



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

CARACTERIZACIÓN DE LA SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES FERRÍTICOS MEDIANTE METALES DE APORTE AUSTENÍTICO

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

TOAPANTA CHILUISA TANIA ROCIO
tania.toapanta@epn.edu.ec

ING. BARRAGÁN CAMPOS GALO HOMERO
(homero.barragan@epn.edu.ec)

Quito, octubre 2017

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **TOAPANTA CHILUISA TANIA ROCIO** bajo mi supervisión.

Ing. Barragán Homero
DIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo, **Toapanta Chiluisa Tania Rocio**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría: que no ha sido previamente presentado por ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a La Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional.

Toapanta Ch. Tania R.

DEDICATORIA

El trabajo que he realizado en el transcurso de mi carrera ha sido con mucho esfuerzo, dedicación, ánimos y sobre todo con el gran anhelo de cumplir mis sueños. Y todo esto es reflejado en este proyecto de titulación que con gran amor quiero dedicárselo a mi **Dios**, a mis padres **Fredy y Rocio**, y a mis hermanas **Fernanda, Anahí y Danielita**, ya que ustedes han sido mi inspiración y mi fortaleza para culminar esta carrera. Y como no dedicárselos si reconozco el sacrificio que han hecho cada uno de ustedes para que yo pueda cumplir cada una de mis metas.

*“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente;
No temas ni desmayes, porque Jehová tu
Dios estará contigo en dondequiera que vayas.”*

Josué 1:9

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecerle a mi **Dios**, quien me ha acompañado en todo este tiempo. Y para quien es la honra y la gloria de este trabajo.

También quiero agradecerles a mis padres y hermanas, que me han dado lo mejor de cada uno de ellos y han estado a mi lado a pesar de todo problema y dificultad. Siempre me apoyaron con mucho esmero y es por eso que les agradezco con todo mi corazón.

Gracias a mis tíos **Luis y Olga**, quienes se portaron como unos padres y estuvieron cuando más los necesite, todo lo que hicieron por mí nunca lo voy a olvidar y que el Señor Jesús le bendiga siempre.

Quiero agradecerle al ingeniero **Homero Barragán**, quien me apoyado y ayudado con mi trabajo de titulación. Gracias por su colaboración y paciencia.

También quiero agradecerle a todos mis grandes amigos del **206** en especial a mi mejor amigo **Daniel**, ha sido una amistad de casi toda mi carrera y han sido personas con quienes he vivido experiencias únicas, maravillosas y que las llevaré en mi corazón.

Gracias a mis primos **Daniel Y Danny**, son un bonito complemento en mi vida, quienes me han aconsejado y me han cuidado con amor.

También gracias a mis buenos amigos de la **Iglesia Evangélica Apostólica del Nombre de Jesús**, quienes me han enseñado a disfrutar la vida de una mejor manera, en especial a **Stalin** quien ha sido mi apoyo, y sobre todo con quien he aprendido grandes valores. Gracias **chiquito** por todo, eres genial.

Y también gracias a la **facultad de Ingeniería Mecánica**, es el lugar donde crecí como profesional y de donde me llevo grandes recuerdos y victorias. *¡¡Un chispún y un carajo por Mecánica...!!*

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Aceros inoxidables.....	3
1.1.1. Clasificación.....	4
1.1.1.1. Aceros inoxidables martensíticos.....	4
1.1.1.2. Aceros inoxidables austeníticos.....	4
1.1.1.3. Aceros inoxidables ferríticos.....	5
1.1.1.4. Aceros inoxidables dúplex.....	5
1.2. Aceros ferríticos.....	5
1.2.1. Diagrama hierro–cromo (Fe - Cr).....	6
1.2.2. Efectos de los elementos de aleación en el diagrama de fases.....	7
1.2.3. Propiedades de la ferrita.....	9
1.2.4. Propiedades del acero ferrítico.....	11
1.2.4.1. Resistencia a la corrosión.....	11
1.2.4.2. Magnetibilidad.....	11
1.2.4.3. Soldabilidad.....	11

1.2.4.4.	Fragilidad.....	11
1.2.4.5.	Ductilidad.....	12
1.2.4.6.	Tenacidad.....	12
1.2.4.7.	Dureza	12
1.2.5.	Tipos de aceros inoxidables ferríticos	12
1.2.5.1	Tipo 405.....	13
1.2.5.2.	Tipo 409.....	13
1.2.5.3.	Tipo 410S	13
1.2.5.4.	Tipo 430 F	14
1.2.5.5.	Tipo 434.....	14
1.2.5.6.	Tipo 436.....	14
1.2.5.7.	Tipo 439.....	14
1.2.5.8.	Tipo 441.....	15
1.2.5.9.	Tipo 444.....	15
1.2.5.10.	Tipo 446.....	15
1.2.6.	Aceros inoxidables ferríticos en la soldadura.....	15
1.2.7.	Problemas en la soldadura	16
1.2.8.	Ventajas y desventajas.....	19
1.2.8.1.	Ventajas.....	19
1.2.8.2.	Desventajas.....	20
1.2.9.	Aplicaciones	20
1.3.	Características del acero inoxidable ferrítico 410S	21
1.3.1.	Características	21
1.3.2.	Fabricación.....	21
1.3.3.	Tratamiento térmico.....	22
1.3.4.	Composición química y propiedades mecánicas	22
1.3.5.	Soldabilidad.....	22

1.3.6.	Aplicaciones	23
1.4.	Diagrama de Schaeffler.....	23
1.4.1.	Procedimiento para usar el diagrama Schaeffler	24
1.5.	Diagrama de Long	27
1.6.	Diagrama WRC (diagrama constitucional para metales de soldadura de aceros inoxidables).....	28
1.7.	Material de aporte.....	30
1.7.1.	Selección del electrodo.....	30
1.7.1.1.	Antes de la soldadura	30
1.7.1.2.	Después de la soldadura	31
1.7.1.3.	Composición química.....	31
1.7.2.	Tipos de material de aporte.....	32
1.8.	Características del material de aporte 308L	39
1.9.	Selección del proceso de soldadura	40
1.10.	Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW).....	41
2.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	42
2.1.	Cálculo de cromo (Cr) y níquel (Ni) del material base y material de aporte para el diagrama de Schaeffler	44
2.2.	Ubicación de datos en el diagrama de Schaeffler	45
2.3.	Cálculo de cromo (Cr) y níquel (Ni) del material base y material de aporte para el diagrama de Long.....	47
2.4.	Ubicación de datos en el diagrama de Long	47
2.5.	Cálculo de cromo (Cr) y níquel (Ni) del material base y material de aporte para el diagrama De WRC	48
2.6.	Ubicación de datos en el diagrama WRC	49
	(Fuente propia).....	49
2.7.	Cálculo de la temperatura de precalentamiento	50

2.8.	Cálculo de porcentaje de dilución	51
2.9.	Procedimientos experimentales	53
2.9.1.	Equipos y Materiales	53
2.9.2.	Elaboración de probetas.....	53
2.10.	Ensayos no destructivos	57
2.10.1.	Radiografía	58
2.10.1.1.	Norma de aceptación (ASME sección IX)	58
2.10.2.	Metalografías.....	61
2.11.	Ensayos destructivos.....	63
2.11.1.	Prueba de tracción de sección reducida.....	63
2.11.1.1.	Norma de aceptación (ASME sección IX)	63
2.11.2.	Prueba de doblados	64
2.11.2.1.	Norma de aceptación (ASME sección IX)	64
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	66
3.1.	RESULTADOS	66
3.1.1.	Ensayos Radiográficos	66
3.1.2.	Ensayos Metalográficos.....	67
3.1.3.	Prueba de Tracción.....	72
3.1.4.	Prueba de doblado.....	73
3.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	74
3.2.1.	Análisis de los ensayos no destructivos.....	77
3.2.1.1.	Ensayos radiográficos.....	77
3.2.1.2.	Ensayos metalográficos.....	78
3.2.2.	Análisis de los ensayos destructivos.....	79
3.2.2.1.	Ensayos de tensión.....	79
3.2.2.2.	Ensayos de doblado.....	80
4.	CONCLUSIONES.....	81

5. BIBLIOGRAFÍA.....	83
ANEXOS.....	85
ANEXO I. Certificación de inspección del material 410S	86
ANEXO II. Certificación acero inoxidable ferrítico 410S.....	111
ANEXO III. Certificación electrodo 308L.....	112
ANEXO IV. Welding Procedure Specification (WPS).....	113
ANEXO V. Certificación de los ensayos radiográficos	117
ANEXO VI. Certifiación de los ensayos de tracción	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1. Diagrama hierro-cromo (Fe-Cr) con 2% de silicio.	6
Fig. 1.2. Efectos de las aleaciones de los aceros inoxidables en el diagrama de fases.	8
Fig. 1.3. Estructura cristalina de la ferrita. Cubica centrada en el cuerpo (BCC).	9
Fig. 1.4. Diagrama de Schaeffler.	24
Fig. 1.5. Unión de soldadura con bisel en V.	26
Fig. 1.6. Ampliación del cordón de soldadura.	26
Fig. 2.1. Diagrama de Schaeffler para la unión de un metal 410S con un metal de aporte 308L.	46
Fig. 2.2. Calculo del número de ferrita (NF) del material de aporte 308L en el Diagrama de Long.	48
Fig. 2.3. Calculo del número de ferrita (NF) del material de aporte 308L en el diagrama de WRC.	49
Fig. 2.4. Probeta soldada.	51
Fig. 2.5. Porcentaje de dilución (PD) y ferrita que contiene el cordón de soldadura, graficado en el diagrama de Schaeffler.	52
Fig. 2.6. Placas de acero inoxidable ferrítico 410S.	54
Fig. 2.7. Electrodo AGA 308L.	54
Fig. 2.8. Medida en milímetros y grados centígrados del bisel a diseñar.	54
Fig. 2.9. Placas biseladas.	55
Fig. 2.10. Preparación de placas a ser soldadas.	55
Fig. 2.11. Cordón de soldadura del acero inoxidable ferrítico 410S.	56
Fig. 2.12. Medida en milímetros de la placa a cortar.	57
Fig. 2.13. Placa señalada para los diferentes ensayos.	57
Fig. 2.14. Diagrama de tiempo de exposición.	59
Fig. 2.15. Medida en milímetros probeta para radiografía.	60

Fig. 2.16. Probeta para el ensayo de radiografía.	61
Fig. 2.17. Medida en milímetros probeta para ensayos metalográficos.	61
Fig. 2.18. Probeta del material base utilizada para los estudios metalográficos.	62
Fig. 2.19. Probeta de un extremo del cordón de soldadura utilizada para los estudios metalográficos.	62
Fig. 2.20. Probeta del otro extremo del cordón de soldadura para los estudios metalográficos.	62
Fig. 2.21. Medida en milímetros probeta de tensión.	63
Fig. 2.22. Probetas para el ensayo de tracción de sección reducida.	64
Fig. 2.23. Medida en milímetros probeta de doblado.	64
Fig. 2.24. Máquina dobladora.	65
Fig. 2.25. Probetas para el ensayo de doblado.	65
Fig. 3.1. Radiografía total del cordón de soldadura del acero 410S (30mm x 20mm x 12mm).	66
Fig. 3.2. Radiografía parte izquierda del cordón de soldadura del acero 410S (30mm x 20mm x 12mm).	67
Fig. 3.3. Radiografía parte derecha del cordón de soldadura del acero 410S (30mm x 20mm x 12mm).	67
Fig. 3.4. Micrografía de un extremo del metal base del acero inoxidable ferrítico 410S. La estructura consiste en una matriz de ferrita con grano equiaxial. Amplificación 500x.	68
Fig. 3.5. Micrografía del cordón de soldadura de un extremo de la probeta, con un material de aporte 308L. La estructura consiste en una matriz austenítica con granos en crecimiento columnar. Amplificación 500x.	68
Fig. 3.6. Micrografía del otro extremo del cordón de soldadura. Fotografía tomada entre pase y pase de cordón. La estructura consiste en una matriz austenítica con granos en crecimiento columnar. Ampliación: 100x.	68
Fig. 3.7. Micrografía de la zona afectada por el calor (ZAC) lado izquierdo de la probeta. Consta de dos diferentes estructuras con matriz austenítica y ferrítica. Los bordes de los granos sobresalen. Ampliación: 100x.	69

Fig. 3.8. Micrografía parte derecha de la zona afectada por el calor (ZAC) de la probeta, con granos en decrecimiento de izquierda a derecha Ampliación: 100x.....	69
Fig. 3.9. Macrografía de un extremo del cordón de soldadura, con granos columnares, se presenta dos tipos de estructura en el cordón de soldadura. Ampliación: 50x.	69
Fig. 3.10. Macrografía de la parte frontal del cordón de soldadura, con seis pases de soldadura. Ampliación: 100x.	70
Fig. 3.11. Medidas de la micrografía de la zona afectada por el calor (ZAC). Parte superior izquierda. Ampliación: 200x.	70
Fig. 3.12. Medidas de la micrografía de la zona afectada por el calor (ZAC). Parte superior derecha. Ampliación: 100x.....	71
Fig. 3.13. Medidas de la micrografía de la zona afectada por el calor (ZAC). Parte inferior izquierda. Ampliación: 100x.	71
Fig. 3.14. Medidas de la micrografía de la zona afectada por el calor (ZAC). Parte inferior derecha. Ampliación: 100x.	72
Fig. 3.15. Ruptura de probeta 1.	72
Fig. 3.16. Ruptura de probeta 2.	73
Fig. 3.17. Doblado de cara.	73
Fig. 3.18. Doblado de Raíz.....	74
Fig. 3.19. Radiografía de probeta (lado izquierdo).	77
Fig. 3.20. Radiografía de probeta (lado derecho).....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Composición química de los aceros inoxidables.....	3
Tabla 1.2. Propiedades de la ferrita.....	10
Tabla 1.3. Propiedades de la ferrita.....	10
Tabla 1.4. Composición química de los aceros SERIE 400 según la Norma AISI-SAE.....	13
Tabla 1.5. Efecto de la ferrita en la soldadura.....	15
Tabla 1.6. Rendimiento dependiente del proceso de soldadura.....	18
Tabla 1.7. Características de ciertos electrodos-proceso SMAW según la Norma AWS A5.4.	32
Tabla 1.8. Composición química de ciertos electrodos-proceso SMAW según la Norma AWS A5.4.....	33
Tabla 1.9. Características de ciertos electrodos proceso GMAW según la Norma AWS A5.9.	34
Tabla 1.10. Composición química de ciertos electrodos-proceso GMAW según la Norma AWS A5.9.....	35
Tabla 1.11. Características de ciertos electrodos proceso FCAW según la Norma AWS A5.22.....	35
Tabla 1.12. Composición química de ciertos electrodos-proceso FCAW según la Norma AWS 5.22.....	36
Tabla 1.13. Características de ciertos electrodos proceso SAW según la Norma AWS A5.9.	37
Tabla 1.14. Composición química de ciertos electrodos-proceso SAW según la Norma AWS A5.9.....	38
Tabla 1.15. Características de ciertos fundentes para el proceso SAW según la Norma A5.9.	39
Tabla 2.1. Composición química del acero inoxidable ferrítico 410S.....	44
Tabla 2.2. Composición química del electrodo 308L.....	45
Tabla 2.3. Datos del cordón de soldadura de las placas.....	55

Tabla 2.4. Factores de corrección.....	58
--	----

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1. Aporte térmico.	17
Ecuación 1.2. Temperatura de precalentamiento.	18
Ecuación 1.3. Carbono equivalente total.	19
Ecuación 1.4. Carbono equivalente químico de Seferián.	19
Ecuación 1.5. Carbono equivalente del espesor.	19
Ecuación 1.6. Cromo equivalente.	24
Ecuación 1.7. Níquel equivalente.	24
Ecuación 1.8. Porcentaje de dilución para uniones de soldadura con bisel en V.	26
Ecuación 1.9. Fórmula para la sumatoria de áreas sombreadas.	26
Ecuación 1.10. Fórmula del área total del cordón de soldadura.	26
Ecuación 1.11. Cromo equivalente.	28
Ecuación 1.12. Níquel equivalente.	28
Ecuación 1.13. Cromo equivalente.	29
Ecuación 1.14. Níquel equivalente.	29
Ecuación 2.1. Tiempo de exposición corregido.	58
Ecuación 2.2. Ley inversa de los cuadrados.	60

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental analizar y estudiar la soldabilidad en aceros inoxidable ferríticos con material de aporte austenítico a través del diagrama de Schaeffler, ensayos destructivos y estudio metalográfico. Es importante conocer las dificultades que presenta el acero inoxidable ferrítico en el área de soldadura con el fin de encontrar soluciones viables que logre una soldadura eficaz y confiable. Uno de los problemas que presenta el acero inoxidable ferrítico es en la soldabilidad, ya que el grano de este acero tiende a tener un crecimiento excesivo, debido a la velocidad de difusión del material a altas temperaturas provocando la reducción de la tenacidad, ductilidad y corrosión en las áreas soldadas. Una de las causas por las que el grano crece de forma excesiva es por la forma de su estructura ya que tiene una estructura cúbica de cuerpo centrada (BCC), y al tener este tipo de estructura produce que su transformación de fase en el enfriamiento y solidificación del material tiende a ser excesivamente lento.

Otro de los problemas de los aceros inoxidable ferríticos se presenta en la soldadura ya que existe insuficiente solubilidad del material en los espacios intersticiales de su estructura cristalina, esto conlleva a la segregación en los límites del grano provocando la disminución de la corrosión intercrystalina.

Palabras clave: acero, ferrita, austenita, soldabilidad.

ABSTRACT

The present work has as main objective to analyze and to study the welding in ferritic stainless steels with material of austenitic contribution through the diagram of Schaeffler, destructive tests and metallographic study. It is important to know the difficulties presented by the ferritic stainless steel in the area of welding in order to find viable solutions that achieve an effective and reliable welding. One of the problems presented by stainless steel is ferritic in the weld, since the grain of this steel tends to an excessive growth, due to the speed of the diffusion of the material at high temperatures that cause the reduction of the tenacity of the ductility and corrosion in welded areas. One of the causes why the grain grows excessively is by the shape of its structure since it has a cubic structure of centered body (BCC), and all this type of structure produces that its transformation of phase in the cooling and solidification of the material tends to be excessively slow.

Another problem of ferritic stainless steels occurs in the welding since there is insufficient solubility of the material in the interstitial spaces of its crystalline structure, it is connected to the segregation in the grain boundaries that causes the decrease of intercrystalline corrosion.

Keywords: steel, ferrite, austenite, weldability.

INTRODUCCIÓN

Debido al escaso estudio del comportamiento de estructuras soldadas con aceros inoxidable ferríticos, se presenta este trabajo para determinar los parámetros adecuados para la obtención de un cordón de soldadura eficiente para las aplicaciones industriales.

Para cumplir con este objetivo es importante realizar un amplio estudio donde incluye el estudio teórico y práctico, en la teoría se describirán todos los tipos de aceros en especial los aceros inoxidable ferríticos, y se dará a conocer los problemas que presentan los aceros inoxidable ferríticos enfocándose en las dificultades producidas en el cordón de soldadura con sus respectivas soluciones.

Para esta primera parte es necesario utilizar el diagrama de Schaeffler que muestra la microestructura del metal con su respectiva cantidad de ferrita, esto es una gran ayuda para determinar los problemas que presenta el acero inoxidable ferrítico en el área de soldadura, con el fin de elegir correctamente el material de aporte y su respectivo procedimiento de soldadura, el diagrama de Schaeffler nos sirve para graficar los puntos del níquel y cromo equivalente del material base y material de aporte, para después encontrar el punto de dilución en medio de la recta trazada por estos dos puntos, este punto representa el porcentaje de fusión que existe entre el material base y material de aporte.

También es importante conocer la teoría de los ensayos destructivos y no destructivos ya que estos ensayos en un respaldo que certifica que la soldadura es apta o no para la aplicaciones industriales, para esto se enfatizará en los ensayos que se utilizarán en la parte práctica, es importante también el análisis de los tipos de electrodos austenítico ya que este es un factor que influye en la calidad del cordón de soldadura, por último se estudiará los tipos de aceros inoxidable ferríticos optando por el más conveniente para la soldabilidad.

En la segunda parte que es la parte práctica se realizará físicamente los ensayos destructivos y no destructivos de las probetas y se mostrará las diferentes fotografías de dichos ensayos con sus respectivos análisis de resultados, también se detallarán los procedimientos de cada uno de los ensayos utilizados para realizar la caracterización de la soldadura de los aceros ferríticos con material de aporte austenítico.

Es importante analizar los estudios realizados para llegar a determinar cuáles son los parámetros adecuados de soldadura así como también la estructura química que debe cumplir el cordón de soldadura para una adecuada aplicación en la industria.

Objetivo general

Estudiar la soldabilidad del acero inoxidable ferrítico con un material de aporte austenítico.

Objetivos específicos

- Encontrar los parámetros de soldadura adecuados para lograr una soldabilidad apropiada en los aceros inoxidables ferríticos.
- Comprobar la eficiencia de la soldadura de aceros inoxidables ferríticos en base a las probetas designadas para los diferentes ensayos cumpliendo con las normas correspondientes a cada ensayo.
- Predecir la composición química del metal depositado en el cordón de soldadura través del diagrama de Schaeffler con el fin de conocer y evitar problemas presentes al momento de soldar.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Aceros inoxidables

Los aceros inoxidables son aleaciones de acero, que quiere decir que están compuestos de dos o más elementos metálicos sólidos. Estos aceros tienen una característica muy especial que los diferencia de los demás aceros, y es que tienen una gran resistencia a la corrosión debido al alto contenido de cromo, este elemento genera una capa sobre el material evitando así que se corra el material.

Los aceros inoxidables son aceros sólidos más no aceros recubiertos, lo que quiere decir es que son aceros con una composición química completamente inoxidable es por eso que garantiza su fiabilidad en toda su estructura. Un gran beneficio de los aceros inoxidables, es que pueden estar almacenados por un largo período de tiempo y sus propiedades no serán afectadas.

Los aceros inoxidables aparecieron por la necesidad que existe en las industrias de encontrar una aleación que sea más resistente al desgaste y a la corrosión ya que las paredes de ciertas estructuras se desgastan rápidamente por el desprendimiento de los gases. Los aceros inoxidables están compuestos por los siguientes elementos químicos:

Tabla 1.1. Composición química de los aceros inoxidables.

