento de 100 X

Micrografía con un aumento de 500 X

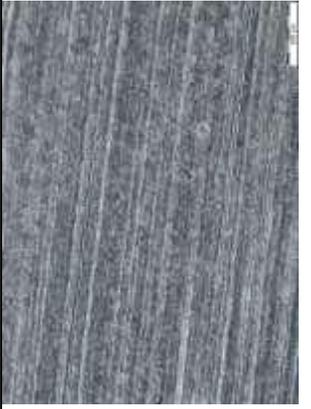
<p>P2 (E 6010)</p>				
<p>Obs</p>	<p>Microestructura del acero al carbono ASTM A 36. Estructura ferrítica-perlítica. Ataque químico con Nital al 2%.</p>	<p>Zona de la junta que se observa precipitados en la interfaz de soldadura. Ataque químico con Marble. Microfisura en la soldadura.</p>	<p>Zona de la junta que se observa Carburos en los bordes de grano. Ataque químico con Marble.</p>	<p>Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Ferrita alargada en matriz austenítica con proceso de manufactura de laminado.</p>
<p>Electrodo</p>	<p>Material base acero al carbono</p>	<p>Zona afectada por el calor</p>	<p>Zona afectada por el calor</p>	<p>Material base acero inoxidable</p>

Micrografía con un aumento de 100 X

<p>P3 (E 312)</p>				
-----------------------	--	---	--	---

Obs	Microestructura del acero al carbono ASTM A 36. Gotas residuales de alcohol. Quemón por exceso de ataque químico. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa interfaz de soldadura bien definida. Materiales con microestructura distorsionada. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa la transición de la microestructura de ferrita alargada a la estructura dendrítica de la soldadura. Materiales con microestructura distorsionada. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble.
Micrografía con un aumento de 500 X				
P3 (E 312)				
Obs	Microestructura del acero al carbono ASTM A 36. Presenta distorsión en el grano. Ataque químico con Nital al 10%.	Zona de la junta que se observa dendritas de ferrita cerca de la interfaz de soldadura. Ataque químico con Marble.	Zona de la junta que se observa ferrita de esqueleto en una matriz de austenita con carburos en el borde de grano. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Cementita granular con matriz austenítica.
Electrodo	Material base acero al carbono	Zona afectada por el calor	Zona afectada por el calor	Material base acero inoxidable
Micrografía con un aumento de 100 X				

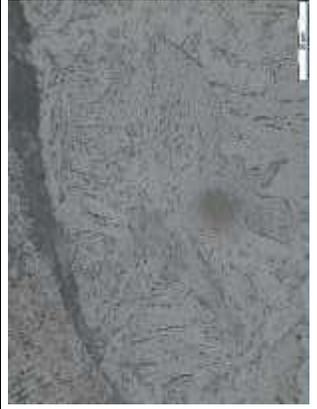
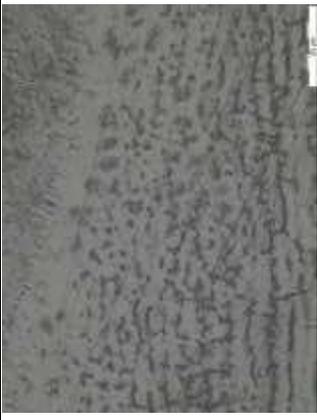
P4 (E 308 L)					Obs	Microestructura del acero al carbono ASTM A 36. Presenta defectos en el material base. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa interfaz de soldadura bien definida. Materiales con microestructura distorsionada. Quemón por exceso de ataque químico. Ataque químico con Marble.	Zona de la junta que se observa ferrita de delta en matriz de austenita. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Matriz austenítica con proceso de manufactura de laminado.
Micrografía con un aumento de 500 X									
P4 (E 308 L)					Obs	Microestructura del acero al carbono ASTM A 36. Estructura ferrítica-perlítica. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa carburos en el borde de grano en la matriz de austenita. Interfaz definida con inclusiones en la soldadura. Ataque químico con Marble.	Zona de la junta que se observa martensita en una matriz de austenita. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble.