ELEMENTO QUÍMICO	PORCENTAJE (%)
Carbono (C)	0.0 – 0.18
Cromo (Cr)	16 – 21
Molibdeno (Mo)	2 – 3
Manganeso (Mn)	0.03 – 1
Silicio (Si)	0.0 – 0.75
Fósforo (P)	0.0 – 0.3
Azufre (S)	0.0 – 0.03
Níquel (Ni)	10 – 14
Titanio (Ti)	0.0 - 0.17

(Fuente propia)

En la Tabla 1.1., se observa los porcentajes máximos y mínimos de los elementos químicos que contienen los aceros inoxidable, a continuación se dará a conocer cuan importantes son estos elementos químicos en dichos aceros.

El contenido de carbono (C) produce austenita que ayuda a mejorar las propiedades mecánicas, pero es necesario que contenga en pocas cantidades ya que de lo contrario dificultaría el maquinado del material.

El contenido de cromo (Cr) produce ferrita, este elemento reacciona con el oxígeno y forma una película delgada en la superficie del material, evitando la corrosión que se produce por reacciones químicas. El alto contenido de cromo ayuda a que estos aceros tengan una excelente resistencia a la corrosión, al igual que el manganeso (Mn) que ayuda a mejorar esta propiedad.

El contenido de Molibdeno (Mo) y níquel (Ni) permiten que este acero sea muy resistente a altas temperaturas, y también ayuda a mejorar la resistencia a la corrosión por picadura independientemente del medio en el que se encuentre.

El contenido de silicio (Si), fósforo (P) y azufre (S) son elementos residuos que ayudan a mejorar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los aceros inoxidable.

El contenido de titanio (Ti) ayuda a la formación de ferrita, evitando la corrosión intergranular, quiere decir que evita la acumulación de material en los bordes del grano de ferrita.

1.1.1. Clasificación

1.1.1.1. Aceros inoxidable martensíticos

Son aceros magnéticos por lo tanto se produce una desviación del arco al momento de ser soldados, por eso es importante realizar un tratamiento térmico (recocido) antes y después de ser utilizados como materia prima.

Se utilizan para la fabricación de piezas para válvulas, rodets para turbinas, bisturís, pinzas quirúrgicas, discos de freno, cuchillería, entre otras aplicaciones.

1.1.1.2 Aceros inoxidable austeníticos

Son aceros no magnéticos por lo tanto no se endurecen cuando se realiza algún tratamiento térmico, cuando estos aceros se encuentran a una temperatura alta pueden sufrir de

corrosión intergranular. Con este acero se puede fabricar vajillas, utensilios de cocina, elementos químicos, entre otras aplicaciones.

1.1.1.3. Aceros inoxidables ferríticos

Son aceros que contienen gran cantidad de cromo, por ende contienen ferrita, para que se conviertan en completamente ferríticos es necesario realizar un tratamiento térmico (recocido), sin afectar a sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. Aumentando su corrosión. Las aplicaciones para este acero es: la fabricación de intercambiadores de calor, tuberías, monedas, elementos automovilísticos, electrodomésticos, etc.

1.1.1.4. Aceros inoxidables dúplex

Son aceros que contienen hierro, cromo, molibdeno y níquel por lo que en el diagrama hierro-carbono se encuentra en medio de la austenita y la ferrita, provocando una resistencia a la corrosión, tenacidad y resistencia a la tracción en término intermedio entre los aceros inoxidables austeníticos y ferríticos. Sus aplicaciones son: pozos de gas, tuberías de petróleo, plantas petroquímicas, etc.

1.2. Aceros ferríticos

Los aceros inoxidables ferríticos son aceros netamente magnéticos, se llaman así porque su estructura metalográfica está compuesta de ferrita y su estructura cristalina es cúbica centrada en el cuerpo (BCC), El contenido de cromo permite que se forme la ferrita, dándole características únicas para ser llamado acero inoxidable ferrítico. Por lo general estos aceros son previamente recocidos,

Su composición química no es estándar ya que los aceros inoxidables ferríticos se subdividen como se muestra en la Tabla 1.3.

Cuando se realiza algún tipo de tratamiento térmico a estos aceros, no es posible endurecerlos debido a su estructura cristalina pero pueden ser endurecidos cuando se trabaja en frío y pueden llegar a alcanzar sus máximos valores en cuanto a resistencia a la corrosión y ductilidad cuando se realizar el recocido.

1.2.1. Diagrama hierro-cromo (Fe - Cr)

El diagrama hierro-cromo muestra detalladamente el comportamiento de las fases que conforman la microestructura de los aceros inoxidable, en este caso es importante conocer el comportamiento de la ferrita con respecto a las demás fases.

Es necesario aclarar que para este proyecto no analizaremos el diagrama hierro-carbono, ya que este diagrama se utiliza para los aceros inoxidable al carbono, debido a su alto contenido de carbono. Pero si analizaremos el diagrama hierro-cromo, ya que los aceros inoxidable, sobre todo los aceros inoxidable ferríticos tienen un alto contenido de cromo, y es necesario estudiar el comportamiento de la ferrita en la microestructura de estos aceros.

A continuación se muestra la Fig.1.1, que representa el diagrama hierro-cromo (Fe-Cr).

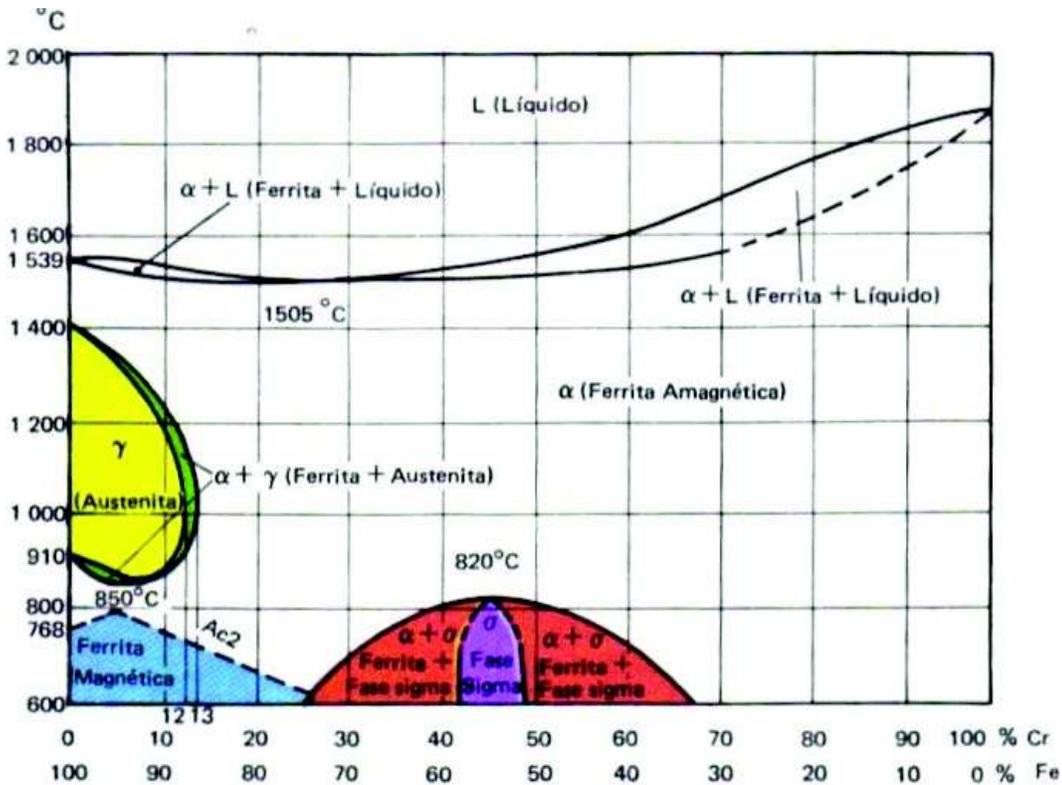


Fig. 1.1. Diagrama hierro-cromo (Fe-Cr) con 2% de silicio.

(Fuente: INCHAURZA, Adrian. Aceros inoxidable y aceros resistentes al calor.)

Lo que se puede observar en el diagrama es lo siguiente:

- La aleaciones de hierro que tiene menos de 12% de cromo se transforma en una estructura austenítica, en un rango de temperatura de aproximadamente 910°C – 1400°C. En este rango de temperatura la aleación puede enfriarse y calentarse sin afectar su estructura cristalina.
- Si la aleación de hierro tiene entre 12% y 13% de cromo esta se convierte en una estructura bifásica (ferrita + austenita). Esta estructura cubre una área en forma de semi-ovalo redondeando a la estructura austenítica.
- Cuando la aleación de hierro tiene aproximadamente 0% - 25% de cromo se convierte en una estructura ferrítica magnética, llegando a una temperatura máxima de aproximadamente 800°C, está el área que cubre esta estructura tiene forma triangular, lo que significa que esta estructura se mantiene desde su temperatura ambiente hasta llegar a su punto de fusión.
- Si la aleación de hierro tiene un aproximado de 25% - 67% de cromo, formará una fase sigma, que significa que existirá una precipitación de fase en un rango de temperatura de 600°C – 800°C, para que se forme esta fase es necesario que el acero se mantenga a estas temperaturas por un lapso largo de tiempo; en esta fase los aceros se convierten en frágiles y duros.
- Se observa en el diagrama que la fase sigma forma al unirse con la ferrita forma dos áreas intercedidas por la fase sigma, estas fases ocurren a temperaturas menores a 800°C y son precipitaciones que ocurren para fragilizar las aleaciones.
- Si se observa el acero será ferrítico a cualquier temperatura siempre y cuando no atraviese el bucle gamma, eso significa que el acero no podrá ser templado en esta fase ferrítica y tampoco se podrá controlar el crecimiento excesivo del grano.

1.2.2. Efectos de los elementos de aleación en el diagrama de fases

Hay que tomar en cuenta que el diagrama de la Fig. 1.1., es solamente una guía para asimilar la microestructura de los aceros inoxidable, ya que todos los aceros inoxidable contienen otras aleaciones que modifican las líneas del diagrama Fe-Cr. También en los aceros inoxidable se pueden realizar tratamientos térmicos que modifican la posición de los límites de las fases presentadas en la Fig. 1.1., los elementos aleantes provocan un cambio en la temperatura eutectoide (temperatura de solidificación), logrando que esta temperatura aumente o disminuye, posteriormente se produce la modificación de los límites de fase.

Es por eso que se puede llegar a tener aceros inoxidable austeníticos, ferríticos y martensita fuera de los límites de fase mostrados en el diagrama Fe – Cr.

A continuación en la Fig. 1.2., se muestra los efectos que provocan diferentes aleaciones en los aceros inoxidable.

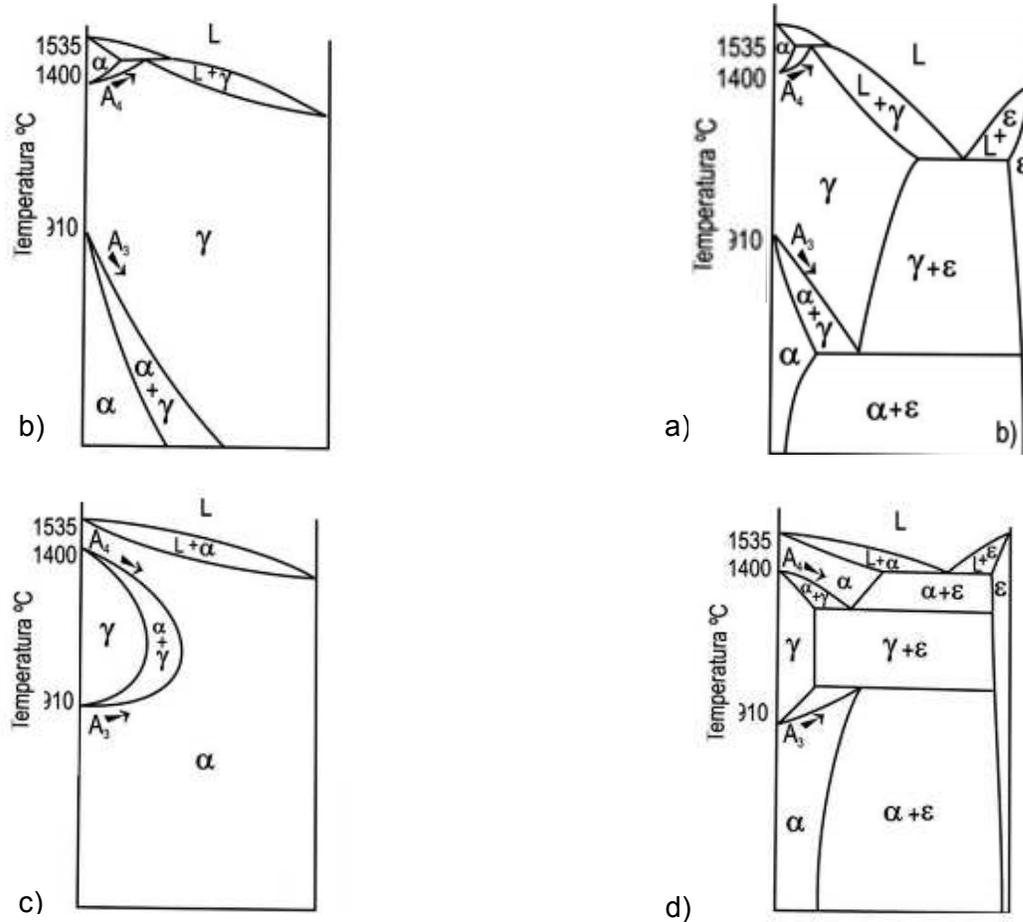


Fig. 1.2. Efectos de las aleaciones de los aceros inoxidable en el diagrama de fases.

(Fuente: elementos aleantes y su influencia en las propiedades de los aceros, 2009)

A_3 : temperatura en decrecimiento

A_4 : temperatura en crecimiento

- a) El contenido de Níquel (Ni), cobalto (Co) y manganeso (Mn) produce que la fase austenita (γ) se abra y se expanda.
- b) El contenido de carbono (C), nitrógeno (N) y Zinc (Zn) permite que se abra y se contraiga la fase austenita (γ).

- c) El contenido de cromo (Cr), aluminio (Al), Silicio (Si), Molibdeno (Mo) produce que la fase ferrítica (α) se cierre y expanda.
- d) El contenido de boro (B), niobio (Nb) permite que se cierre y se contraiga la fase ferrítica (α).

Cuando se habla de abrir o cerrar una fase significa que la temperatura del acero inoxidable va a aumentar o disminuir, respectivamente. Y cuando se expande o se contrae una fase significa que la solubilidad se aumenta o disminuye, respectivamente.

Como se puede observar en la Fig. 1.2., a medida que aumentan o disminuyen los elementos aleantes en un acero, también causa un crecimiento o decrecimiento de la temperatura.

1.2.3. Propiedades de la ferrita

La ferrita identificada con el símbolo alfa (α) tiene un alto contenido de cromo y presenta una estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo (BCC), y en los vértices de este cubo se encuentran los átomos de hierro así como también en el centro del cubo. Entre todas las fases sólidas, la ferrita tiene la característica de ser la más blanda y dúctil. La ferrita es magnética por lo que pueden formar campos magnéticos, también es llamada hierro puro.

El contenido de ferrita disminuye la resistencia al impacto y la dureza cuando el acero se encuentra a temperaturas criogénicas que es el enfriamiento a temperaturas de ebullición del nitrógeno o temperaturas aún más bajas. Debido a su alto contenido de cromo provoca que el material tenga una alta resistencia a la corrosión.

A continuación en la Fig.1.3., se muestra la estructura cristalina de la ferrita.

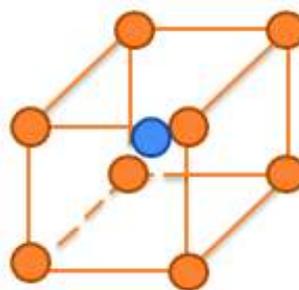


Fig. 1.3. Estructura cristalina de la ferrita. Cubica centrada en el cuerpo (BCC).

(Fuente: Propio.)

Los datos que se exponen en la Tabla 1.2., son datos aproximados, ya que la obtención de estos datos fue a través de estudios experimentales.

Tabla 1.2. Propiedades de la ferrita.

Dureza	90 Brinell
Resistencia a la tracción	20 kg/mm ² (2.7Mpa)
Alargamiento	35%
Libre de los aceros	<0.89% de carbono
Temperatura crítica	911°C

(Características de los aceros inoxidable, 2008)

En la Tabla 1.3., se muestra los tipos de microestructura de la ferrita. En la imagen a) Ferrita morfológica vermicular se presenta generalmente en aceros inoxidable austeníticos con un número de ferrita de 5 – 15, este tipo de ferrita se forma en el enfriamiento de acero. En la imagen b) Ferrita morfológica Laty al igual que la anterior que se presenta en el enfriamiento del acero, cuando dicho acero tiene un número de ferrita entre 13 – 15. En la imagen c) Ferrita con morfología acicular o Widmanstatten, se presenta en aceros que tienen un enfriamiento brusco con un número de ferrita mayor a 15, generalmente se presenta en aceros inoxidable ferríticos.

Tabla 1.3. Propiedades de la ferrita.

a) Ferrita morfológica vermicular	b) Ferrita morfológica Laty	c) Ferrita con Morfología Acicular o Widmanstatten
		

(Welding parameter effects on open-arc stainless steel weld metal ferrite, 1978)

1.2.4. Propiedades del acero ferrítico

En los siguientes ítems se describe las diferentes propiedades más importantes de los aceros ferríticos.

1.2.4.1. Resistencia a la corrosión

Los aceros inoxidable ferríticos tienen una excelente resistencia a la corrosión gracias a su gran contenido de cromo que es aproximadamente de 10.5% a 30%, con un contenido de carbono limitado y con un porcentaje mínimo de aleaciones de aluminio, silicio, titanio, níquel, molibdeno y niobio, este contenido les permite endurecerse cuando se trabaja en frío sin la necesidad de un tratamiento térmico, pero si se les puede aplicar un tratamiento de recocido para aumentar su resistencia a la corrosión.

1.2.4.2. Magnetibilidad

También llamados ferromagnéticos, son aceros netamente magnéticos ya que tienen una distribución de átomos de hierro y cromo por lo tanto son atraídos por un imán, al ser magnéticos se encuentran expuestos al soplo magnético que provoca la desviación del arco.

1.2.4.3. Soldabilidad

Cuando el acero contiene mayor cantidad de carbono tiene menos posibilidades de ser soldado, es por eso que se debe realizar un precalentamiento o un tratamiento térmico después de la soldadura.

1.2.4.4. Fragilidad

El tamaño de grano de estos aceros tiende a crecer exageradamente cuando se encuentra a temperaturas elevadas (450°C – 500°C) provocando su fragilidad, a altas temperaturas puede existir un ataque de hidrógeno, que es la reacción de este hidrógeno con los carburos existentes en la composición del acero y esto provocaría fragilidad en el material.

1.2.4.5. Ductilidad

Son menos dúctiles que los aceros inoxidables austeníticos, debido a su estructura cristalina que es cúbica centrada en el cuerpo de la ferrita. La ductilidad también se reduce debido a la presencia de hidrógeno cambiando su fractura dúctil a fractura frágil, cuando el hidrógeno entra en los espacios vacíos de la estructura cristalina del acero provoca dislocaciones y por ende se reduce la ductilidad.

1.2.4.6. Tenacidad

Su tenacidad es menor en comparación con los aceros inoxidables austeníticos, se reduce debido a que los granos de ferrita son muy pequeños y se produce dislocaciones. La tenacidad depende del tamaño del grano y del tipo de trabajo que se realice en la fabricación.

1.2.4.7. Dureza

La dureza es inversamente proporcional a la ductilidad y la tenacidad, si la dureza y resistencia aumentan pues la ductilidad y tenacidad disminuye. Su dureza es menor que el acero inoxidable austenítico ya que su endurecimiento es por trabajo mecánico o por tratamiento térmico alcanzando mayor dureza.

1.2.5. Tipos de aceros inoxidables ferríticos

Los aceros inoxidables ferríticos pertenecen a la serie 400 de la clasificación general de los aceros inoxidables. Es necesario realizar una sub-clasificación de estos aceros con el fin de conocer la cantidad de aceros existentes en la serie 400, así como también las características, composición química, aplicaciones, etc.

En la tabla 1.4., se describe la composición química de la serie 400 de los aceros inoxidables ferríticos.

Tabla 1.4. Composición química de los aceros SERIE 400 según la Norma AISI-SAE.

	C	Cr	Mo	S	Ti	Ti + Nb	Nb	Al
405	< 0.08	11.5 / 14.5	-	-	-	-	-	0.1 / 0.3
409	< 0.08	10.5 / 11.75	-	-	> 6 x C	-	-	-
410S	< 0.08	11.5 / 13.5	-	-	-	-	-	-
430F	< 0.15	16 / 18	-	< 0.15	-	-	-	-
434	< 0.12	16 / 18	0.75 / 1.25	-	-	-	-	-
436	< 0.12	16 / 18	0.75 / 1.25	-	-	-	> 6 x C	-
439	< 0.07	17 / 19	-	-	> 0.20 + 4 (C+N)	-	-	-
441	< 0.05	17.5 / 18.5	-	-	-	-	> 3 X C + 0.30	-
444	< 0.025	17.5 / 19.5	1.75 / 2.50	-	-	> 0.20 + 4(C+N)	-	-
446	< 0.20	23 / 27	0.75 / 1.50	-	> 7 (C+N)	-	-	-

(Fuente propia)

1.2.5.1 Tipo 405

Estos aceros a más de contener cromo también contienen aluminio para evitar el endurecimiento cuando se realiza enfriamiento desde temperaturas altas. Este acero se utiliza para elementos que no necesiten un recocido después de realizar una soldadura.

1.2.5.2. Tipo 409

Una característica de estos aceros es que contienen titanio para poder estabilizar el carbono y mejorar la soldabilidad, son utilizados cuando se requieren fabricar piezas de no tan alta calidad. Sus aplicaciones son las siguientes: silenciadores, catalizadores y tuberías de escapes de automóviles, contenedores, cajas de tráiler, amortiguadores, etc.

1.2.5.3. Tipo 410S

Este acero es de tipo 410 y evita la formación de austenita a altas temperaturas, por lo que no se endurece y se mantiene suave así se realice un enfriamiento brusco, la cual ayuda a evitar las discontinuidades al momento de soldar; solamente se puede endurecer a través de un tratamiento térmico.

Son muy resistentes a la corrosión en diferentes ambientes como son: en aguas dulces y ácidos minerales, siempre y cuando se haga una adecuada limpieza a su superficie.

1.2.5.4. Tipo 430 F

Aceros de alta resistencia a la corrosión, son maleables al punto de poder ser enrollados. Sus aplicaciones son: Utensilios de cocina, monedas, materiales de construcción, cremalleras, paneles, aparatos científicos, pilas, cubiertas de cajas fuertes, etc.

1.2.5.5. Tipo 434

Aceros que contiene molibdeno que ayuda a mejorar la resistencia a la corrosión por picadura, evita el ataque químico, y la oxidación. Se puede fabricar molduras de autos, hornos de combustión, quemadores de gases, cubiertas, equipos de refinación de combustibles, techos de restaurantes, entre otros.

1.2.5.6. Tipo 436

Aceros que contienen molibdeno que ayudan a mejorar la resistencia a la corrosión y calor. Sus aplicaciones son: para válvulas de bolas flotantes, fachadas, cielos falsos, cortinas metálicas, escaleras, cabinas de ascensores, etc.

1.2.5.7. Tipo 439

Aceros que contienen titanio que ayuda a su soldabilidad, tiene gran resistencia a la corrosión en diferentes ambientes como puede ser desde aguas frescas, cuando se encuentra a altas temperaturas tienen una gran resistencia a la oxidación. Aplicaciones: Tubos de escape de automóviles, intercambiadores térmicos para hornos, etc.

1.2.5.8. Tipo 441

Este tipo de aceros presentan una resistencia a la corrosión intergranular en la zona afectada por el calor (ZAC), estos aceros contienen niobio que ayuda a la resistencia a la ruptura, así como también ayuda a mejorar la ductilidad. Tiene solamente dos tipos de aplicaciones que son: tubos de escape de automóviles y sus componentes.

1.2.5.9. Tipo 444

Estos aceros contienen molibdeno, titanio y niobio que ayuda a mejorar la resistencia a la corrosión por picadura, así como también evita la sensibilidad, la corrosión intergranular y la corrosión bajo tensión de cloruro. Sus aplicaciones son: hornos, microondas, paneles, tubos para conducción de fluidos, secadores, tanques, cocinas industriales, entre otras.

1.2.5.10. Tipo 446

Estos aceros tienen alto contenido de cromo lo que provoca que sean resistentes a la corrosión y resistentes a la descamación del material. Sus aplicaciones son: válvulas, tubos de rayos X, quemadores, etc.

1.2.6. Aceros inoxidables ferríticos en la soldadura

Los aceros inoxidables ferríticos tienen un alto contenido de ferrita y por eso es importante analizar el comportamiento de la ferrita en la soldabilidad de estos aceros.

Tabla 1.5. Efecto de la ferrita en la soldadura.

Ferrita	Consecuencia
5 - 10%	no se produce grietas
0 - 2%	sensibles a agrietarse

(Fuente propia)

A continuación se muestra detalladamente una explicación de la Tabla 1.5., cuando el acero tiene entre el 5 – 8% de ferrita garantiza la resistencia al agrietamiento, cuando se necesita controlar la ferrita en la soldadura se debe controlar la velocidad de enfriamiento de la soldadura, mientras más rápido es el enfriamiento más alto es el contenido de ferrita.

La ferrita en la soldadura muchas de las veces se convierte en un problema sobre todo cuando la soldadura se encuentra a temperaturas criogénicas (material enfriado a la temperatura de ebullición del nitrógeno), ya que por la presencia de ferrita pierde la resistencia al impacto y dureza.

La presencia de ferrita en soldaduras que se encuentran a altas temperaturas también tiende a disminuir la ductilidad en la soldadura debido al excesivo crecimiento de grano que provoca las temperaturas altas a las que están expuestas las partes soldadas.

En la soldadura de aceros inoxidable ferríticos para evitar la corrosión intergranular se necesita hacer un tratamiento térmico (templado) después de haber realizado la soldadura dependiendo de los espesores del área soldada, mientras mayor sea el espesor es más conveniente hacer este tipo de tratamientos.

También es importante verificar las zonas afectadas por el calor ya que después de la soldadura esta zona puede sufrir reducción de la tenacidad por lo que requiere un tratamiento después de la soldadura, este tratamiento puede ser alivio de tensiones.

1.2.7. Problemas en la soldadura

Como ya se había mencionado anteriormente los aceros inoxidable se clasifican en: martensíticos, austeníticos, ferríticos y dúplex.

En este caso se va a realizar la caracterización del acero inoxidable ferrítico ya que dicho acero no tiene las mismas posibilidades de soldabilidad que el resto de aceros ya mencionados.

Cuando se trata de soldar aceros inoxidable ferríticos encontramos varios problemas, uno de ellos es el crecimiento excesivo del grano cuando se encuentran en una temperatura entre 850°C – 900°C, debido a la velocidad de difusión del material a altas temperaturas provocando la reducción de la tenacidad, ductilidad y corrosión en las áreas soldadas. Una de las causas por las que el grano crece de forma excesiva es por la forma de su estructura ya que tiene una estructura centrada en el cuerpo, por consiguiente durante la solidificación

o enfriamiento no existe una transformación de fase. Cuando el grado crece exageradamente provoca que la cristalización del mismo sea baja.

Para evitar el crecimiento de grano es necesario enfriar el cordón de soldadura lentamente, así se mejora la resistencia a la corrosión e incluso logrará que el grano sea totalmente ferrítico. Esto es contrario a los aceros inoxidable austeníticos ya que en los austeníticos se debe enfriar rápidamente para evitar cambios en sus propiedades.

Otro de los problemas de los aceros inoxidable ferríticos es la insuficiente solubilidad en los espacios intersticiales de la estructura cristalina, esto conlleva a la segregación en los límites del grano provocando la disminución de la corrosión intercrystalina, así como también si el acero tiene una cantidad elevada de cromo puede dar lugar a la aparición de la fase ferrítica, la cual provoca que el acero se torne duro y frágil.

Por lo general para obtener un cordón de soldadura libre de discontinuidades se debe realizar un tratamiento de recocido, mejorando ciertas propiedades como son la resistencia a la corrosión y la ductilidad pero empeorando su dureza.

Debido a los problemas que presentan los aceros inoxidable ferrítico es necesario utilizar el diagrama Schaeffler entre otros, estos diagramas son muy útiles para conocer la microestructura del metal base, metal de aporte y cordón de soldadura. Más adelante se explicará detalladamente estos diagramas.

También en la soldadura es necesario calcular el aporte térmico (Q) y se lo hace con la siguiente ecuación:

$$Q = f \times \left(\frac{I \times V \times 60}{v \times 100} \right)$$

Ecuación 1.1. Aporte térmico.

Dónde:

Q = aporte térmico por unidad de longitud (J/m).

I = intensidad de corriente (A).

V = voltaje (v).

v = velocidad de soldadura (m/s).

En la tabla 1.6., se muestra el rendimiento de cada proceso de soldadura para la aplicación en la ecuación 1.1.

Tabla 1.6. Rendimiento dependiente del proceso de soldadura.

Proceso de soldadura	Rendimiento (f)
SAW	0.9 – 1
SMAW	0.75 - 0.8
FCAW	0.70 – 0.8
GMAW	MIG 0.7 – 0.8 MAG
GTAW	0.65

(Aceros inoxidables, 2009)

También es necesario hallar la temperatura de precalentamiento ya que este dato nos ayudará a evitar fracturas en la soldadura, así como también ayuda a disminuir la velocidad de enfriamiento de las piezas soldadas. Hay que tomar en cuenta que la temperatura de precalentamiento se realiza antes de ser soldadas las piezas, y también dicha temperatura debe mantenerse durante la soldadura de las piezas.

La temperatura de precalentamiento para los aceros puede ser calculada a través de varios métodos, en este caso utilizaremos el método de Seferián, ya que este método es el más conocido.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta que el método de Seferián es propiamente utilizado para aceros al carbono, pero realizando un amplio estudio, se pudo deducir que puede ser usado para aceros inoxidables, siempre y cuando el valor obtenido cumpla con el rango de temperatura de precalentamiento recomendado en los aceros inoxidables.

En este caso trabajaremos con acero inoxidable ferrítico, y su temperatura de precalentamiento recomendada se encuentra entre 200°C – 400°C.

Hay que tomar en cuenta que el método de Seferián no trabaja con la energía neta aportada en el proceso de soldadura, por esta razón, la temperatura de precalentamiento resultante va a ser mayor en un 25% - 50% de la necesaria.

A continuación se detalla todas las ecuaciones que se necesitan para hallar la temperatura de precalentamiento a través del método de Seferián:

$$T_p = 350 \times \sqrt{c_{Et} - 0.25}$$

Ecuación 1.2. Temperatura de precalentamiento.

$$c_{Et} = c_{Eq} + c_{Ee}$$

Ecuación 1.3. Carbono equivalente total.

$$c_{Eq} = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{Mo}{13}$$

Ecuación 1.4. Carbono equivalente químico de Seferián.

$$c_{Ee} = 0.005 \times e \times c_{Eq}$$

Ecuación 1.5. Carbono equivalente del espesor.

Dónde:

Mn: cantidad de manganeso (%)

Cr: cantidad de cromo (%)

Ni: cantidad de níquel (%)

Mo: cantidad de molibdeno (%)

e: espesor de la probeta (mm)

T_p: temperatura de precalentamiento (°C)

c_{Et}: carbono equivalente total (%)

c_{Eq}: carbono equivalente químico de Seferián (%)

c_{Ee}: carbono equivalente del espesor (%)

1.2.8. Ventajas y desventajas

1.2.8.1. Ventajas

- Son mayormente soldables que los aceros inoxidable martensíticos.
- Tienen mayor resistencia a la corrosión, ductilidad, maleabilidad, plasticidad, tenacidad que los aceros inoxidable martensíticos.
- Aceros con un 25% – 30% de cromo tienen buena resistencia a la corrosión en ambientes sulfurosos.
- Endurecibles por trabajo en frío y no por tratamiento térmico.
- Su máxima ductilidad y resistencia a la corrosión en la condición de recocido.
- Son magnéticas.
- Bajos costos de fabricación.

- Se pueden usar gases protectores para la soldadura como el argón.
- Pueden ser soldados con cualquier método de soldadura.
- Su soldadura presenta menos discontinuidades que los aceros inoxidable martensíticos.
- La clasificación de aceros inoxidable ferríticos es amplia.
- Tiene una extensa gama de aplicaciones.

1.2.8.2. Desventajas

- Son menormente soldables que los aceros inoxidable austeníticos.
- Tienen menor resistencia a la corrosión, ductilidad, maleabilidad, plasticidad, tenacidad que los aceros inoxidable austeníticos.
- Son sensibles en diferentes ambientes como son: ácido sulfhídrico (H_2S), cloruro de amonio (NH_4CL), nitrato de amonio (NH_4NO_3).
- Aceros menores a 10.5% de cromo son susceptibles a medios agresivos por lo que son llamados aceros inoxidable al agua.
- Puede aumentar el tamaño del grano bruscamente a temperaturas elevadas.
- Se puede producir fragilidad a una temperatura de $475^{\circ}C$.
- A temperaturas criogénicas la ferrita afecta a las propiedades del acero.
- Ya que se encuentran cerca del bucle gamma pueden no ser aceros completamente ferríticos.
- Son susceptibles a la corrosión intergranular.
- Invulnerable a la corrosión bajo tensión.
- Escasa conductividad térmica.

1.2.9. Aplicaciones

- Sistemas de escapes de automóviles.
- Cajas de condensadores.
- Utensilios domésticos (vasijas, cubiertos).
- Electrodomésticos (Heladerías, microondas, hornos, lavadoras, cocinas).
- Cuerpos de catalizador y silenciador.

- Ascensores.
- Campanas.
- Tubos de intercambiadores de calor.
- Recipientes para la industria química.
- Adornos arquitectónicos.
- Tanques de radiadores.
- Alcantarillas.
- Cámaras de combustión.
- Tanques de agua caliente.
- Convertidores catalíticos.

1.3. Características del acero inoxidable ferrítico 410S

En este proyecto se utiliza como material base al acero inoxidable ferrítico 410S y en el ANEXO II se indica el certificado de inspección del material.

1.3.1. Características

El acero 410S es una modificación de la aleación 410, que convierte a este acero en un acero inoxidable ferrítico, al ser modificado también cambian sus propiedades y una de las más importantes es que es bajo en carbono logrando minimizar la formación de austenita en altas temperaturas, lo cual, evita que el material se endurezca.

El acero 410S es blando y dúctil, que ayuda a evitar grietas en el material a altas temperaturas, este acero es alto en resistencia a la corrosión. Y cuando pasa por un proceso de recocido se convierte en un acero 100% ferrítico.

1.3.2. Fabricación

- Los aceros ferríticos de baja aleación pueden fabricarse mediante el horno eléctrico de hogar abierto, u horno básico de oxígeno, con procesos separados de desgasificación y refinación en cada caso.
- El acero inoxidable se fundirá mediante uno de los siguientes procedimientos:

1. Horno eléctrico (con la opción de procesos separados de desgasificación y refinación.
 2. Horno vacío.
- El material se forjará lo más cerca posible de la forma y el tamaño especificados.

1.3.3. Tratamiento térmico

- El material debe estar a una temperatura de 1000 °F [538 °C], antes de realizar un tratamiento térmico.
- La sección del tratamiento térmico será a elección del fabricante, a menos que se indique lo contrario en el orden de compra.
- Tiempo de tratamiento térmico: El tratamiento térmico de los forjados puede realizarse antes del mecanizado.

1.3.4. Composición química y propiedades mecánicas

- Los ensayos Charpy deberán alcanzar un valor mínimo de absorción de energía de 40 ft-lbf [54 J] promedio de tres ejemplares. Un espécimen sólo en un conjunto puede ser inferior a 40 ft-lbf [54 J], y deberá cumplir un valor mínimo de 35 ft-lbf [48 J].
- La temperatura del ensayo de impacto será de 0 °C -18 °C.

La certificación de la cual se obtuvo las propiedades más importantes se encuentran en el siguiente anexo II.

1.3.5. Soldabilidad

La soldabilidad en estos aceros es más compleja que los aceros martensíticos, esto se debe a que el acero 410S contiene otro tipo de aleaciones que son necesarias para aumentar la resistencia a la corrosión.

Para estos aceros se recomienda soldar con el proceso de soldadura SMAW, ya que es uno de los métodos más comunes y sencillo de realizar.

La Norma ASTM A240, recomienda que su soldabilidad sea con un material de aporte 430 si se trata de soldar con materiales similares. Pero cuando se debe soldar materiales disimiles

se recomienda soldar con electrodos 309 o 308L, ya que estos electrodos tienen características similares a los electrodos 430.

1.3.6. Aplicaciones

- Intercambiadores de calor
- Válvulas
- Bandas de destilación
- Equipos de minerías, etc.

1.4. Diagrama de Schaeffler

El diagrama de Schaeffler es utilizado para los diferentes aceros inoxidable existentes, en este caso se hará el estudio para el acero inoxidable ferrítico. Y nace por la necesidad de analizar uniones soldadas de aceros disimiles, ya que es necesario que los componentes de los cordones de soldadura resulten semejantes a los componentes de los aceros soldados. Generalmente en construcciones se utilizan diferentes metales para ser soldados, en donde estos metales no siempre tienen las mismas características, debido a su composición o su forma de fabricación; por lo que es necesario realizar un análisis minucioso del comportamiento de su microestructura.

Por ejemplo en la industria, en la construcción de maquinaria para la transformación de energía se utiliza mucho la soldadura de aceros disimiles, debido al importante funcionamiento que brinda este tipo de maquinarias, es necesario hacer el estudio de cada uno de los cordones soldados de las diferentes uniones de metales disimiles, y una de las formas que nos garantiza su correcto funcionamiento y sobre todo evitar accidentes en los trabajadores; es regirse a las especificaciones de cada uno de los catálogo de los aceros a ser soldados, así como también la utilización de diagramas, ensayos destructivos y no destructivos de los materiales que serán soldados; con estos estudios se podrá determinar la microestructura del metal base, metal de aporte y cordón de soldadura.

Para esto se necesita conocer la composición química del metal de aporte y del metal base a través de la siguiente ecuación:

$$(Creq) = \%Cr + \%Mo + 1.5\%Si + 0.5\%Nb + 2\%Ti$$

Ecuación 1.6. Cromo equivalente.

$$(Nieq) = \%Ni + 30\%C + 0,5\%Mn$$

Ecuación 1.7. Níquel equivalente.

Dónde:

Creq: cromo equivalente (%)

Nieq: níquel equivalente (%)

Los resultados de cromo y níquel equivalente pueden tener una tolerancia de $\pm 10\%$ de su medida real. Los resultados de las ecuaciones 1.6. y 1.7 deberán ser graficados en el diagrama de la Fig. 1.4., en dicha figura se puede observar un ejemplo de cómo serán graficados los resultados hallados.

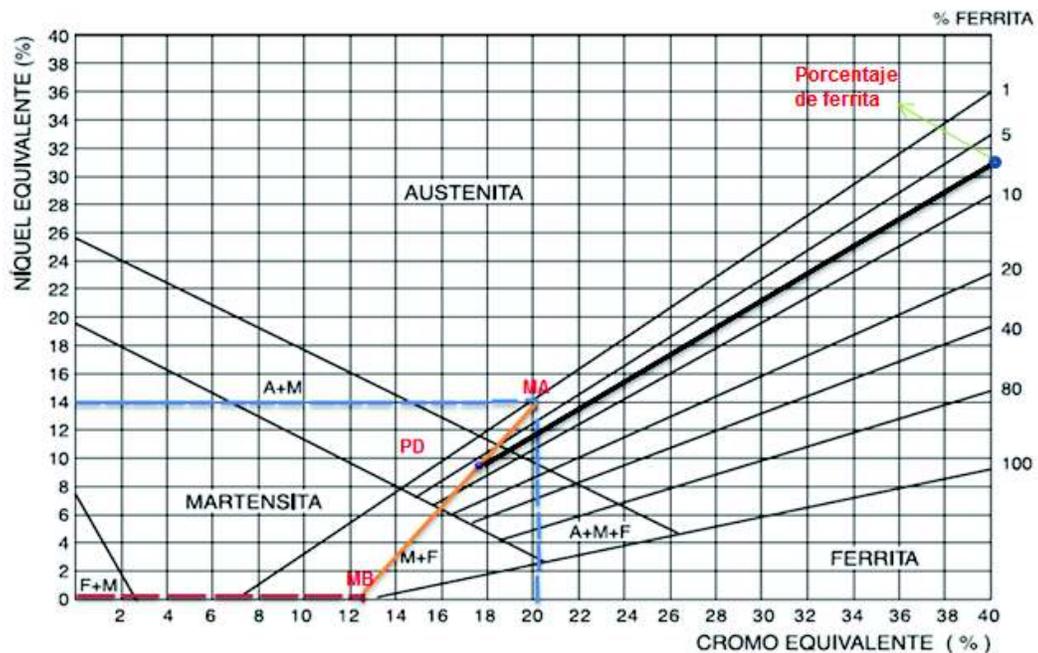


Fig. 1.4. Diagrama de Schaeffler.

(Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/7-aceros-inoxidables/>)

1.4.1. Procedimiento para usar el diagrama Schaeffler

El diagrama consta de tres ejes: dos ejes verticales y un eje horizontal, en el eje horizontal están los porcentajes de cromo, en el eje vertical izquierdo están los porcentajes de níquel y

en el eje vertical derecho están los porcentajes de ferrita. También se puede observar en la Fig.1.4., diferentes fases como son: la fase austenita, martensita, ferrita, ferrita-martensita (F+M), austenita-martensita (A+M), martensita-ferrita (M+F), austenita-martensita-ferrita (A+M+F).

A continuación se describe el procedimiento para determinar los porcentajes de cromo y níquel en el diagrama de Schaeffler.

1. Determinar el porcentaje de cromo y níquel del material base y material de aporte con las ecuaciones 1.6. y 1.7.
2. En el diagrama de Schaeffler encontramos un primer punto (MA) que halla con los valores de los porcentajes de cromo y níquel del metal de aporte.
3. En la diagrama de Schaeffler encontramos un segundo punto (MB) que se halla con los valores de los porcentajes de cromo y níquel del metal base.
4. Después se une los puntos MA y MB y se forma una recta.
5. El punto de dilución (ecuación 1.8) se debe colocar en la recta MA-MB, este punto se lo grafica a partir del punto MA hacia el punto MB. Hay que tomar en cuenta que el punto de dilución se expresa en porcentaje, por ende se asume que la recta MA-MB representa el 100%, se representa con estas unidades con el fin de facilitar la ubicación del punto de dilución.
6. Ya graficado el punto de dilución, se puede encontrar el porcentaje de ferrita que contiene el cordón de soldadura, como se puede observar en la Fig.1.4., así como también se conocer el tipo de microestructura del cordón de soldadura.

En el diagrama de Schaeffler también podemos hallar el porcentaje de ferrita del metal base, metal de aporte y cordón de soldadura, este porcentaje se encuentra en el eje vertical derecho, La forma de hallar este punto se puede observar en la Fig. 1.4.

El punto de dilución (PD) es la cantidad de fusión que existe entre el material base y material de aporte, determinando así las nuevas propiedades y microestructura del cordón de soldadura. En si este punto determina la cantidad de material base y aporte que contendrá el cordón de soldadura.

El resultado del grado de dilución será expresado en porcentaje, el valor de este punto depende del tipo de soldadura, electrodo, amperaje y voltaje de la máquina de soldadura, se utiliza un amperaje acorde a los metales que se van a soldar y estos amperajes se encuentra especificados en la norma ASME sección IX.