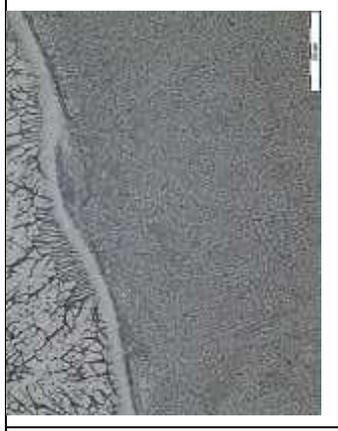
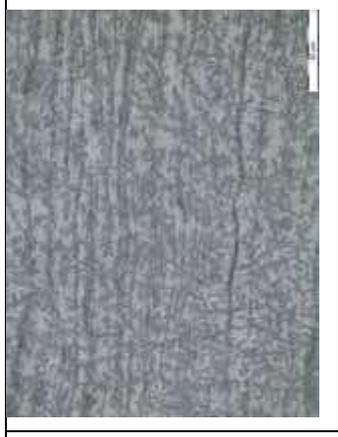
Electrodo	Material base acero al carbono	Zona afectada por el calor	Zona afectada por el calor	Material base acero inoxidable
Micrografia con un aumento de 100 X				
P5 (E 309 L)				
Obs	Microestructura del acero al carbono ASTM A 36. Presenta quemones por exceso de ataque químico. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa interfaz de soldadura bien definida. Materiales con microestructura distorsionada. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa ferrita esqueleto y lateral en una matriz de Austenita. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Matriz austenítica con proceso de manufactura de laminado. Quemón por exceso de ataque químico.
Micrografia con un aumento de 500 X				
P5 (E 309 L)				

Obs	Microestructura del acero al carbono ASTM A 36. Estructura perlítica-ferrítica. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa interfaz definida con ferrita esqueleto en la soldadura. Ataque químico con Marble.	Zona de la junta que se observa microestructura de la soldadura formada por Austenita, con una leve presencia de ferrita esqueleto. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Estructura austenítica.
-----	---	---	--	---

Electrodo	Material base acero al carbono	Zona afectada por el calor	Zona afectada por el calor	Material base acero inoxidable
Micrografía con un aumento de 100 X				
PC1 (E 7018)		ND		
Obs	Microestructura del acero al carbono ASTM A 500. Quemón por exceso de ataque químico. Presenta poro en la superficie. Ataque químico con Nital al 2%.	NA	Zona de la junta que se muestra la transición de la microestructura de grano austenítico a estructura dendrítica en la soldadura. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Matriz austenítica con proceso de manufactura de laminado.
Micrografía con un aumento de 500 X				

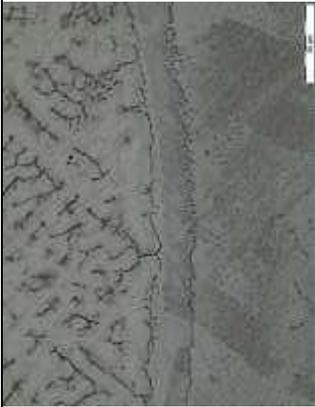
PC1 (E 7018)		NA		
Obs	Microestructura del acero al carbono ASTM A 500. Ataque químico con Nital al 2%. Matriz de ferrita con cementita.	NA	Zona de la junta que se muestra ferrita delta en la zona de transición. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble.
Electrodo	Material base acero al carbono	Zona afectada por el calor	Zona afectada por el calor	Material base acero inoxidable
Micrografía con un aumento de 100 X				
PC2 (E 6010)				
Obs	Microestructura del acero al carbono ASTM A 500. Presenta quemón por exceso de ataque químico. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se muestra la interfaz de soldadura definida. Inclusiones de carburo en el material base. Quemón por exceso de ataque químico. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se muestra la transición de la microestructura de grano austenítico equiaxial con ferrita alargada a estructura dendrítica en la soldadura. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Matriz austenítica con proceso de manufactura de laminado.

					Presenta quemón por exceso de ataque químico.
Micrografía con un aumento de 500 X					
PC2 (E 6010)					
Obs	Microestructura del acero al carbono ASTM A 500. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se muestra inclusiones de carburo en el material base. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa Microestructura de austenita, a una estructura dendrítica resultante del proceso de solidificación de la soldadura. Presenta inclusiones. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Presenta quemón por exceso de ataque químico.	
Electrodo	Material base acero al carbono	Zona afectada por el calor	Zona afectada por el calor	Material base acero inoxidable	
Micrografía con un aumento de 100 X					