Después de que se haya hallado el punto de dilución (PD) se debe graficar en la recta MA-MB que se encuentra en el diagrama de Schaeffler así como lo muestra la Fig. 1.4.

Los cálculos para el grado de dilución depende del bisel que se vaya a realizar en la soldadura, en este caso para aceros inoxidable soldados con proceso SMAW, la Norma ASME sección IX recomendando un bisel en V como se puede observar en la Fig.1.5., el grado de dilución se calcula con la siguiente fórmula:

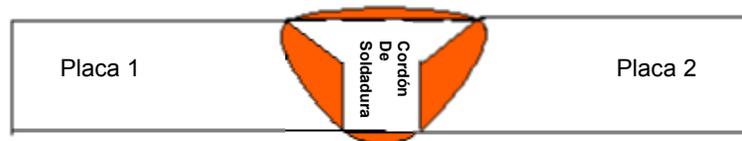


Fig. 1.5. Unión de soldadura con bisel en V.

(Fuente: Propio)

En la Fig.1.6., se muestra el detalle ampliado del cordón de soldadura.

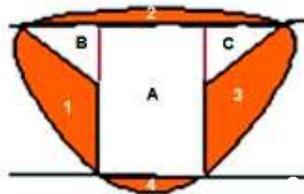


Fig. 1.6. Ampliación del cordón de soldadura.

(Fuente: Propio)

$$\% \text{ dilución} = \frac{\text{área sombreada}}{\text{área total del cordón de soldadura}} \times 100$$

Ecuación 1.8. Porcentaje de dilución para uniones de soldadura con bisel en V.

$$\text{área sombreada} = \text{área 1} + \text{área 2} + \text{área 3} + \text{área 4}$$

Ecuación 1.9. Fórmula para la sumatoria de áreas sombreadas.

$$\text{área total del cordón de soldadura} = \text{área sombreada} + \text{área A} + \text{área B} + \text{área C}$$

Ecuación 1.10. Fórmula del área total del cordón de soldadura.

Datos:

$$\text{área 1} = \text{área 2} = \text{área 3} = \text{área 4} = \frac{b * h}{2} \text{ (mm)}$$

$$\text{área A} = b * h \text{ (mm)}$$

$$\text{área } B = \text{área } C = \frac{b * h}{2} \text{ (mm)}$$

Debido a la compleja geometría del cordón de soldadura, se asumirá que las áreas sombreadas tienen forma rectangular, con el fin de facilitar los cálculos.

1.5. Diagrama de Long

El diagrama de Long, es un diagrama que determina el número de ferrita (NF) de un acero inoxidable con una precisión mayor al diagrama de Schaeffler. Ya que en el diagrama de Schaeffler se obtiene este dato en porcentaje, lo cual es un dato impreciso, es por eso que se ve la necesidad de utilizar un nuevo diagrama que muestre su resultado con menor probabilidad de error.

Es necesario observar en el diagrama de Long las escalas numéricas tanto horizontal y vertical que representan el contenido de cromo y níquel equivalente respectivamente, notando que las escalas no empiezan desde cero, en la escala horizontal empieza en 16% y en la escala vertical empezar en 10%, es por eso que este diagrama se utiliza solamente para aceros inoxidables que contengan cromo y níquel equivalente mayores a los valores ya mencionados. Por lo general se utiliza para aceros inoxidables austeníticos y martensíticos.

Hay que tomar en cuenta que en las fórmulas utilizadas en el diagrama de Schaeffler no se incluye el porcentaje de nitrógeno, y este elemento es muy importante en el caso de aceros inoxidables austeníticos ya que el nitrógeno permite disminuir la velocidad de enfriamiento. Por esta razón es necesario utilizar el diagrama de Long, porque en las fórmulas utilizadas para este diagrama si se usa el porcentaje de nitrógeno.

En el caso de los aceros inoxidables ferríticos, no hay ningún problema con el diagrama de Schaeffler, debido a que estos aceros no contienen nitrógeno. Por ende no afecta en los cálculos.

El diagrama de Long consta de tres zonas que son: zona austenítica, zona austenítica-ferrítica y zona austenítica-martensita. Y una línea divisoria entre el diagrama de Schaeffler y el diagrama de Long, como se puede observar claramente en la Fig. 1.7.

En el libro de Lefebvre ⁽²⁰⁾, indica que un número de ferrita (NF) entre 5 - 15 en un acero inoxidable austenítico, ayuda a evitar el agrietamiento y la oxidación del acero en caliente, también mejora las características mecánicas del material.

Para determinar el número de ferrita (NF), se debe utilizar las siguientes formulas:

$$(C_{req}) = \% Cr + \% Mo + 1.5\% Si + 0.5\% Nb$$

Ecuación 1.11. Cromo equivalente.

$$(N_{ieq}) = \% Ni + 30\% C + 30\% N + 0,5\% Mn$$

Ecuación 1.12. Níquel equivalente.

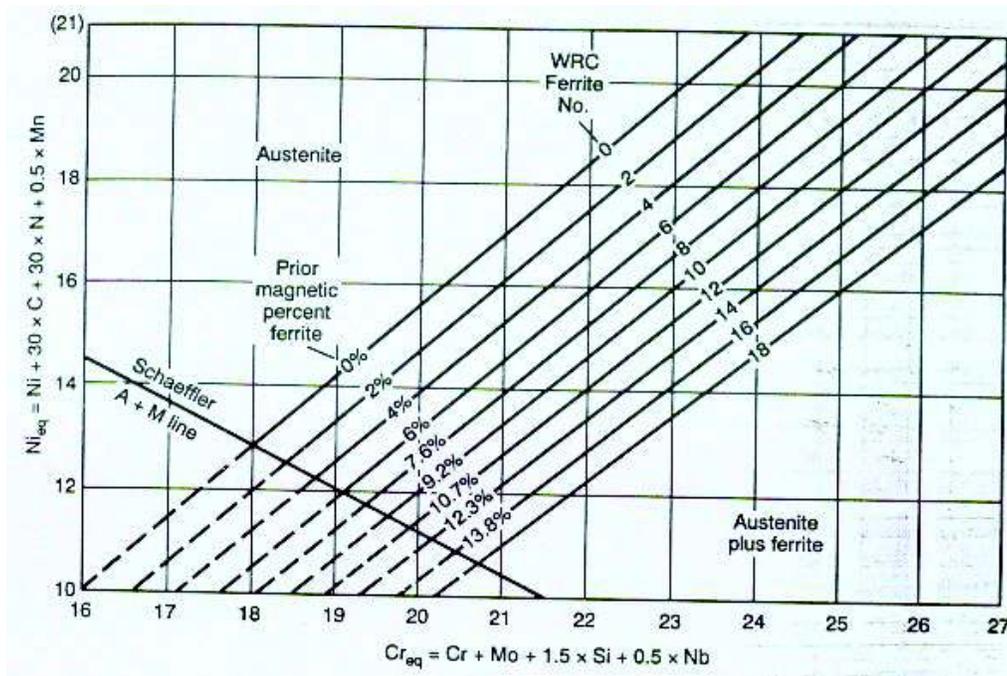


Fig. 1.7. Diagrama de Long para aceros inoxidables.

(Fuente: <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=121#top>)

1.6. Diagrama WRC (diagrama constitucional para metales de soldadura de aceros inoxidables)

El diagrama WRC es un diagrama que se usa para el cálculo del número de ferrita (NF) en los aceros inoxidables, al igual que el diagrama de Schaeffler y el diagrama de Long, con la diferencia que este diagrama muestra una respuesta más exacta que los anteriores.

El procedimiento gráfico para este diagrama es el mismo que se realiza para el diagrama de Schaeffler y de Long. Pero con diferentes fórmulas, en este diagrama toma en cuenta la cantidad de cobre que contienen los aceros inoxidables.

Como se puede observar en la Fig. 1.8., el diagrama WRC consta de dos ejes: un eje vertical que representa el contenido del níquel equivalente y un eje horizontal que representa el contenido de cromo equivalente, también contiene un sin número de líneas que representa el número de ferrita (NF), y cuatro zonas que son: austenítica (A), austenítica-ferrítica (AF), ferrítica-austenítica (FA) y ferrítica.

- La zona (A) representa una transformación complemente austenítica.
- La zona (AF) indica que inicialmente hay una transformación austenítica para luego iniciar una transformación ferrítica, obteniendo una estructura interdendrítica.
- La zona (FA) indica que inicialmente hay una transformación ferrítica para después convertirse en austenita a través de una reacción de difusión limitada, obteniendo una estructura vermicular.
- La zona (F) representa una transformación completamente ferrítica.

Observando la Fig.1.8., se nota que la escala de los ejes no empieza desde cero al igual que el diagrama de Long, aproximadamente el eje horizontal que es el eje de cromo equivalente empieza desde 17% y en el eje vertical que es el eje del níquel equivalente empieza desde 9%.

Por esta razón este diagrama se utiliza para aceros inoxidable que contengan cromo y níquel equivalente mayores o iguales a los números de los ejes ya mencionadas.

Para graficar en este diagrama se debe calcular el cromo equivalente y el níquel equivalente de los materiales que se requiera saber el número de ferrita (NF), con las siguientes formulas:

$$(Creq) = \% Cr + \% Mo + 0.7\% Nb$$

Ecuación 1.13. Cromo equivalente.

$$(Nieq) = \%Ni + 35\%C + 20\%N + 0,25\%Cu$$

Ecuación 1.14. Níquel equivalente.

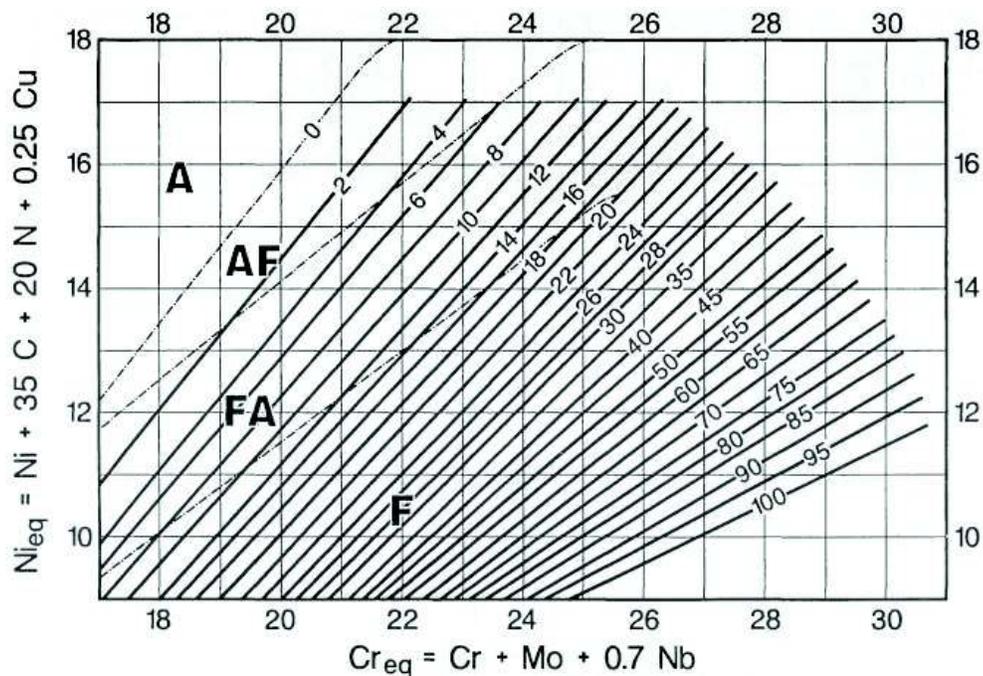


Fig. 1.8. Diagrama de Long para aceros inoxidables. La predicción de FN sólo es exacta para composiciones de soldadura que caen dentro de los límites de las líneas 0-100 FN.

(Fuente: Siewert, T. A., McCowan, C. N., and Olson, D. L. Ferrite number prediction to 100 FN in stainless steel weld metal.)

1.7. Material de aporte

Son llamados también electrodos, para la soldadura de los aceros inoxidables ferríticos cualquier tipo de electrodos es conveniente ya que su comportamiento con respecto a la corrosión es el adecuado en estos aceros, es decir, no causa ningún efecto negativo en el acero con respecto a la corrosión. Pero si presenta problemas cuando se habla de absorción de energía, esfuerzo de fluencia, ductilidad.

1.7.1. Selección del electrodo

1.7.1.1. Antes de la soldadura

La selección de electrodos es importante ya que de acuerdo a los parámetros que cumpla el electrodo seleccionado va a depender la calidad del cordón de soldadura, entre los factores que hay que tomar en cuenta son los siguientes:

1. Tipo, forma, espesor del metal base.
2. Posición en la cual se va a soldar.
3. Diseño de la junta.
4. Tipo de corriente para la soldadura.
 - Amperaje.
 - Voltaje.
 - Alterna / Continua.
 - Polaridad.
5. Condiciones del operador.

1.7.1.2. Después de la soldadura

A más de los factores mencionados anteriormente también es necesario tomar en cuenta algunas especificaciones para los electrodos revestidos al momento de soldar y son las siguientes:

- El arco debe ser corto evitando que el revestimiento del electrodo toque con el charco del metal fundido.
- La velocidad de avance del arco debe ir acorde al diámetro del electrodo, ya que la forma final del cordón depende de esta velocidad.
 - A mayor velocidad de avance produce un cordón angosto y plano.
 - A menor velocidad de avance produce un cordón ancho y sobre-montado.
- La oscilación del arco debe ser 4 veces mayor al diámetro del electrodo, cuando la oscilación es mayor que lo indicado para compensar esta acción se debe disminuir la velocidad.

Las condiciones antes y después de la soldadura se deben tomar en cuenta para evitar que el material depositado en el cordón de soldadura se salga de la atmósfera del gas protector producido por el revestimiento.

1.7.1.3. Composición química

Otro factor que hay que tomar en cuenta es la composición química del electrodo con el fin de conocer los porcentajes de los elementos químicos que compone al electrodo, así se

podrá comparar con los porcentajes del material base y elegir un electrodo adecuado que contenga porcentajes similares al de material base.

De todos los elementos químicos que componen el metal de aporte los más importantes son el cromo y níquel y para esto es importante aplicar las ecuaciones 1.6. y 1.7, y realizar el mismo procedimiento que en el metal base hasta obtener el porcentaje total de cromo y níquel.

1.7.2. Tipos de material de aporte

Tabla 1.7. Características de ciertos electrodos-proceso SMAW según la Norma AWS A5.4.

TIPO DE SOLDADURA	ACEROS	ELECTRODOS	CARACTERÍSTICAS	AMPERAJES			APLICACIONES		
SMAW (soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido)	Tipo 405	E410-15	económico	Diámetro (mm)	3.2	4	4.8	revestimientos de asientos de válvulas para gas, agua y vapor	
			excelente suelda en todas las posiciones						
	Tipo 409		No produce salpicadura	Amperaje	110-140	130-180	170-220		para recupera alabes o paletas de cualquier tipo de turbinas
			Resistente a la corrosión y cavitación						para unir aceros al cromo de este mismo tipo
			deposita 125% del peso del alambre						
	Tipo 430		E410-16	resistentes a la corrosión, erosión y abrasión	Diámetro (mm)	3.2	4		4.8	superficies de rodillos de acero para laminación
		se endurece al aire y requiere un precalentamiento		para hornos y piezas de quemadores					
	Tipo 434	se puede soldar en todas las posiciones		Amperaje	85-110	110-140	120-160	para partes de turbinas	
	Tipo 436	E430-15	bajo contenido de hidrógeno	Diámetro (mm)	3.2	4	4.8	para sedes de válvulas, rotores y armaduras de bomba	
			Electrodo que contiene molibdeno (Mo = 1.5)					para palas de turbinas de hidroeléctricas	
			para recubrimientos anti-corrosivos resistentes a la agua, vapor, gas y soluciones alcalinas	Amperaje	110-140	130-180	170-240	recubrimientos de ejes y semi-maquinables recuperación de bamboses en la industria de caucho	
	Tipo 442	E430-16	resistente a la oxidación y corrosión contra el agua de mar y los ácidos diluidos	Diámetro (mm)	2.5	3.2	4	para recargues en partes impermeables de griferías, armaduras de vapor	
			resistente a la llama en aire y bajo gases oxidantes					uniones de aceros ferríticos de cromo	
			recomienda un precalentamiento desde 150- 300°C, dependiendo del espesor	Amperaje	60-90	80-120	120-160	para armaduras de gas	

(Fuente propia)

La Norma AWS A5.4., presenta la siguiente designación para electrodos revestidos:

E XXX-YZ

Dónde:

E: electrodo revestido.

XXX: resistencia a la tensión del depósito de soldadura x1000lb/pulg².

Y: posición de soldadura.

- 1.Todas
- 2.F-H (plana-horizontal)
- 3.F (plana)
- 4.VD (vertical descendiente)

Z: tipo de revestimiento (del 0 al 8).

- 0 (celulosa, sodio, CC⁺)
- 1 (celulosa, potasio, CA/CC⁺)
- (titanio, sodio, CA/CC⁻)
- (titanio, potasio, CA/CC^{+ -})
- (polvo de hierro, titanio, CA/CC⁺)
- (bajo hidrógeno, potasio, CC⁺)
- (bajo hidrógeno, óxido de hierro, CA/CC⁺)
- (polvo de hierro, óxido de hierro, CA/CC^{+ -})
- (polvo de hierro, bajo hidrógeno, CA/CC⁺)

Tabla 1.8. Composición química de ciertos electrodos-proceso SMAW según la Norma AWS A5.4.

ELECTRODO	COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)			
	C	Si	Mn	Cr
E410-15	0.07	0.3	0.5	12.4
E410-16	0.08	0.4	1	12.2
E430-15	0.08	0.4	0.3	17
E430-16	0.05	0.5	0.6	17

(Fuente propia)

Tabla 1.9. Características de ciertos electrodos proceso GMAW según la Norma AWS A5.9.

TIPO DE SOLDADURA	GAS PROTECTOR	ACEROS	ELECTRODOS	CARACTERÍSTICAS	AMPERAJES			APLICACIONES
					Díámetro (mm)			
GMAW (soldadura por arco metálico con gas protector)	100% ARGÓN	aceros inoxidables ferríticos	ER410	para soldadura de aceros inoxidables de composición similar	1.6	2.4	3.2	Recubrimiento de rodillos de laminación
				resistentes a la corrosión erosión y abrasión	ED035244	ED035245	ED035246	Hornos y piezas de quemadores
				se endurece con el aire y necesita un precalentamiento	60-85	120-175	150-220	Partes de turbina
			ER430	buena ductilidad	0.23	0.3	0.3	para los recubrimientos y térmica pulverización
				resistente a la corrosión	10	25	50	
				necesita un precalentamiento	250-450	300-500	400-600	

(Fuente propia)

La Norma AWS A5.9., presenta la siguiente designación para electrodos del proceso GMAW.

ER-XXX(X)-X

Dónde:

E: electrodo metálico consumible.

R: varilla.

XXX: tipo de acero inoxidable.

X: composición química de los electrodos.

La Norma AWS A5.4., presenta la siguiente designación para electrodos del proceso MIG.

E-XXX(X)-X

Dónde:

E: electrodo metálico consumible.

XXX: tipo de acero inoxidable.

X: composición química de los electrodos.

Tabla 1.10. Composición química de ciertos electrodos-proceso GMAW según la Norma AWS A5.9.

ELECTRODO	COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)							
	C	Si	Mo	Cr	Ni	Mn	P	S
ER410	0.08	0.68	-	13	-	0.71	0.019	0.012
ER430	0.07	0.36	0.1	16.5	0.25	0.44	0.014	0.01

(Fuente propia)

Tabla 1.11. Características de ciertos electrodos proceso FCAW según la Norma AWS A5.22.

TIPO DE SOLDADURA	GAS PROTECTOR	ACEROS	ELECTRODOS	CARACTERÍSTICAS	PARÁMETROS			APLICACIONES
FCAW (soldadura por arco con núcleo fundente)	100% CO ₂	aceros inoxidables ferríticos	E71T-1C	alambre tubular para toda posición	Diámetro (mm)	1.2	1.6	es muy empleado en la fabricación de puentes
				tiene mejores propiedades de impacto	Polaridad	corriente continua		para estructuras offshore
					Amperaje(A)	140-280	200-420	
				excelente resistencia a la fisuración y sopladura	Voltaje (V)	24-31	25-35	para maquinarias de plantas químicas
				El contenido de hidrógeno difusible es bajo como los tipos de electrodos de bajo hidrógeno	Flujo de gas	19-33		para piezas de vehículos
	no requiere gas protector		E308LTJ-3	excelente soldabilidad	Diámetro (mm)	2.4	2.8	para soldadura de unión y relleno de aceros inoxidables estabilizados
				Alambre tubular autoprotectido, para aplicarse mediante el proceso de Arco Abierto	Polaridad	corriente continua		para la fabricación de tolvas, chutes, molinos, tanques, carretas, lampones, cucharas de palas y de cargadores frontales, etc.
				el metal depositado corresponde a un acero inoxidable austenítico	Amperaje(A)	220-430	350-550	
				los cordones de soldadura son planos	Voltaje (V)	26-32	28-34	se utiliza en la industria minera, ladrillera, cementera y otras
	libre mordeduras, excelente acabado y poros		Flujo de gas	-				
	100% CO ₂		E308LTJ-1	trabaja en todas las posiciones de soldadura	Diámetro (mm)	1.2	1.6	para la soldadura de unión y relleno de aceros inoxidables estabilizados
				excelente desprendimiento de escoria	Polaridad	corriente continua		para soldadura de unión y relleno de aceros inoxidables no estabilizados
no presenta salpicaduras		Amperaje(A)		130-220	150-330			
a buena resistencia a la corrosión intergranular por su bajo contenido de carbono.		Voltaje (V)		24-33	24-34	fabricación de tolvas, chutes, molinos, tanques, carretas, lampones		
	Flujo de gas	15-25	20-40	se utiliza en la industria minera, ladrillera, cementera				

(Fuente propia)

La Norma AWS A5.22., presenta la siguiente designación para electrodos revestidos:

EXXXL TX-X

Dónde:

E: electrodo.

XXX: composición química del metal soldado.

L: bajo contenido de carbono.

T: electrodo tubular.

X: posición de soldadura.

- Todas las posiciones.
- Plana-horizontal.

X: capacidad de uso y rendimiento.

- Gas de protección es CO₂.
- Gas de protección es 98% Argón-2% Oxígeno
- No necesita gas de protección.
- Generalmente el gas de protección indurmig 20.
- Gas de protección es 10% argón.

En la reciente versión ANSI/AWS se elimina la clasificación EXXXL TX-2, ya que la combinación de la cubierta de escoria y este gas de protección se encontró inapropiada para FCAW.

Tabla 1.12. Composición química de ciertos electrodos-proceso FCAW según la Norma AWS 5.22.

ELECTRODO	COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)							
	C	Si	Mo	Cr	Ni	Mn	P	S
E71T-1C	0.05	0.5	-	-	-	1.28	0.013	0.009
E308LTO-3	0.015	0.6	-	20.2	9.7	1.5	0.025	-
E308LT1-1	0.029	0.56	0.06	19.5	10	1.63	0.025	-

(Fuente propia)

Tabla 1.13. Características de ciertos electrodos proceso SAW según la Norma AWS A5.9.

TIPO DE SOLDADURA	FUNDENTE	ACEROS	ALAMBRES	CARACTERÍSTICAS	PARÁMETROS				APLICACIONES							
SAW (soldadura por arco eléctrico sumergido)	EIF 60	aceros inoxidables ferríticos	E18K	alambres sólido de acero al carbono	Diámetro (mm)	2.4	3.2	4	4.8	para la unión de aceros estructurales						
				buena tolerancia a contaminantes, resistente a la fisura						construcción de tanques de almacenamiento y tuberías						
				esta cubierto por una película de cobre que previene la oxidación						construcción de barcos y ruedas de vehículos						
	E1A 72 y E1A76			E1M12K	soldabilidad sobresaliente	Polaridad	corriente continua o alterna				construcción y unión de vigas y puentes					
					cordón de soldadura suave y terso						construcción de tanques y recipientes de alta seguridad					
					nivel de silicio y magnesio adecuados						trabajos que requieran buena ductilidad					
				E1M13K	limpieza fácil						Amperaje(A)	350-450	425-525	475-575	525-650	construcción de tuberías de agua potable
					tolerantes a la contaminación superficial											fabricación de vagones de ferrocarril
					limpieza fácil											construcción de estructuras de puentes y edificios
					conserva sus propiedades mecánicas sin importar las condiciones del metal base	Voltaje (V)	27-30									

(Fuente propia)

La Norma AWS A5.9 presenta la siguiente designación para electrodos revestidos:

EX-XX-X

Dónde:

E: electrodo continuo.

X: % Mn en la soldadura.

- L: bajo (0.3%-0.6%).
- M: medio (0.85%-1.25%).
- H: alto (1.75%-2-25%).

XX: %C, propiedad mecánica.

X: condición de fabricación de alambre.

- K: recocido.

Tabla 1.14. Composición química de ciertos electrodos-proceso SAW según la Norma AWS A5.9.

ALAMBRE	COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)					
	C	Si	Co	Mn	P	S
EL8K	0.1	0.10-0.25	0.35	0.25-0.60	0.03	0.03
EM12K	0.05-0.15	0.10-0.35	0.35	0.80-1.25	0.03	0.03
EM13K	0.06-0.16	0.35-0.75	0.35	0.9-1.4	0.03	0.03

(Fuente propia)

La Norma AWS A5.9., presenta la siguiente designación para electrodos revestidos:

F-X-Y-Z

Dónde:

F: fundente.

X: resistencia a la tracción en el cordón de soldadura por 1000 PSI.

Y: con tratamiento térmico (P), sin tratamiento térmico (A).

Z: temperatura a la que se realiza el ensayo de tenacidad.

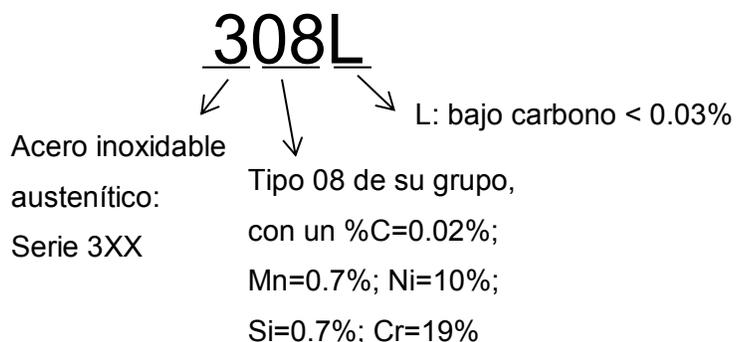
Tabla 1.15. Características de ciertos fundentes para el proceso SAW según la Norma A5.9.

TIPO DE SOLDADURA	ACEROS	FUNDENTES	CARACTERÍSTICAS	PARÁMETROS	APLICACIONES	
SAW (soldadura por arco eléctrico sumergido)	aceros inoxidables ferríticos	EIF 60	fundente fundido de tipo vidrioso que no absorbe humedad fácilmente	Resistencia a la tensión (MPa)	430-560	se utiliza en la industria metalmecánica
			son fáciles de retirar la escoria y con un acabado suave	Límite elástico (MPa)	330	unión de vigas y estructuras tipos H y J
			es un fundente reciclable	Elongación (%)	27	fabricación de tarques de agua de almacenamiento
		EIA 72	fundente aglomerado de tipo básico	Resistencia a la tensión (MPa)	480-660	unión de vigas y estructuras tipos H y J
			gran resistencia al impacto, y genera uniones dúctiles			construcción de edificios, puentes, plataformas
			puede trabajar en superficies sucias	Límite elástico (MPa)	400	utilizados en la metalmecánica y construcción
		EIA 76	fundente aglomerado de tipo básico	Elongación (%)	22	fabricación de tarques de agua de almacenamiento
			gran resistencia al impacto, y genera uniones dúctiles con cargas dinámicas y estáticas			
			fácil de retirar la escoria			

(Fuente propia)

1.8. Características del material de aporte 308L

En este proyecto se usará como material de aporte el electrodo 308L para la soldabilidad del material base 410S, ya que según las características y aplicaciones de este material de aporte se acoplan con el acero 410S. A continuación las características del electrodo 308L:



1.8.1. Características

- El material de aporte es un electrodo inoxidable austenítico con aporte rutilicos para aceros inoxidables austeníticos y ferríticos.
- Una de sus características es que presenta una buena apariencia de cordón de soldadura, en donde su escoria se puede eliminar fácilmente.
- Este tipo de electrodos se suelda como CC o CA, pero es recomendable usar maquinas con CC que ayudan a estabilizar el arco.
- Este electrodo se puede soldar en cualquier posición excepto la posición vertical descendente.
- Este tipo de aceros se usa para soldar aceros inoxidables austeníticos como son el 310, 302, 304, 308 y para aceros inoxidables ferríticos como es el 410S.
- En si con este tipo de electrodos se puede soldar todo tipo de aceros que tenga alta resistencia a la corrosión y oxidación.
- Son económicamente baratos.

1.8.2. Aplicaciones

- Calderas
- Tuberías
- Estructuras metálicas, etc.

1.9. Selección del proceso de soldadura

Cuando se trata de soldar dos materiales ya sean disimiles o no, es importante elegir correctamente el método de soldadura que se va a utilizar, con el fin de evitar discontinuidades y defectos en el cordón de soldadura. Sin embargo independientemente del método de soldadura que se elija, estos dependen de otros parámetros como son amperaje, voltaje, espesor de las piezas, etc. A continuación se muestra ciertos factores generales que hay que tomar en cuenta para elegir el método de soldadura a ser utilizada:

1.9.1. Parámetros para la selección de soldadura

1.9.1.1. Análisis de la junta a ser soldada

Es importante observar las dimensiones y forma de la junta, metal base y metal de aporte; así se podrá determinar los siguientes parámetros:

- Velocidad de arco: debe ser relativamente elevado para que el cordón de soldadura sea fuerte.
- Tasa de deposición: es dependiente del tiempo del arco de soldadura, si el tiempo es corto, la tasa de deposición debe ser mayor; sin embargo este parámetro se toma en cuenta cuando la soldadura es grande. soldadura sea fuerte.
- Posición del soldador: es necesario ya que no con todos los procesos de soldadura se puede soldar en todas las posiciones. fuerte.
- Penetración: debe ser relativamente profunda para que se puedan mezclar de una forma adecuada el metal base con el metal de aporte, pero no debe ser tan profunda para evitar perforaciones o quemaduras en el metal base.

1.9.1.2. Determinación de parámetros

Debe existir un método de soldadura que cumpla con los parámetros que exigen las uniones a ser soldadas, así se evita una mala elección de método o errores en el cordón de soldadura.

- Costos de equipos.
- Longitud del cordón.
- Limpieza.
- Tiempo de soldadura.
- Costos de ropa de seguridad.

1.10. Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW)

En este método de soldadura se utiliza electrodos con revestimiento, este electrodo consta de un núcleo que es una varilla de material colado de metal sólido, al hacer contacto el metal base con el metal de aporte que es el electrodo se genera un arco eléctrico y este arco eléctrico produce calor que hacer que el revestimiento y la varilla metálica se funda, al

fundirse estos elementos produce una atmósfera que protege de contaminantes al metal fundido.

En proceso SMAW, el arco de soldadura puede ser controlado por el operador, mientras se va fundiendo el electrodo se van formando gotas de metal fundido que depositados en la junta o metal base se crea un cordón de soldadura y a la vez genera escoria (manto o capa que cubre al cordón de soldadura). Al finalizar el proceso de soldadura se debe esperar un cierto tiempo hasta que el cordón de soldadura se enfríe por completo y consecuentemente se retirará la escoria.

En la Fig. 1.9., se muestra los parámetros que intervienen en el proceso de soldadura SMAW.

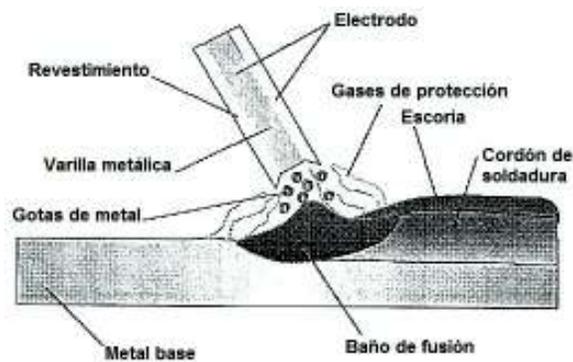


Fig. 1.9. Circuito de soldadura SMAW.
(Tecnología de soldadura, 2011)

Los parámetros más importantes que hay que tomar en cuenta son: el voltaje y amperaje.

- Corriente de soldadura (20 – 550 A)
- Voltaje en el arco (16 - 40 V)
- Corriente AC o DC

Existen tres tipos de electrodos según su revestimiento y según la norma AWS y son: *básicas* (alto contenido en calcio), *rutílicos* (alto contenido en dióxido de titanio) y *celulósicos* (alto contenido en celulosa).

2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología de la investigación es el segundo capítulo de este proyecto, en donde se describe paso a paso lo que se va a realizar en esta parte, como se muestra a continuación:

- En este proyecto se utilizará tres diferentes métodos como se puede observar en el punto 2.1, 2.3, 2.5, para calcular el cromo y níquel equivalente del material base y material de aporte, en este caso se usa como material base un acero inoxidable ferrítico 410S y un material de aporte austenítico 308L. Para esto se necesita las composiciones químicas exactas de dichos materiales, las cuales se encuentran en el ANEXO II y ANEXO III, que son las certificaciones de los materiales ya mencionados.
- En el punto 2.2, 2.4, 2.6, se muestra el diagrama de Schaeffler, el diagrama de Long y el diagrama WRC respectivamente, estos diagramas son muy necesarios para graficar los resultados hallados en el punto 2.1, 2.3, 2.5. Ya graficados estos puntos se podrá observar con exactitud la microestructura de los materiales, así como también el porcentaje de ferrita que contienen.
- En el punto 2.7. se calcula la temperatura de precalentamiento del material base que es un acero 410S, utilizando el método de Seferián, la explicación de la utilización de este método se encuentra en el capítulo 1. Hay que tomar en cuenta que para los aceros inoxidables ferríticos la temperatura de precalentamiento debe ubicarse dentro del intervalo de 200°C - 400°C.
- En el punto 2.8 se calcula el porcentaje de dilución, para conocer el porcentaje de fusión que existe entre el material base 410S y el material de aporte 308L. Para esto es necesario soldar las placas con el electrodo pre-destinado, con el fin de formar el cordón de soldadura, en este caso este cordón contendrá más austenita debido al material de aporte austenítico, después se calcula el área de dicho cordón; el porcentaje de dilución se calcula en base a este dato.
Después de encontrar el punto de dilución, debe ser graficado en la recta MA–MB que se encuentra del diagrama de Schaeffler, tomando en cuenta que este porcentaje es con respecto al punto MA.
La explicación de la primordialidad del punto de dilución y el procedimiento para graficar en el diagrama de Schaeffler se encuentra en el capítulo 1.
- En el punto 2.9 se detalla el proceso que se realizará para la parte práctica, en primer lugar se describe los equipos y materiales necesarios para soldar el material. Después se realiza los planos del bisel de las placas con las medidas respectivas, bajo la norma ASME sección IX, se puede observar este plano en la Fig.2.5.

En la Tabla 2.1., se detalla los datos obtenidos durante la soldadura del cordón. Así como también otros datos calculados a partir de los obtenidos.

Después se procede a realizar los ensayos no destructivos como son: radiografías y metalografías del material base 410S y cordón de soldadura. Y también los ensayos destructivos que son: tracción de sección reducida y doblados de raíz y cara.

Para realizar estos ensayos es necesario tomar en cuenta las normas de aceptación se la norma ASME sección IX, estas normas se encuentran colocadas en la descripción de cada ensayo.

2.1. Cálculo de cromo (Cr) y níquel (Ni) del material base y material de aporte para el diagrama de Schaeffler

En primer lugar se muestra detalladamente los datos necesarios para este cálculo. En segundo lugar se realizan los cálculos de cromo y níquel equivalente de los materiales base y aporte utilizando la ecuación 1.6. y 1.7.

MATERIAL BASE

Acero inoxidable ferrítico 410S.

Alto contenido de cromo.

Composición química:

Tabla 2.1. Composición química del acero inoxidable ferrítico 410S.

Carbono (C)= 0.017%	Molibdeno (Mo)= 0.016%
Cobalto (Co)= 0.020%	Níquel (Ni)= 0.20%
Cromo (Cr)= 11.78%	Potasio (P)= 0.026%
Cobre (Cu)= 0.080%	Azufre (S)= 0.001%
Manganeso (Mn)= 0.510%	Silicio (Si)= 0.420%

(Fuente propia)

MATERIAL DE APORTE

Electrodo rutilicos 308L que deposita un acero inoxidable austenítico.

Bajo contenido de carbono.

Composición química:

Tabla 2.2. Composición química del electrodo 308L.

Carbono (C)= 0.02%	Silicio (Si)= 0.7%
Manganeso (Mn)= 0.7%	Cromo (Cr)= 19%
Níquel (Ni)= 10%	

(Fuente propia)

MATERIAL BASE

$$\text{Cromo equivalente}(Creq) = \% Cr + \% Mo + 1.5\% Si + 0.5\% Nb + 2\% Ti$$

$$\text{Cromo equivalente}(Creq) = 11.78\% + 0.018\% + (1.5\%)(0.42) + 0.5\%(0) + 2\%(0)$$

$$\text{Cromo equivalente}(Creq) = \mathbf{12.4\%}$$

$$\text{Níquel equivalente}(Nieq) = \%Ni + 30\%C + 0,5\%Mn$$

$$\text{Níquel equivalente}(Nieq) = 0.2\% + 30\%(0.017) + 0,5\%(0.51)$$

$$\text{Níquel equivalente}(Nieq) = \mathbf{0.97\%}$$

MATERIAL DE APORTE

$$\text{Cromo equivalente}(Creq) = \% Cr + \% Mo + 1.5\% Si + 0.5\% Nb + 2\% Ti$$

$$\text{Cromo equivalente}(Creq) = 19\% + 0\% + (1.5\%)(0.7) + 0.5\%(0) + 2\%(0)$$

$$\text{Cromo equivalente}(Creq) = \mathbf{20.1\%}$$

$$\text{Níquel equivalente}(Nieq) = \%Ni + 30\%C + 0.5\%Mn$$

$$\text{Níquel equivalente}(Nieq) = 10\% + 30\%(0.02) + 0.5\%(0.7)$$

$$\text{Níquel equivalente}(Nieq) = \mathbf{10.95\%}$$

2.2. Ubicación de datos en el diagrama de Schaeffler

Los datos obtenidos como son los porcentajes de cromo y níquel del metal base 410S y el metal de aporte 308L deben ser colocados en el diagrama de Schaeffler presentado en la Fig. 2.1. Con el fin de conocer el tipo de microestructura que presenta estos materiales, así como también el porcentaje de ferrita que contiene cada material.

Hay que recalcar que todos los números de los ejes horizontal y vertical de la Fig. 2.1., se encuentran en unidad de porcentaje, al igual que los valores que se graficarán en dicha figura.

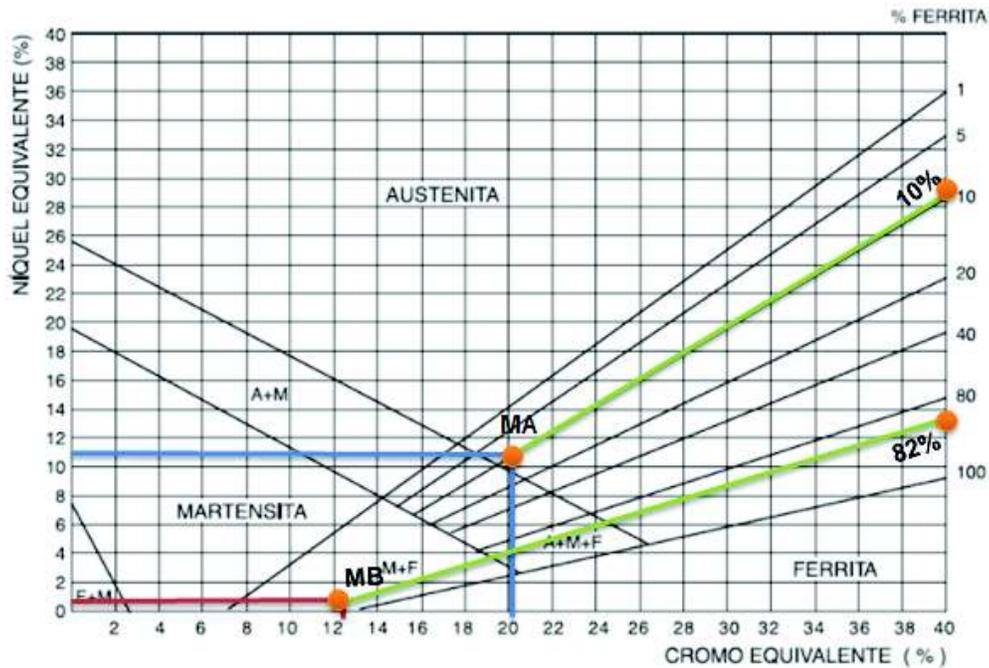


Fig. 2.1. Diagrama de Schaeffler para la unión de un metal 410S con un metal de aporte 308L.
(Fuente propia)

MA: material de aporte 308L

MB: material base acero inoxidable ferrítico 410S

A + M: austenita + martensita

M + F: martensita + ferrita

F + M: ferrita + martensita

A + M + F: austenita + martensita + ferrita

Como se puede observar en la Fig. 2.1., el material de aporte (MA) se encuentra en la zona austenítica con un porcentaje de ferrita de aproximadamente el 10% y el material base (MB) en la zona martensítica + ferrítica (M+F) con un porcentaje de aproximadamente el 82%.

2.3. Cálculo de cromo (Cr) y níquel (Ni) del material base y material de aporte para el diagrama de Long.

En la Tabla 2.2., se encuentra la composición química del material de aporte 308L. A continuación se realizan los cálculos de cromo y níquel equivalente de los materiales base y aporte utilizando la ecuación 1.8 y 1.9.

MATERIAL DE APORTE

Electrodo rutílicos 308L que deposita un acero inoxidable austenítico.

Bajo contenido de carbono.

MATERIAL DE APORTE

$$\text{Cromo equivalente}(C_{req}) = \% Cr + \% Mo + 1.5\% Si + 0.5\% Nb$$

$$\text{Cromo equivalente}(C_{req}) = 19\% + 0\% + (1.5\%)(0.7) + 0.5\%(0)$$

$$\text{Cromo equivalente}(C_{req}) = \mathbf{20.1\%}$$

$$\text{Níquel equivalente}(N_{ieq}) = \%Ni + 30\%C + 30\%N + 0.5\%Mn$$

$$\text{Níquel equivalente}(N_{ieq}) = 10\% + 30\%(0.02) + 30\%(0) + 0.5\%(0.7)$$

$$\text{Níquel equivalente}(N_{ieq}) = \mathbf{10.95\%}$$

2.4. Ubicación de datos en el diagrama de Long

Como los resultados obtenidos en el punto 2.3 son iguales a los resultados del punto 2.1, los cuales están graficados en el diagrama de Schaeffler, nos guiaremos con la Fig.2.1.

A continuación en la Fig. 2.2., se muestra la gráfica del diagrama de Long con sus respectivos porcentajes de ferrita, de cromo y níquel equivalente.