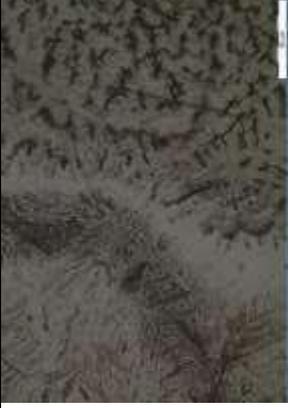
PC3 (E 312)					Obs	Microestructura del acero al carbono ASTM A 500. Presenta quemón por exceso de ataque químico. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que muestra la interfaz de soldadura definida, con ferrita lateral en la zona soldada. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa pequeñas partículas de cementita en matriz de austenita. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Matriz austenítica con proceso de manufactura de laminado. Presenta quemón por exceso de ataque químico.
Micrografía con un aumento de 500 X									
PC3 (E 312)					Obs	Microestructura del acero al carbono ASTM A 500. Estructura perlítica con borde de grano con ferrita. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que muestra distorsión de granos en el borde de la soldadura, con pequeñas partículas de cementita. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa pequeñas partículas de cementita en matriz de austenita. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Presenta quemón por exceso de ataque químico.

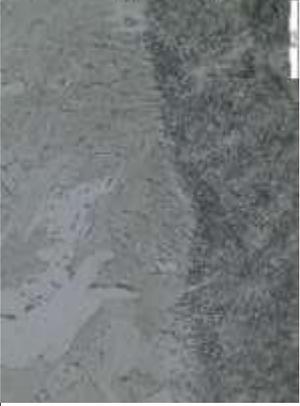
Electrodo	Material base acero al carbono	Zona afectada por el calor	Zona afectada por el calor	Material base acero inoxidable
Micrografía con un aumento de 100 X				
PC4 (E 308 L)	ND			
Obs	NA	Zona de la junta que se observa interfaz de soldadura bien definida. Ferrita lateral en la parte superior. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se presentan las fases ferrita lateral, en una matriz de austenita. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Matriz austenítica con proceso de manufactura de laminado. Presenta quemón por exceso de ataque químico. Ataque químico con Marble.
Micrografía con un aumento de 500 X				
PC4 (E 308 L)	ND			

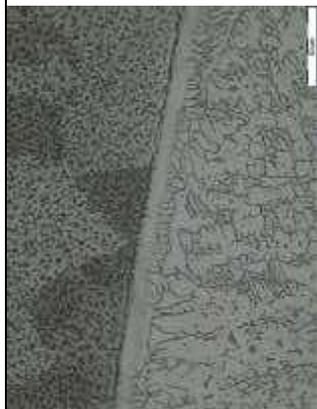
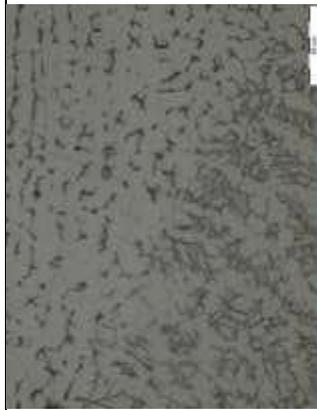
Obs	NA	Zona de la junta que se observa martensita globular en matriz de austenita. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa un poro en la soldadura. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble.
Electrodo	Material base acero al carbono	Zona afectada por el calor	Zona afectada por el calor	Material base acero inoxidable
Micrografía con un aumento de 100 X				
PC5 (E 309 L)	ND			ND
Obs	NA	Zona de la junta que se observa interfaz de soldadura bien definida. Ferrita lateral en la parte superior. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se muestra la transición de la microestructura de grano Austenítico con ferrita alargada, a estructura dendrítica en la soldadura. Ataque químico con Marble.	NA
Micrografía con un aumento de 500 X				

PC5 (E 309 L)	ND				Zona de la junta que se observa martensita globular en matriz de austenita. Ferrita lateral en la parte superior. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se muestra la transición de la microestructura de grano Austenítico con ferrita esqueleto. Presenta ralladuras en la micrografía. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Matriz austenítica con proceso de manufactura de laminado.
Obs	NA						

Electrodo	Material base acero al carbono	Zona afectada por el calor	Zona afectada por el calor	Material base acero inoxidable
Micrografía con un aumento de 100 X				
PO1 (E 7018)				
Obs	Microestructura del acero al carbono ASTM A 500. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se muestra rallones en la superficie de la micrografía por mal pulido. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se muestra la transición de la microestructura de grano Austenítico con ferrita alargada, a estructura dendrítica	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Matriz austenítica con proceso de