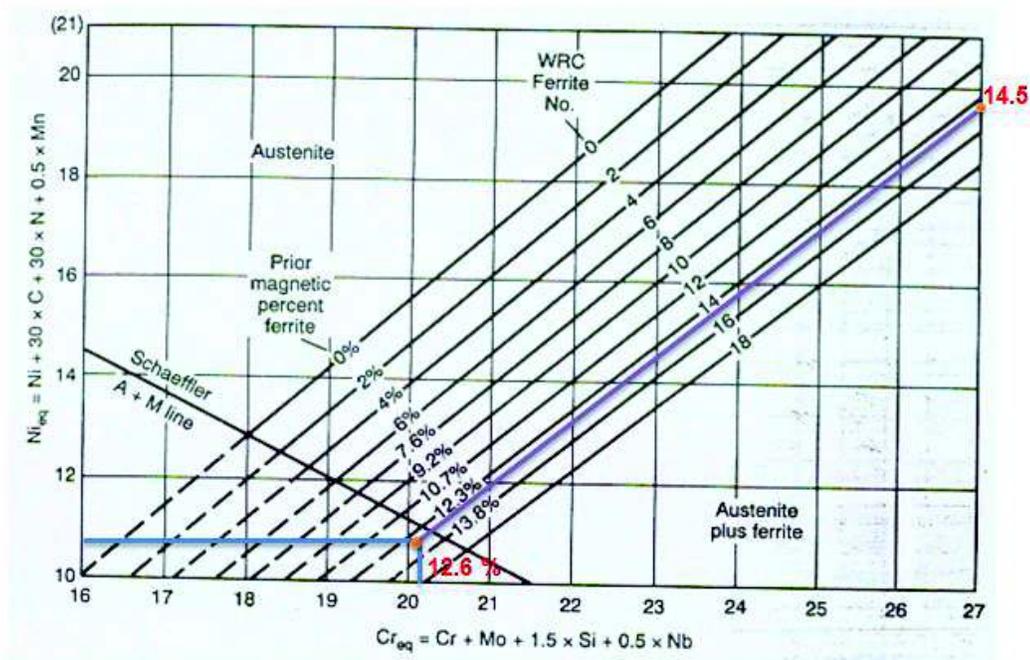


Fig. 2.2. Cálculo del número de ferrita (NF) del material de aporte 308L en el Diagrama de Long.
(Fuente propia)

En el libro de Lefebvre ⁽²⁰⁾, indica que un porcentaje de 5% al 15% de ferrita en un acero inoxidable austenítico ayuda a evitar el agrietamiento y la oxidación del acero en caliente, también mejora las características mecánicas del material.

2.5. Cálculo de cromo (Cr) y níquel (Ni) del material base y material de aporte para el diagrama De WRC

En la Tabla 2.2., se encuentra la composición química del material de aporte 308L. A continuación se realizan los cálculos de cromo y níquel equivalente de los materiales base y aporte utilizando la ecuación 1.10. y 1.11.

MATERIAL DE APORTE

Electrodo rutílicos 308L que deposita un acero inoxidable austenítico.

Bajo contenido de carbono.

MATERIAL DE APORTE

$$\text{Cromo equivalente}(C_{req}) = \% Cr + \% Mo + 0.7\% Nb$$

$$\text{Cromo equivalente}(C_{req}) = 19\% + 0\% + 0.7\%(0)$$

$$\text{Cromo equivalente}(C_{req}) = \mathbf{19\%}$$

$$\text{Níquel equivalente}(N_{eq}) = \%Ni + 35\%C + 20\%N + 0.25\%Cu$$

$$\text{Níquel equivalente}(N_{eq}) = 10\% + 35\%(0.02) + 20\%(0) + 0.25\%(0)$$

$$\text{Níquel equivalente}(N_{eq}) = \mathbf{10.70\%}$$

2.6. Ubicación de datos en el diagrama WRC

A continuación se muestra la Fig. 2.3., que representa el diagrama WRC con sus respectivos porcentajes de ferrita, de cromo y níquel equivalente.

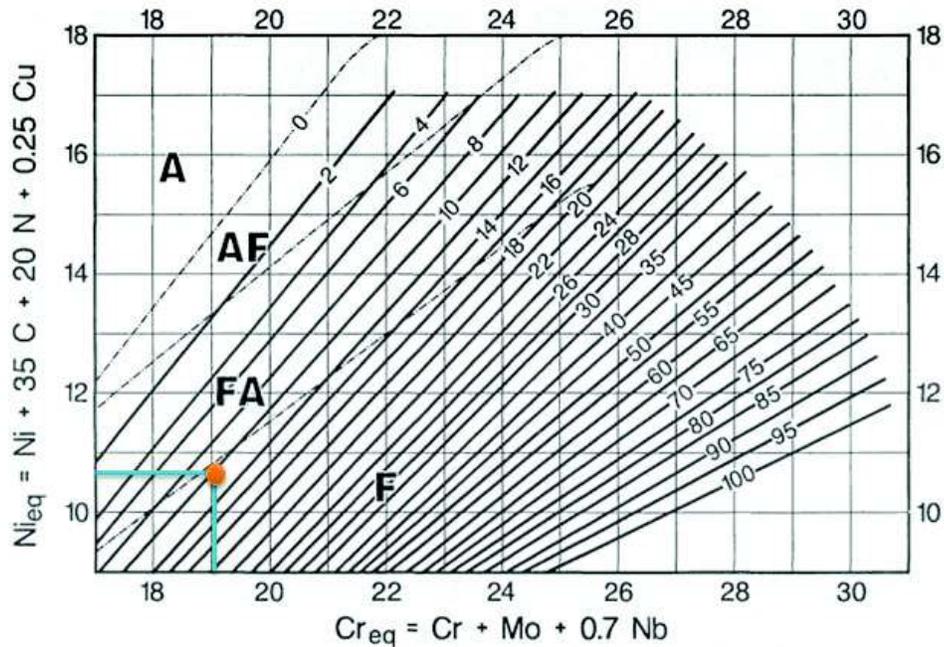


Fig. 2.3. Cálculo del número de ferrita (NF) del material de aporte 308L en el diagrama de WRC. (Fuente propia)

2.7. Cálculo de la temperatura de precalentamiento

La temperatura de precalentamiento es muy importante para los aceros inoxidable ferríticos, ya que ayuda a disminuir la velocidad de enfriamiento. En este caso el acero inoxidable ferrítico 410S fue calentado en el horno tipo mufla del laboratorio de soldadura de la Escuela Politécnica Nacional.

Cabe mencionar que para los aceros inoxidable ferríticos la temperatura de precalentamiento debe estar dentro del rango de 200°C – 400°C.

A continuación se realizan los cálculos para determinar la temperatura de precalentamiento del acero inoxidable ferrítico 410S.

METAL BASE

Medidas de las probetas: dos probetas de 300mm x 100mm x 12mm cada una.

La composición química de este material se puede observar en la Tabla 2.1., para estos cálculos se utilizan las ecuaciones 1.2, 1.3, 1.4, 1.5.

$$c_{Eq} = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{Mo}{13}$$

$$c_{Eq} = 0.017 + \frac{0.510 + 11.780}{9} + \frac{0.2}{18} + \frac{0.018}{13}$$

$$c_{Eq} = 1.40$$

$$c_{Ee} = 0.005 \times e \times c_{Eq}$$

$$c_{Ee} = 0.005 \times 12 \times 1.40$$

$$c_{Ee} = 0.084$$

$$c_{Et} = c_{Eq} + c_{Ee}$$

$$c_{Et} = 1.40 + 0.084$$

$$c_{Et} = 1.484$$

$$T_p = 350 \times \sqrt{c_{Et} - 0.25}$$

$$T_p = 350 \times \sqrt{1.484 - 0.25}$$

$$T_p = 388.80^\circ C$$

2.8. Cálculo de porcentaje de dilución

La explicación del cálculo del porcentaje de dilución se encuentra en el primer capítulo, al final de la descripción del punto 1.3.

Es por eso que en esta parte solamente aplicamos lo ya explicado, tomando en cuenta que el cálculo de la dilución es muy importante, ya que este punto influye en las propiedades químicas del cordón de soldadura.

Para estos cálculos se utilizarán las ecuaciones 1.8, 1.9, 1.10.

En la Fig. 2.4., se muestra una proximidad del cordón de soldadura real.

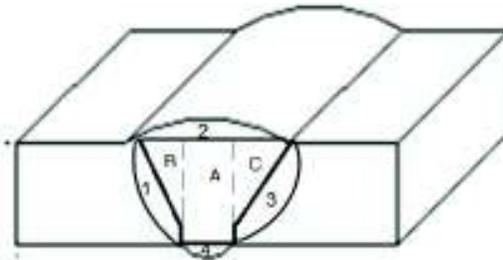


Fig. 2.4. Probeta soldada.

(Fuente propia)

$$\% \text{ dilución} = \frac{\text{área sombreada}}{\text{área total del cordón de soldadura}} \times 100$$

$$\text{área sombreada} = \text{área 1} + \text{área 2} + \text{área 3} + \text{área 4}$$

$$\text{área1} = \frac{b * h}{2} = \frac{14 * 3}{2} = 21mm$$

$$\text{área2} = \text{área3} = \frac{b * h}{2} = \frac{12 * 1}{2} = 6mm$$

$$\text{área4} = \frac{b * h}{2} = \frac{3 * 1}{2} = 1.5mm$$

$$\text{área sombreada} = 21 + 6 + 6 + 1.5 = 34.5 mm$$

$$\text{área total del cordón de soldadura} = \text{área A} + \text{área B} + \text{área C} + \text{área sombreada}$$

$$\text{área A} = b * h = 3 * 12 = 36mm$$

$$\text{área } B = \text{área } C = \frac{b * h}{2} = \frac{7 * 10}{2} = 35mm$$

$$\text{área total del cordón de soldadura} = 36 + 35 + 34.5 = 105.5 \text{ mm}$$

$$\% \text{ dilución} = \frac{34.5}{105.5} * 100\% = 32.7 \%$$

Después de haber calculado el porcentaje de dilución, debemos graficarlo en el diagrama de Schaeffler que se presenta en la Fig. 2.5.

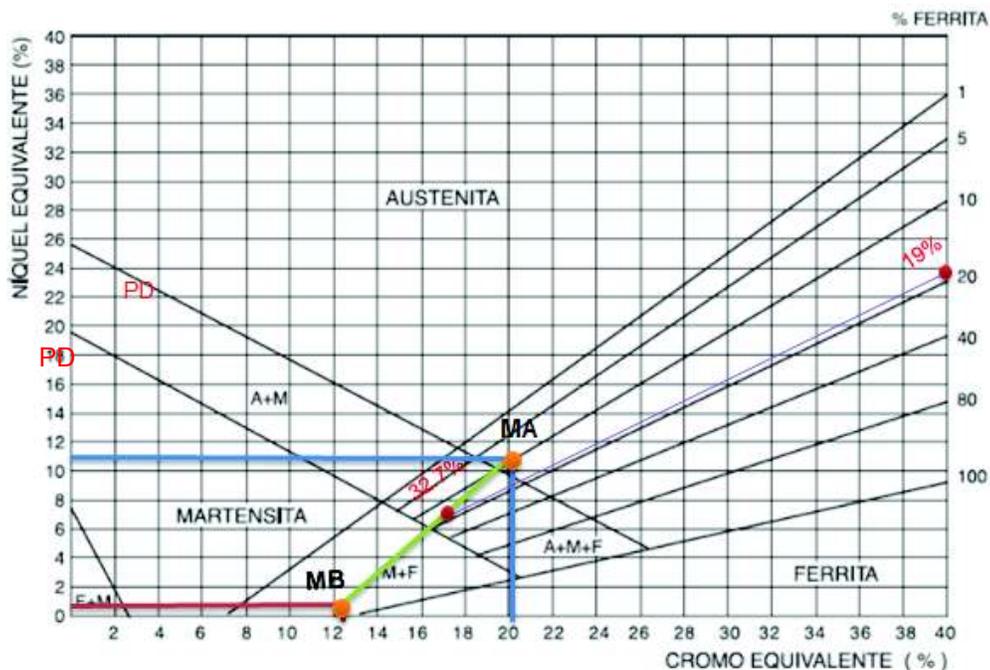


Fig. 2.5. Porcentaje de dilución (PD) y ferrita que contiene el cordón de soldadura, graficado en el diagrama de Schaeffler.

(Fuente propia)

Hay que tomar en cuenta que el punto de dilución y ferrita fueron colocados de forma aproximada en el diagrama de Schaeffler.

Se observa que la microestructura del cordón de soldadura es A+M+F, y que tiene un porcentaje de ferrita del 19%.

Se puede observar en la Fig. 2.5., el punto de dilución del cordón de soldadura, en donde el cromo equivalente se encuentra entre 6% - 8% y el níquel equivalente entre 16% - 18%, por ende no se los puede graficar en el diagrama De Long ni en el diagrama WRC. Ya que estos diagramas para el níquel equivalente empieza su escala en 10%.

2.9. Procedimientos experimentales

2.9.1. Equipos y Materiales

- 2 placas de acero inoxidable AISI 410S (300 x 100 x 12mm) (ANEXO II)
- Electrodo AGA 308L (diámetro 1/8 pulg) (ANEXO III)
- Cortadora de plasma TECOi
- Corrector líquido blanco
- Soldadura Lincoln V350-PRO
- Amoladora
- Cepillo de alambre
- Lima metálica
- Entenalla
- Sierra
- Máquina pulidora FORCIMAT
- Arena
- Lija
- Calibrador pie de rey
- Horno para electrodos
- Cortadora de acero automática
- Escuadra

2.9.2. Elaboración de probetas

LA Norma ASME sección IX nos presenta un formato sugerido para especificaciones de procedimiento de soldadura (WPS), este formato se llenará con los datos adquiridos en la práctica de soldadura.

ANEXO IV

A continuación en la Fig.2.6., se presenta las placas adquiridas para este proyecto con las siguientes medidas: 300mm x 100mm x 12mm, siendo un acero inoxidable ferrítico 410S.

También en la Fig. 2.7., se presenta los electrodos 308L con un diámetro de 1/8 pulg., con los cuales se realizará el cordón de soldadura.



Fig. 2.6. Placas de acero inoxidable ferrítico 410S.

(Fuente propia)



Fig. 2.7. Electrodo AGA 308L.

(Fuente propia)

El plano que se presenta en la Fig. 2.8., se encuentra bajo la Norma ASTM sección IX, y muestra la forma que tomarán las probetas hacer ensayadas con las medidas que se indican en la misma.

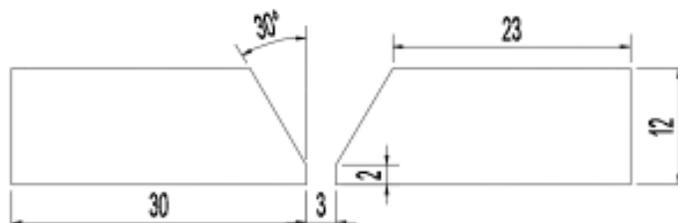


Fig. 2.8. Medida en milímetros y grados centígrados del bisel a diseñar.

(Fuente propia)

Las Fig. 2.9. y 2.10., muestran el bisel en V de las probetas, para poder formar este bisel fue necesario colocar por debajo una placa de respaldo como se puede observar en las

fotografías. Las probetas fueron colocadas en la entenalla para poder realizar el bisel con la moladora.



Fig. 2.9. Placas biseladas.
(Fuente propia)



Fig. 2.10. Preparación de placas a ser soldadas.
(Fuente propia)

En la Tabla 2.3., se presenta ciertos datos obtenidos durante la soldadura de las probetas como son: corriente, voltaje, tiempo, consumo de electrodo. Y para el cálculo del aporte térmico se usó la ecuación 1.1.

Tabla 2.3. Datos del cordón de soldadura de las placas.

Pases (#)	Corriente DC (A)	Voltaje (V)	Tiempo (s)	Consumo de electrodos (#)	Temperatura entre pases (°C)	Aporte térmico (J/mm)
1	104	60	88	2.5	180.6	823.46
2	125	60	87	2	185.9	978.26
3	125	60	87	2	189.4	978.26
4	125	60	86	2	195.7	967.05
5	125	60	86	2	198.3	967.05
6	125	60	86	2	198.6	967.05
Observaciones: al final de cada pase se esmerila las impurezas						
Tiempo de inicio: 2:00 pm						
Tiempo de finalización: 2:53 pm						

(Fuente propia)

A continuación se presenta la Fig. 2.11., donde se puede observar el cordón de soldadura que une las dos probetas, recalcando que la soldadura está constituida por seis pases, en donde los dos últimos pases se pueden observar en la imagen.

Cabe recalcar que en cada pase se midió la temperatura con el medidor de temperatura automático, también se tomó los tiempos que se demoraba el soldador en realizar cada pase y los electrodos consumidos.



Fig. 2.11. Cordón de soldadura del acero inoxidable ferrítico 410S.

(Fuente propia)

En la Fig. 2.12., se muestra el plano de la placa soldada, en donde se puede observar los cortes que se realizarán en la placa de ensayo, de estos cortes obtendremos ocho probetas

las cuales se usaran para lo siguiente:

- Dos probetas para los ensayos de tracción.
- Cuatro probetas para los ensayos de doblado, las cuales serán dos probetas para los doblados de cara y dos probetas para los ensayos de raíz.
- Dos probetas para las metalografías.

Es importante realizar los cortes exactamente con las medidas señaladas, ya que las dimensiones de las probetas también influyen en los resultados de los ensayos.

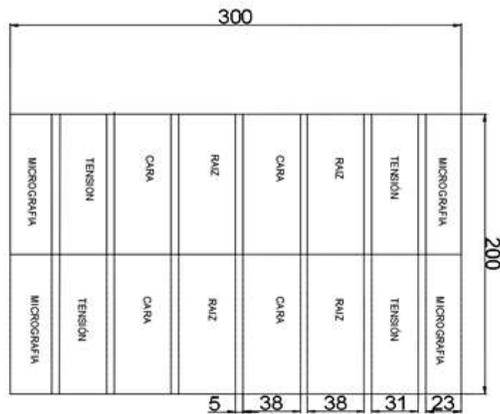


Fig. 2.12. Medida en milímetros de la placa a cortar.
(Fuente propia)

En la Fig.2.13., se encuentra las señales por donde deberá ser cortada la placa, para realizar estos cortes utilizaremos la cortadora de acero con chorro de agua a presión del laboratorio de metalografías de la Escuela Politécnica Nacional.



Fig. 2.13. Placa señalada para los diferentes ensayos.
(Fuente propia)

2.10. Ensayos no destructivos

Según la norma ASME sección IX hay que tomar las siguientes especificaciones para la aprobación de la probeta soldada.

2.10.1. Radiografía

2.10.1.1. Norma de aceptación (ASME sección IX)

1. Indicadores lineales

- Grietas, zona de fusión, penetración incompleta.
- Inclusión de escoria alargada
 - ◆ 3.2mm, espesores hasta de 10mm
 - ◆ 4mm, espesores entre 10mm – 57mm
 - ◆ 19mm, espesores más de 57mm
- Inclusión de escoria en línea
 - ◆ 12 veces mayor al espesor para espesores a partir de 12 mm

2. Indicadores redondos

- El 20% del espesor, espesores menores a 2.4mm
- Máximo 12 indicadores en una distancia de 15.24mm, espesores entre 2.4mm – 3.2mm
- Observar el apéndice I, espesores mayores a 3.2mm

A continuación se realizarán los cálculos para determinar el tiempo de exposición:

$$t_{exp} = t_c * f_n * f_p * f_D * f_v$$

Ecuación 2.1. Tiempo de exposición corregido.

Dónde

t_{exp} = tiempo de exposición

t_c = tiempo de diagrama

f_n = factor de corrección por densidad

f_p = factor de corrección por película

f_D = factor de corrección por distancia

f_v = factor de corrección por varios

Para determinar estos factores se utilizan la siguiente tabla:

Tabla 2.4. Factores de corrección.

DENSIDAD		PELÍCULA		DISTANCIA	
N = 1	T x 1	Gevaert	Structurix	35 cm (14")	Tx0,25
N = 1.5	T x 1.6	D10 Tx1	D7 Tx1	50 cm (20")	Tx0.5
N = 2	T x 2.2	D7 Tx4	D4 Tx3.7	70 cm (27.5")	Tx1
N = 2.5	T x 3	D4 Tx15	D2 Tx15	100 cm (40")	Tx2
		A	B	200 cm (80")	Tx8.8

(Guía de práctica de ensayos no destructivos de la EPN)

Por recomendaciones del laboratorio se utilizará un voltaje de 140Kv y un amperaje de 5mA.

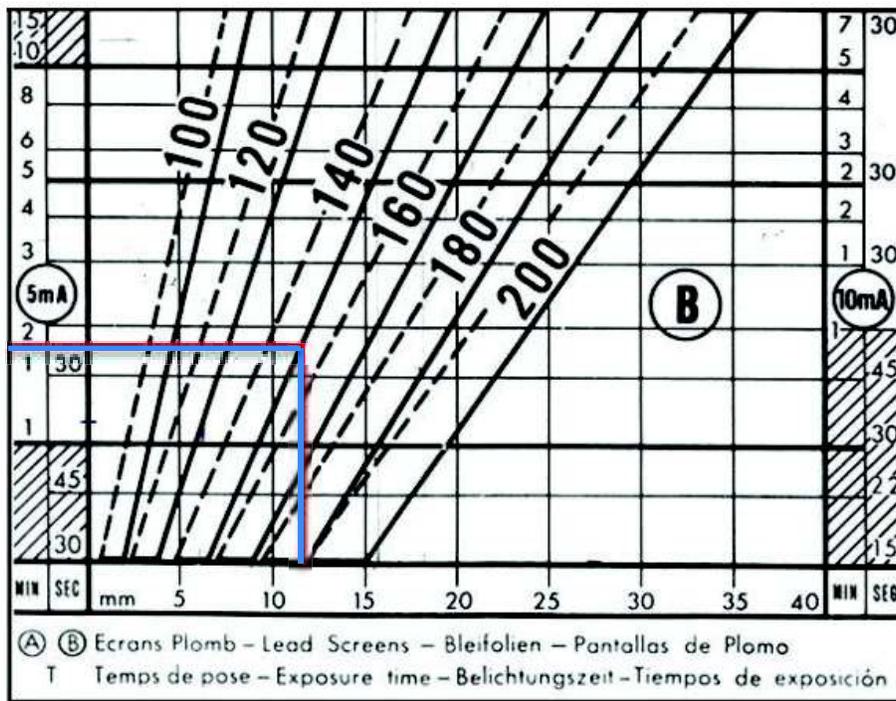


Fig. 2.14. Diagrama de tiempo de exposición.

(Fuente propia)

El que t_c nos indica el diagrama es de 100s.

Aplicando la fórmula:

$$t_{exp} = t_c * f_n * f_p * f_D * f_v$$

$$t_{exp} = 84 * 2.2 * 1 * 0.5 * 1$$

$$t_{exp} = 92.4 s$$

Es necesario aplicar la ley inversa de los cuadrados con el fin de tener obtener el tiempo de exposición, este será el tiempo que se debe exponer el acero en la fuente radiográfica.

$$\frac{92.4}{t_{exp2}} = \frac{50^2}{56^2}$$

Ecuación 2.2. Ley inversa de los cuadrados.

$$t_{exp2} = 115.9 \text{ s} = 1,56 \text{ min}$$

En la Fig. 2.15., se muestra el plano de la placa de acero 410S con sus respectivas medidas, en este caso no se necesita realizar cortes a la placa ya que se debe hacer una radiografía a todo el cordón de soldadura.

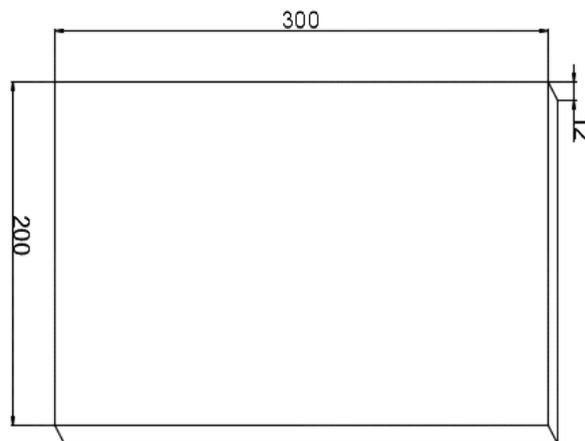


Fig. 2.15. Medida en milímetros probeta para radiografía.

(Fuente propia)

En la Fig. 2.16., se observa el cordón de soldadura de la placa de estudio, para realizar los ensayos radiográficos se debe calcular con exactitud el tiempo de exposición de la placa en la fuente radiográfica.

El ensayo radiográfico cumple un proceso y es el siguiente:

- Preparación de la película, en este caso la película medirá 300 mm que es la medida del cordón de soldadura.
- Después la película pasa por tres procesos que son: revelado, detenido, fijado, lavado, secado.

- Interpretación de la película.



Fig. 2.16. Probeta para el ensayo de radiografía.
(Fuente propia)

2.10.2. Metalografías

Teniendo la placa en forma horizontal, se realiza un corte vertical a cada extremo de la placa de aproximadamente 1 pulg., obteniendo dos probetas, las cuales serán alisadas con un grabador para dar una definición clara del metal de soldadura y de la zona afectada por el calor.

Para pasar la prueba según la Norma ASME sección IX, el examen visual de la sección recta del metal de soldadura y de la zona afectada por el calor mostrará fusión completa y libre de grieta, excepto que serán aceptables las indicaciones en la raíz que no excedan de 0.80 mm; y la soldadura no tendrá una concavidad o convexidad mayor que 1.60 mm.

En este caso se utilizó dos probetas cortados en los extremos de la placa soldada. A continuación en la Fig. 2.17., se muestra el plano de las probetas con sus respectivas medidas.

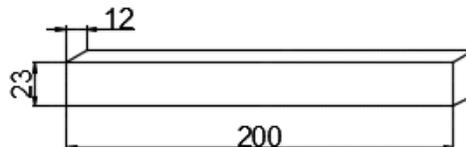


Fig. 2.17. Medida en milímetros probeta para ensayos metalográficos.
(Fuente propia)

La Fig. 2.18., indica una muestra del metal base que es el acero inoxidable ferrítico 410S. Las Fig. 2.19. y 2.20., son las muestras de los extremos del cordón de soldadura. Estas muestras están previamente pulidas y listas para su respectivo ensayo.



Fig. 2.18. Probeta del material base utilizada para los estudios metalográficos.
(Fuente propia)



Fig. 2.19. Probeta de un extremo del cordón de soldadura utilizada para los estudios metalográficos.
(Fuente propia)



Fig. 2.20. Probeta del otro extremo del cordón de soldadura para los estudios metalográficos.
(Fuente propia)

2.11. Ensayos destructivos

Según la norma ASME sección IX hay que tomar las siguientes especificaciones para la aprobación de la de la probeta soldada.

2.11.1. Prueba de tracción de sección reducida

2.11.1.1. Norma de aceptación (ASME sección IX)

El espécimen deberá tener una resistencia de tracción no menor que:

1. La mínima resistencia de tracción especificada del metal base.
2. La mínima resistencia de tracción especificada del más débil de los dos, si se usan metales base de resistencias de tracción mínima diferentes.
3. Si el espécimen se rompe en el metal base afuera de la soldadura o de la línea de fusión la prueba será aceptada, siempre y cuando la resistencia no esté más del 5% abajo de la mínima resistencia de tracción especificada del metal base.

Para este ensayo se utilizó dos probetas, y en la Fig. 2.21., se puede observar el plano de la probeta de tracción con sus respectivas medidas. Como ya se había mencionado es importante respetar las dimensiones a la hora del maquinado, ya que las dimensiones también influyen en los resultados de la prueba de tracción.

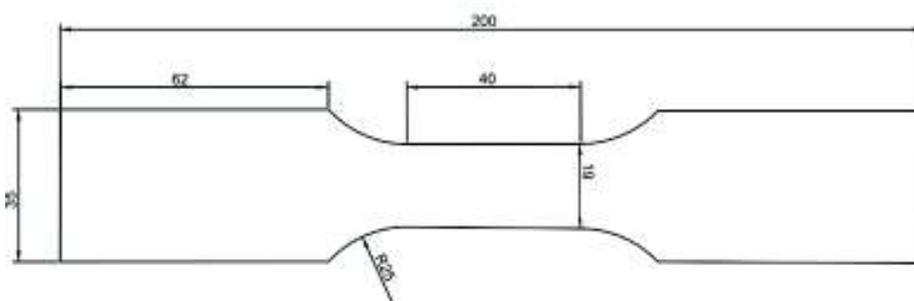


Fig. 2.21. Medida en milímetros probeta de tensión.

(Fuente propia)

En la Fig. 2.22., podemos observar las probetas ya maquinadas y listas para su respectivo ensayo, incluso se observa que el área del cordón de soldadura esta pulido.



Fig. 2.22. Probetas para el ensayo de tracción de sección reducida.

(Fuente propia)

2.11.2. Prueba de doblados

2.11.2.1. Norma de aceptación (ASME sección IX)

Los especímenes de doblado no deberán tener defectos abiertos en la soldadura o en la zona afectada por el calor que excedan de 3.17mm, medido en cualquier dirección sobre la superficie convexa del espécimen después del doblado. Los defectos abiertos que ocurran en las esquinas del espécimen durante la prueba no se tomarán en cuenta a menos que haya evidencia precisa de que ellos resultan por falta de fusión, inclusiones de escoria u otros defectos internos. Para revestimiento de sobrecapa de soldadura, no debe existir ningún defecto abierto que exceda en 1.60mm, medido en cualquier dirección; y tampoco se admitirá defectos abiertos que excedas en 3.17mm en la línea de ligazón.

Para este ensayo de utilizará 4 probetas, dos para el ensayo de doblado de cara y dos para el ensayo de doblado de raíz. En la Fig. 2.23., se observa el plano de la probeta con sus respectivas medidas.

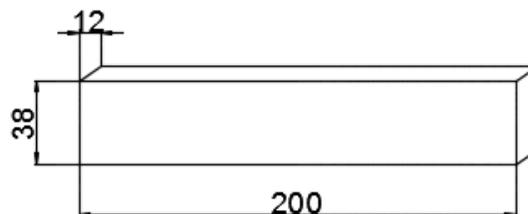


Fig. 2.23. Medida en milímetros probeta de doblado.

(Fuente propia)

En la Fig. 2.24., se muestra la maquina dobladora que pertenece al laboratorio de soldadura de la Escuela Politécnica Nacional. Es una máquina semi-manual que consta de un yugo que se mueve de arriba hacia abajo logrando doblar la probeta, este yugo es controlado por una palanca.



Fig. 2.24. Máquina dobladora.
(Fuente propia)

En la Fig. 2.25, se observa las probetas cortadas y marcadas para su respectivo ensayo, las cuatro placas se expondrán a la máquina dobladora.



Fig. 2.25. Probetas para el ensayo de doblado.
(Fuente propia)

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. RESULTADOS

3.1.1. Ensayos Radiográficos

Estos ensayos fueron realizados en el laboratorio de Ensayos no Destructivos de la Escuela Politécnica Nacional bajo la norma ASTM E94.

En el ANEXO V se muestra el informe de los ensayos radiográficos.

A continuación se muestra la radiografía realizada al cordón de soldadura. Estas radiografías no pudieron ser escaneadas ya el escáner era relativamente pequeño en comparación con el largo del película. Es por eso que la película fue colocada en el negatoscopio para poder ser fotografiada, es por eso que los defectos de soldadura se los debe observar de forma minuciosa.

Las Fig. 3.1, 3.2, 3.3., son fotografías de la misma película del cordón de soldadura, tomada de diferentes ángulos; con el fin de tener una mejor apreciación de los defectos de soldadura.

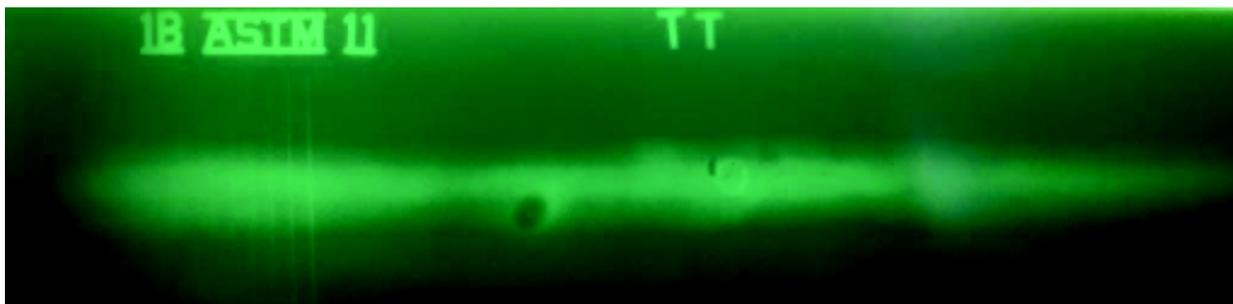


Fig. 3.1. Radiografía total del cordón de soldadura del acero 410S (30mm x 20mm x 12mm).

(Fuente propia)

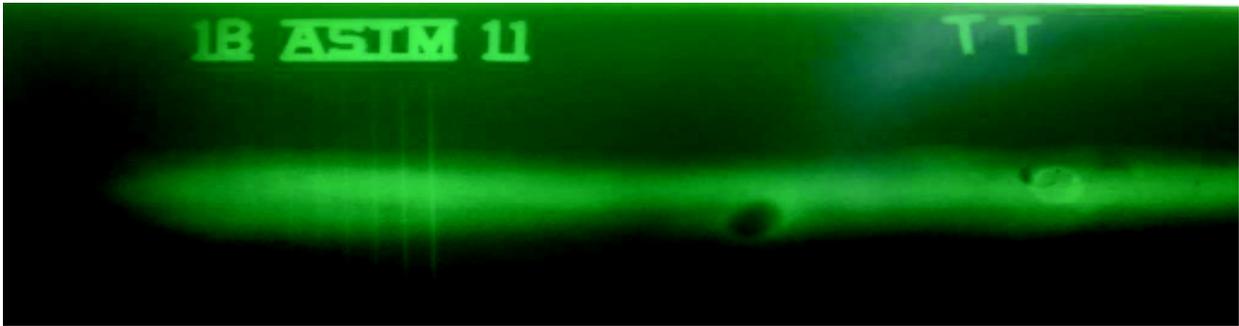


Fig. 3.2. Radiografía parte izquierda del cordón de soldadura del acero 410S (30mm x 20mm x 12mm).
(Fuente propia)

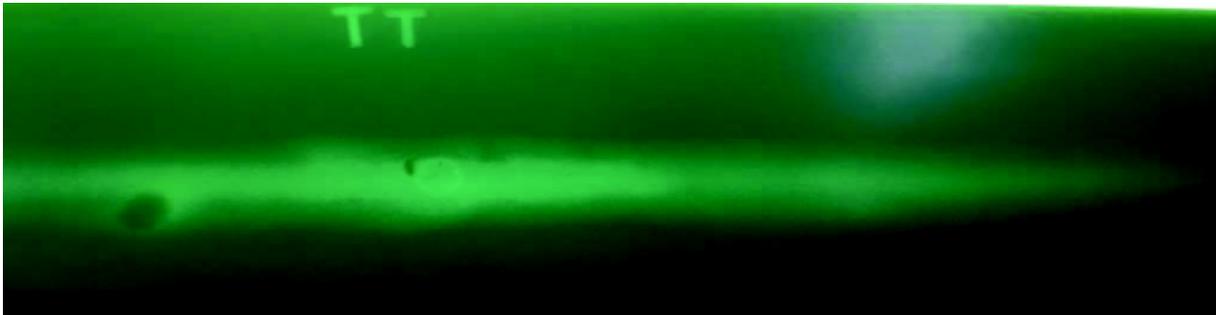


Fig. 3.3. Radiografía parte derecha del cordón de soldadura del acero 410S (30mm x 20mm x 12mm).
(Fuente propia)

3.1.2. Ensayos Metalográficos

Después de ser soldadas las placas es necesario observar en el microscopio la estructura del grano en la superficie del material base, cordón de soldadura y zona afectada por el calor.

Para llevar a cabo la observación de estas probetas, tuvieron que ser expuestas a un ácido llamado agua regia durante 2 minutos, después fueron limpiadas con alcohol puro.

La Fig. 3.4., confirma que el material base que es el acero inoxidable ferrítico 410S ha sido laminado durante su fabricación. Se puede observar claramente los granos de ferrita.

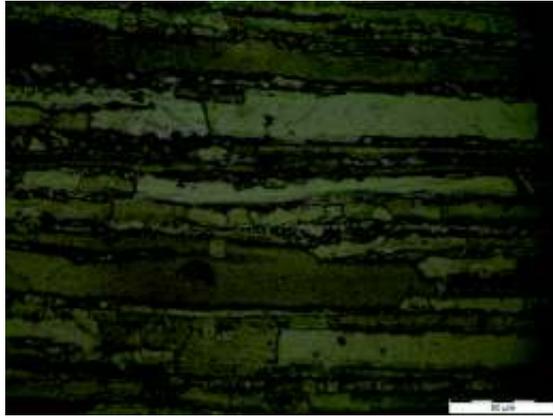


Fig. 3.4. Micrografía de un extremo del metal base del acero inoxidable ferrítico 410S. La estructura consiste en una matriz de ferrita con grano equiaxial. Amplificación 500x.

(Fuente propia)

Las Fig. 3.5. y 3.6., son imágenes de la microestructura del cordón de soldaduras, estas imágenes fueron tomadas con el microscopio del laboratorio de metalografías de la Escuela Politécnica Nacional en diferentes ángulos.

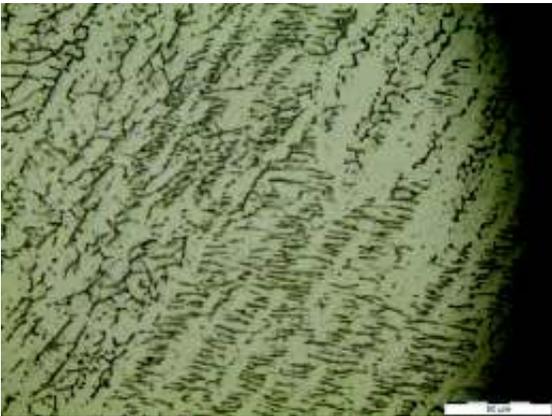


Fig. 3.5. Micrografía del cordón de soldadura de un extremo de la probeta, con un material de aporte 308L. La estructura consiste en una matriz austenítica con granos en crecimiento columnar. Amplificación 500x.

(Fuente propia)



Fig. 3.6. Micrografía del otro extremo del cordón de soldadura. Fotografía tomada entre pase y pase de cordón. La estructura consiste en una matriz austenítica con granos en crecimiento columnar. Ampliación: 100x.

(Fuente propia)

En las Fig. 3.7. y 3.8., se muestra las imágenes de la zona a afectada por el calor de los dos lados opuestos superiores del cordón de soldadura. En las imágenes se puede diferenciar la microestructura del cordón de soldadura y el material base.



Fig. 3.7. Micrografía de la zona afectada por el calor (ZAC) lado izquierdo de la probeta. Consta de dos diferentes estructuras con matriz austenítica y ferrítica. Los bordes de los granos sobresalen. Ampliación: 100x
(Fuente propia)



Fig. 3.8. Micrografía parte derecha de la zona afectada por el calor (ZAC) de la probeta, con granos en decrecimiento de izquierda a derecha. Ampliación: 100x.
(Fuente propia)

Las Fig. 3.9. y 3.10., muestran las macrografías de los dos extremo del cordón de soldadura, no es necesario realizar una gran ampliación en el microscopio para poder observar con claridad las zonas afectadas por el calor.

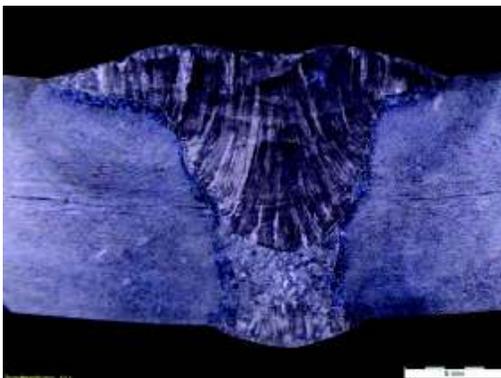


Fig. 3.9. Macrografía de un extremo del cordón de soldadura, con granos columnares, se presenta dos tipos de estructura en el cordón de soldadura. Ampliación: 50x.
(Fuente propia)

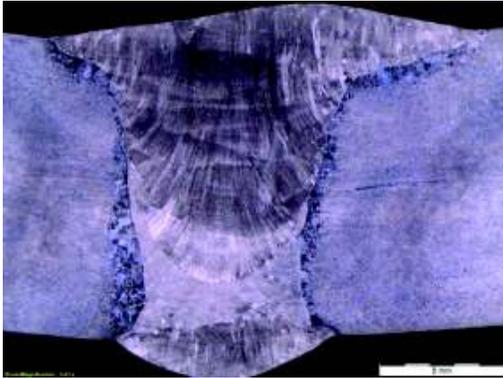


Fig. 3.10. Macrografía de la parte frontal del cordón de soldadura, con seis pases de soldadura. Ampliación: 100x.
(Fuente propia)

En las Fig. 3.11., 3.12., 3.13. y 3.14., se muestran las medidas de la zona afectada por el calor en el cordón de soldadura, las fotografías fueron tomadas en diferentes ángulos y se encuentran en el siguiente orden:

- Extremo superior derecho
- Extremo superior izquierdo
- Extremo inferior derecho
- Extremo inferior izquierdo

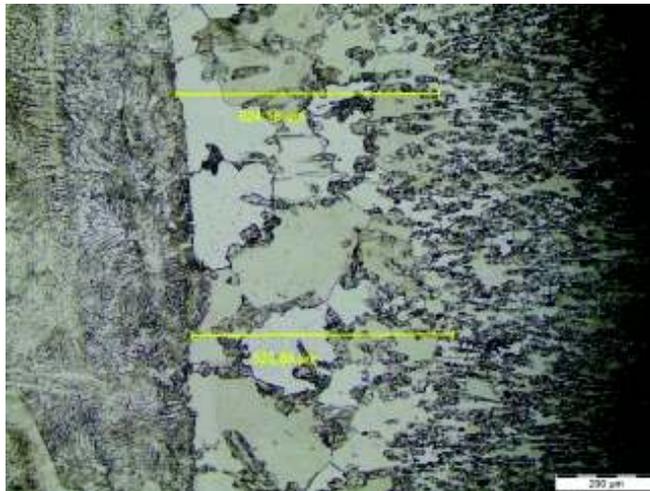


Fig. 3.11. Medidas de la micrografía de la zona afectada por el calor (ZAC). Parte superior izquierda.
Ampliación: 200x.
(Fuente propia)

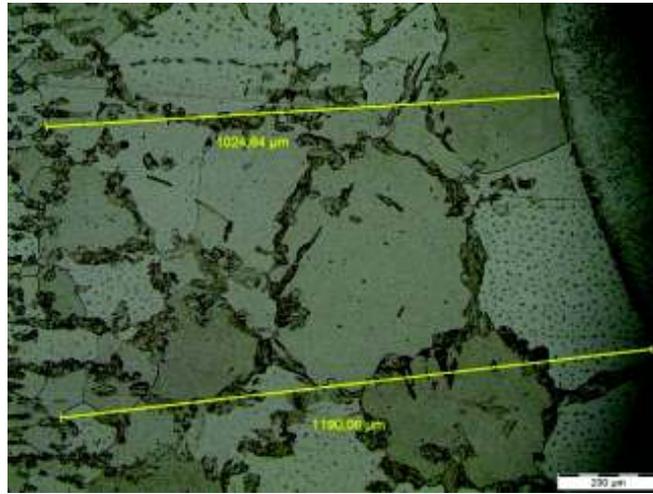


Fig. 3.12. Medidas de la micrografía de la zona afectada por el calor (ZAC). Parte superior derecha.

Ampliación: 100x

(Fuente propia)

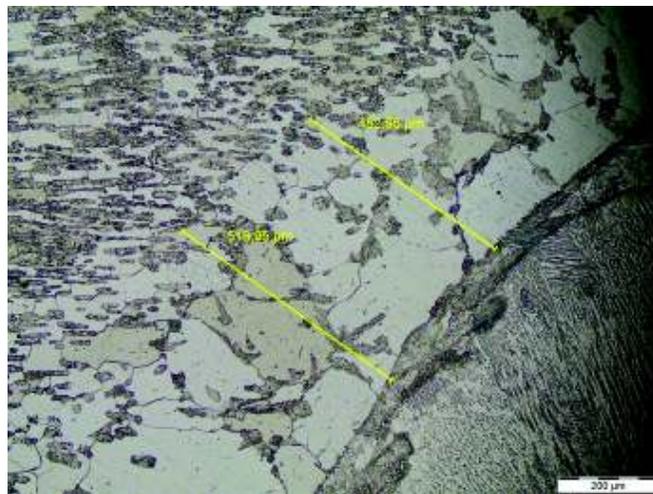


Fig. 3.13. Medidas de la micrografía de la zona afectada por el calor (ZAC). Parte inferior izquierda.