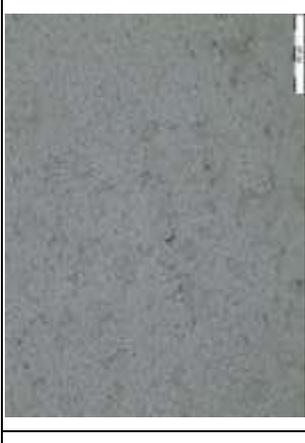
				en la soldadura. Ataque químico con Marble.	manufactura de laminado. Presenta quemón por exceso de ataque químico.
Micrografía con un aumento de 500 X					
PO1 (E 7018)					
Obs	Microestructura del acero al carbono ASTM A 500. Partículas pequeñas de cementita en una matriz de ferrita. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se muestra matriz de austenita con carburos en los límites de grano. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa una microestructura de soldadura formada por Austenita, con una leve presencia de ferrita esqueleto. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble.	
Electrodo	Material base acero al carbono	Zona afectada por el calor	Zona afectada por el calor	Material base acero inoxidable	
Micrografía con un aumento de 100 X					
PO2 (E 6010)					

Obs	Microestructura del acero al carbono ASTM A 500. Presenta quemón por exceso de ataque químico. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se muestra interfaz de soldadura delimitada, con mezcla de los materiales. Presenta deformación en los bordes de la soldadura. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa el límite de soldadura definido, con una microestructura de austenita con ferrita. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Matriz austenítica.
Micrografía con un aumento de 500 X				
PO2 (E 6010)		ND		
Obs	Microestructura del acero al carbono ASTM A 500. Ataque químico con Nital al 2%.	NA	Zona de la junta que se observa una matriz de austenita, con pequeñas cantidades de cementita. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Matriz austenítica.
Electrodo	Material base acero al carbono	Zona afectada por el calor	Zona afectada por el calor	Material base acero inoxidable
Micrografía con un aumento de 100 X				

PO3 (E 312)	ND				Obs	NA	Zona de la junta que se observa interfaz de soldadura bien definida. Ferrita lateral en la parte inferior. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa microestructura de austenita, con una leve presencia de ferrita lateral. Inclusiones de carburos en la soldadura. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Matriz austenítica con proceso de manufactura de laminado. Presenta quemón por exceso de ataque químico.
Micrografía con un aumento de 500 X									
PO3 (E 312)					Obs	Microestructura del acero al carbono ASTM A 500. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa granos deformados en el borde de la soldadura. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa microestructura de soldadura formada por austenita, con una leve presencia de ferrita esqueleto y lateral. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Matriz austenítica.

Electrodo	Material base acero al carbono	Zona afectada por el calor	Zona afectada por el calor	Material base acero inoxidable
Micrografía con un aumento de 100 X				
PO4 (E 308 L)	ND			
Obs	NA	Zona de la junta que se observa interfaz de soldadura bien definida. Ferrita lateral en la parte inferior. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se muestra la transición de la microestructura austenítica a la estructura dendrítica de la soldadura con una leve presencia de ferrita lateral. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Proceso de manufactura de laminado. Presenta quemón por exceso de ataque químico.
Micrografía con un aumento de 500 X				
PO4 (E 308 L)	ND			

Obs	NA	Zona de la junta que se observa deformación en los granos del material. Carburos en los bordes de grano de una matriz de austenita. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se muestra una leve presencia de ferrita lateral. Deformación de granos cerca de la soldadura. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Matriz austenítica.
Electrodo	Material base acero al carbono	Zona afectada por el calor	Zona afectada por el calor	Material base acero inoxidable
Micrografía con un aumento de 100 X				
PO5 (E 309 L)	ND			
Obs	NA	Zona de la junta que se observa un claro límite de soldadura con el material base donde se muestra martensita en la matriz de perlita. En la parte superior presente ferrita lateral. Ataque químico con Nital al 2%.	Zona de la junta que se observa una discontinuidad en la superficie. Ataque químico con Marble.	Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Matriz austenítica.
Micrografía con un aumento de 500 X				

<p>PO5 (E 309 L)</p>				
<p>Obs</p>	<p>Microestructura del acero al carbono ASTM A 500. Quemón por exceso de ataque químico. Ataque químico con Nital al 2%.</p>	<p>Zona de la junta que se observa el área de transición con ferrita laminar ingresando a la soldadura. Ataque químico con Nital al 2%.</p>	<p>Zona de la junta que se observa cementita en una matriz de austenita. Ataque químico con Marble.</p>	<p>Microestructura del acero inoxidable AISI 304. Ataque químico con Marble. Presenta partículas pequeñas de cementita en una matriz austenítica.</p>