Ampliación: 100x.

(Fuente propia)



Fig. 3.14. Medidas de la micrografía de la zona afectada por el calor (ZAC). Parte inferior derecha.

Ampliación: 100x.

(Fuente propia)

3.1.3. Prueba de Tracción

En el ANEXO VI se observa el informe de los ensayos de tracción.

Los ensayos de tracción fueron realizados en la máquina de tracción del laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional. Para este ensayo se utilizó dos probetas de las mismas dimensiones, también se señala con marcador los límites del cordón de soldadura como se puede observar en la Fig. 3.16., con el fin de identificar los extremos del cordón de soldadura después de que las probetas hayan sido fracturadas como se observa en las Fig. 3.15. y 3.16.

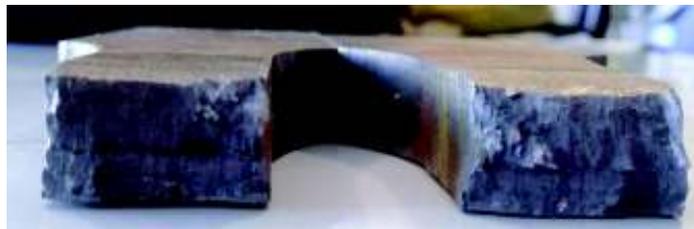


Fig. 3.15. Ruptura de probeta 1.

(Fuente propia)



Fig. 3.16. Ruptura de probeta 2.
(Fuente propia)

3.1.4. Prueba de doblado

Se observa en las Fig. 3.17. y 3.18., los doblados de cara y de raíz respectivamente. Las fotografías tienen una buena definición, es por eso que se puede observar con claridad los defectos ocasionados por el doblado de las probetas.

Es importante recalcar que después de los ensayos respectivos, se tuvo que cepillar las áreas dobladas, con el fin de obtener una mejor estética de las probetas.



Fig. 3.17. Doblado de cara.
(Fuente propia)

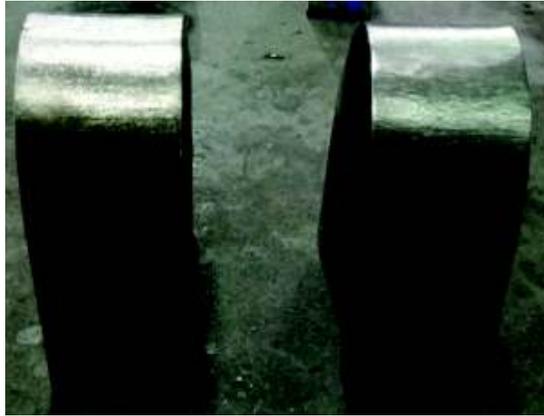


Fig. 3.18. Doblado de Raíz.

(Fuente propia)

3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Acorde con el diagrama de Schaeffler, se observa que el acero 410S está en una zona ferrítica+martensítica (F+M) con un 82% de ferrita y el material de aporte 308L está en una zona austenítica con un 10% de ferrita, según los trazos realizados en el diagrama de Schaeffler (Fig. 2.1.).
- En los cálculos realizados se obtuvo un porcentaje del punto de dilución (PD) del 32.7%, posteriormente dicho punto fue graficado en la Fig. 2.5., lo que quiere decir es que el punto PD representa la composición del cordón de soldadura, en donde se puede observar que este cordón tiene una composición del 32.7% de metal base 410S y 67.3% de metal de aporte 308L.
- Observando el diagrama de la Fig. 2.5., y el %PD, la soldadura contendrá martensita + austenita + ferrita, por ende los granos de la estructura en la zona afectada por el calor tienen a crecer y endurecerse, y esto se puede observar en los ensayos micrográficos de la soldadura.
- También se calculó el porcentaje de dilución obteniendo un resultado de 32.7%, y graficando este valor en el diagrama de Schaeffler se concluye que el cordón de soldadura contiene una microestructura austenita + martensita+ ferrita (A + F + M). Además de eso, con el mismo diagrama se puede observar que tiene un porcentaje de ferrita de aproximadamente 10%.

- El número de ferrita para el material de aporte 308L en el diagrama de Schaeffler coincide con el número de ferrita en el diagrama WRC con un 10NF, en cambio en el diagrama de Long tiene un valor de 14.5 NF.
- Ya que las escalas de los diagramas de las Fig. 2.2. y 2.3., no empiezan desde cero, podemos solamente graficar los puntos del cromo y níquel equivalente del material de aporte.
- Las Fig. 3.7. y 3.8., indica que el cordón de soldadura produce un contenido de soldadura martensítica, observando estas figuras se demuestra que los granos son martensíticos, ya que dichos granos son demasiados grandes en la zona afectada por el calor (ZAC) y tienen una apariencia de láminas que son típicas características de la martensita.
- En los estudios radiográficos el cordón de soldadura presenta cinco poros aproximadamente de 0.5 mm las cuales se puede observar claramente tres de ellos, los otros dos no se los puede apreciar ya que son demasiado pequeños, esto se debe a que las películas fueron fotografiadas con un dispositivo celular; no fue posible digitalizarlas ya que las películas son más grandes que el digitalizador.
También se presenta unas pequeñas manchas en los bordes de la soldadura, dichas manchas son defectos de revelado, esos son los únicos defectos en el cordón de soldadura, de acuerdo con la Norma ASME sección IX se comprueba que la soldadura se encuentra bien realizada y es aceptada por la Norma.
- Al ser el material base un acero ferrítico resistente a la corrosión, se observó que al realizar el ataque químico, es necesario mantener de 3 a 4 minutos el material en el ácido ya que por su propiedad mecánica el agua regia necesita tomarse su tiempo para realizar el ataque.
Una de las características del material de aporte (acero austenítico) es tener baja resistencia a la corrosión, por tanto, es necesario tener este material de 4 a 5 segundos en el agua regia ya que es propenso a quemarse con dicho ácido.
- En las macrografías del cordón de soldadura se nota una diferencia de matiz entre pases de cordón, esto se debe a que el ataque realizado en estas probetas se hizo un día anterior a la toma de fotografías de dichas probetas, esto quiere decir que el agua regia continuaba con el ataque a las piezas a pesar de transcurrir un largo tiempo antes de tomar las fotografías.

- La zona afectada por el calor (ZAC) en la probeta del cordón de soldadura de la parte derecha Fig. 3.8., tiende a crecer a partir del primer pase hacia el último pase en cambio la ZAC del cordón de soldadura de la parte izquierda tiende a mantenerse constante, esto se debe a que la soldadura fue realizada de derecha a izquierda por lo que el calor tiene una penetración más profunda al iniciar el cordón de soldadura.
- En los estudios micrográficos Fig. 3.4., se observan que el material base del acero inoxidable ferrítico tiene granos grandes en comparación a otros materiales, esto es una característica común de estos aceros, en la ZAC debido al calor de la soldadura los granos tienden a crecer más de lo normal provocando su endurecimiento.
- Al observar las Fig.3.11., 3.12., 3.13. y 3.14., son las medidas de las zonas afectadas por el calor se puede concluir que son aceptables, esto se debe a que los cortes del material fueron realizados con la cortadora de disco en frío, evitando así alteraciones en el grano del material es por eso que se concluye que para este tipo de aceros, los cortes en frío, así se evita grandes zonas afectadas por el calor.
- En los ensayos de tracción se puede observar en la ruptura dos tipos de estructuras: brillante (dúctil) y opaca (frágil), la estructura ideal de un buen ensayo de tracción debe ser frágil, pero al tener una área dúctil en el lugar de la ruptura quiere decir que el enfriamiento de la soldadura fue rápido, y esto se debe a que dicho enfriamiento fue realizado en arena, colocando la placa soldada de forma vertical, lo que demuestra que el enfriamiento en la parte inferior de la placa fue más lento que la parte superior entonces se concluye que para este tipo de aceros se debe enfriar el cordón de soldadura de forma lenta y uniforme para evitar cambios en la estructura de la ruptura del material.
- En los ensayos de tracción también se observa un poro entre el primer y segundo pase, esto ocurre por la penetración de oxígeno que existe al hacer pausas entre pase y pase.
- En las rupturas de las probetas del ensayo de tracción existen unas fisuras en el primer pase que es el pase de refuerzo, esto se debe a una falta de fusión en el momento de soldar, es por eso que al ser fracturado se genera una ruptura irregular.
- En los ensayos de doblado se tienen excelentes resultados en los ensayos de cara produciéndose un alargamiento uniforme mientras se produce los dobles, esto se debe a que los pases finales se los realizaron con los parámetros ideales.

- También se puede observar en uno de los ensayos de dobles de raíz que se produjo una rotura cerca de la ZAC esto se debe a que la soldadura contiene martensita.

3.2.1. Análisis de los ensayos no destructivos

3.2.1.1. Ensayos radiográficos

Para realizar el estudio radiográfico se utilizó una probeta con las características ya mencionadas en el anterior capítulo. Para observar la película radiada se utilizó el negoscopio del laboratorio de ensayos no destructivos de la Escuela Politécnica Nacional, y con la ayuda de personal calificado nivel II y nivel III se pudo observar los defectos encontrados en la soldadura.

Se observa dos manchas prominentes a los bordes de la película, son errores en la técnica de revelado.



Fig. 3.19. Radiografía de probeta (lado izquierdo).

(Fuente propia)

En esta probeta se observa 3 poros extremadamente pequeños.

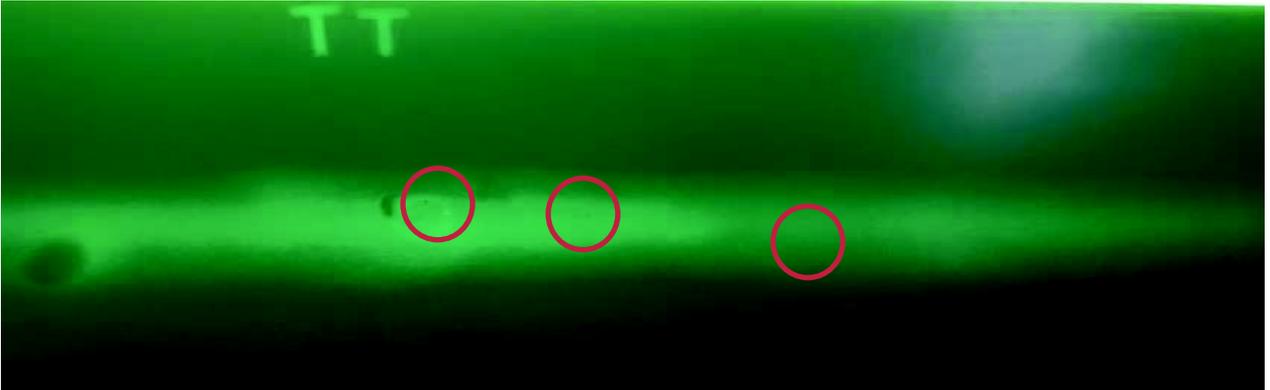


Fig. 3.20. Radiografía de probeta (lado derecho).
(Fuente propia)

3.2.1.2. Ensayos metalográficos

Es importante recalcar que el material estudiado es el acero 410S que fue atacado previamente con agua regia para su estudio micrográfico y metalográfico.

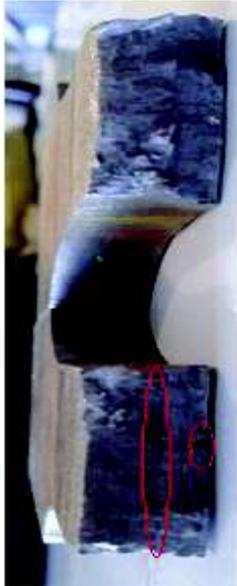
- En la Fig. 3.5. Se observa en el cordón soldadura la forma estructural de la austenita, en donde los granos tienen un crecimiento equiaxial dirigiéndose hacia la parte superior de la soldadura. Iniciando en el primer pase de soldadura y abriéndose hasta el último pase de soldadura.
- En la Fig. 3.6. Esta es una imagen del cordón de soldadura entre pase y pase en donde se observa claramente el inicio y final del pase, de igual manera se observa que los granos de austenita se dirigen hacia la parte superior. También se observa pequeños granos de color negro uniformemente redondo cerca de los inicios y finales de pases.
- En la Fig. 3.7. En esta imagen se observa la zona afectada por el calor de la parte central izquierda de la soldadura, en donde claramente se mira la diferencia de material y de granos de ferrita y austenita. Notándose que los granos de los dos materiales tienden a desviarse hacia arriba, y en el caso de la ferrita tiende a decrecer hacia la izquierda.
- En la Fig. 3.8. Se observa claramente la zona afectada por el calor y el direccionamiento del grano en el cordón de soldadura que es hacia arriba,

también se observa una diferencia de estructura entre los primeros y los demás pases.

- En la Fig. 3.9., en esta imagen se observa el número de pases en el cordón de soldadura, existen unas líneas pronunciadas entre pase y pase.

3.2.2. Análisis de los ensayos destructivos

3.2.2.1. Ensayos de tensión

OBSERVACIONES	
<p>Se observa un área brillante (zona frágil) en la ruptura, la ruptura se genera en el cordón de soldadura más no en la zona afectada por el calor (ZAC). Se nota que la ruptura es uniforme en todo el largo.</p>	
<p>Se observa que la ruptura fue provocada en el cordón de soldadura, mas no en la zona afectada por el calor (ZAC). El área de la ruptura es de color oscuro (zona dúctil). Tiene un poro en el primer pase de soldadura y una fisura entre pase y pase.</p>	

(Fuente propia)

3.2.2.2. Ensayos de doblado

ENSAYOS DE DOBLADO	OBSERVACIONES
	<p>DOBLADO DE CARA</p> <p>Se observa en uno de las probetas dobladas tiene una fisura de aproximadamente 1mm fuera de la zona afectada por el calor (ZAC). Y como se puede observar los cordones de soldadura después de ser doblados tienden a alargarse.</p>
	<p>DOBLADO DE RAIZ</p> <p>Se observa que los doblados no tienen ningún defecto en el área de soldadura. Pero el cordón de soldadura después de ser doblado se convierte en un cordón alargado.</p>

(Fuente propia)

4. CONCLUSIONES

- En conclusión de acuerdo con la Norma ASME sección IX los resultados de las pruebas de ensayos tanto destructivos como no destructivos cumplen con los parámetros dictados en dicha Norma, por ende la soldadura es aceptable. Esto quiere decir que la unión de estos dos materiales: acero ferrítico y acero austenítico son recomendables para la industria.
- Al realizar las metalografías es recomendable para el acero inoxidable ferrítico colocarlo en agua regia durante 5 minutos o más, para lograr una buena apariencia de su microestructura en el microscopio. En cambio para el acero inoxidable austenítico es recomendable mantenerlo en agua regia aproximadamente por 5 segundos.
- Para realizar los cortes en la placa es recomendable realizarlos con la cortadora de acero mediante chorro de agua a presión.
- En la soldabilidad del material, el cordón de raíz debe ser de excelente calidad, para evitar roturas o fallas en los ensayos de tracción.
- Se concluye que los cordones de soldadura deben realizarse a baja velocidad, para evitar la compresión de oxígeno entre los pases.
- Para el enfriamiento del cordón de soldadura, se recomienda realizarlo en arena, con el fin de reducir la velocidad de enfriamiento.
- Se concluye que es importante precalentar el material, para evitar cambios bruscos de su microestructura al momento de ser soldado.
- Para realizar las micrografías de recomienda usar mínimo tres muestras del material de aporte, material base y cordón de soldadura, para tener un mejor análisis de sus microestructuras.
- Para los ensayos de tracción, es importante que las probetas cumplan con las medidas predispuestas por la Norma ASME sección IX.
- Se concluye que es importante calcular el número de ferrita con el diagrama de Schaeffler, diagrama de Long y diagrama WRC, para obtener datos más precisos.
- Se concluye que es mejor graficar los puntos del cromo y nique equivalente en el diagrama WRC, ya que es el más preciso.
- Para aceros inoxidables austeníticos se puede utilizar cualquiera de los tres diagramas como son: diagrama de Schaeffler, diagrama de Long o diagrama WRC,

pero para los aceros inoxidable ferríticos se debe usar solamente el diagrama de Schaeffler, debido a las escalas que contienen estos diagramas.

- Para soldaduras de aceros inoxidable ferríticos, es recomendable realizar un tratamiento térmico, con el fin de aumentar su resistencia a la corrosión.
- Después de realizar este proyecto se concluye que el material de aporte 308L es adecuado para la soldabilidad del acero inoxidable ferríticos. Ya que el cordón de soldadura formado por estos dos materiales cumplen con la aceptación de la Norma ASME sección IX.
- Es recomendable para la soldabilidad de aceros disimiles, utilizar el procedimiento de soldadura SMAW, ya que este proceso es el más común y sencillo de aplicarlo.
- El contenido de ferrita en el cordón de soldadura formado por el acero inoxidable ferrítico 410S y el material de aporte 308L, tiene un contenido de 10% de ferrita.
- El WPS realizado según el código ASME sección IX, fue revisado y aprobado satisfactoriamente.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Monsalbe G, Héctor y otros. (2004). Efecto del Amperaje en las Propiedades de Recubrimientos Duros Resistentes a la Abrasión Aplicados por Soldadura. Medellín.
- [2] Clasificación y características de aceros inoxidable. (Sin fecha). Recuperado de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html#seccion5>.
- [3] Cortés P, Ramón y otros. (2004). Estudio de la Soldabilidad y Corrosión del Acero Inoxidable AISI 904L con los Agentes Utilizados en la Lixiviación del Cobre. Revista Facultad de Ingeniería. Chile.
- [4] Clasificación de acero inoxidable. (Sin fecha). Recuperado de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn102.html#seccion42>.
- [5] Muthupandi V, Bala Srinivasan P, Seshadri SK, Sundaresan S. (2003). Effect of weld metal chemistry and heat input on the structure and properties of duplex stainless steel welds. Materials Science and Engineering. USA.
- [6] Aceros inoxidable. (Sin fecha). Recuperado de <http://www.lincolnelectric.com/es-es/support/welding-how-to/Pages/process-selection-detail.aspx>.
- [7] Esmailian M. (2010). The effect of cooling rate and austenite grain size on the austenite to ferrite transformation temperature and different ferrite morphologies in microalloyed steels. Iranian Journal of Materials Science & Engineering.
- [8] Aceros inoxidable y sus aplicaciones. (2012). Recuperado de http://www.alexandersaavedra.com/2010/02/soldadura-de-aceros-inoxidables_02.html.
- [9] USA, The Materials Information Society (2008). ASM HANDBOOK; Elements of metallurgy and engineering alloys.
- [10] Manual aceros inoxidable para soldar. (2010). Recuperado de <http://www.lincolnelectric.com/es-es/support/welding-how-to/Pages/process-selection-detail.aspx>.
- [11] USA, The Materials Information Society (2008). ASM HANDBOOK; Vol. 3; Alloy Phase Diagrams.
- [12] Chango, P. (2014). Análisis de los problemas de corrosión en la soldadura de los aceros 304L, 316L. (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- [13] Kalpakjian. (2008). Manufactura. Ingeniería y tecnología. México, Perarson Educación.
- [14] Para el ingeniero de materiales. (sin fecha). Recuperado de <http://llevalapunte.blogspot.com/2014/01/40-preguntas-basicas-sobre-el-acero.html>.

- [15] Guía de laboratorio de Ensayos no destructivos. Apuntes de clases. Facultad de Ingeniería Mecánica. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador, 2015.
- [16] Soldabilidad en aceros inoxidable y aceros disimiles. (Sin fecha). Recuperado de <http://www.jnaceros.com.pe/blog/acero-inoxidable-introduccion/soldadura-acero-inoxidable/>.
- [17] The American Society of Mechanical Engineers. (2010) Welding and Brazing Qualifications (ASME sección IX). USA.
- [18] Que es el acero inoxidable. (Sin fecha). Recuperado de http://www.ferweld.com.ar/elec_especiales_aceros_inoxidables2.htm.
- [19] “Soldadura de Producción y Mantenimiento”. Apuntes de clases. Facultad de Ingeniería Mecánica. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador, 2015.
- [20] LEFEBVRE, J. 1993 Guidance on specifications of ferrite in stainless steel welds metals. *Welding in the World*, Vol. 31(6). 390 – 407.
- [21] I, D. J. Welding parameter affects on open-arc stainless steel weld metal ferrite. *Welding Journal*, 1978. Vol. 57(4). 109 – 117.

ANEXOS

ANEXO I. Certificación de inspección del material 410S

ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-Temperature Service

1. Scope :-

- 1.1 This specification covers forged low alloy and stainless steel piping components for use in pressure system. Included are flanges, fittings, valves, and similar parts to specified dimensional standards, such as the ASME specifications that are referenced in section 2.
- 1.2 For bars and products machined directly from bar (other than those directly addressed by this specification; see 6.4), refer to specifications A479/A479 M and A739 for the similar grades available in those specifications. Products made to this specification are limited to a maximum weight of 10000 lb [4540 kg]. For larger products for other application, refer to specifications A336/A336M and A965/A965M for the similar ferritic and austenitic grades, respectively, available in those specifications.
- 1.3 Several grades of low alloy steels and ferritic, martensitic, austenitic, and ferritic/austenitic stainless steels are included in this specification. Selection will depend upon design and service requirements. Several of the ferritic/austenitic (duplex) grades are also found in specification A1049/A1049M.
- 1.4 Supplementary requirements are provided for use when additional testing or inspection is desired. These shall apply only when specified individually by the purchaser in the order.
- 1.5 This specification is expressed in both inch-pound units and in SI units. However, unless the order specifies the applicable "M" specification designation (SI units), the material shall be furnished to inch-pound units.
- 1.6 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as the standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two system may result in nonconformance with the standard.

2. Referenced Documents :-

- 2.1 In addition to the referenced documents listed in specification A961/A961M, the following list of standards apply to this specification.
- 2.2 ASTM Standards :-
 - A262 practices for detecting susceptibility to inter granular attack in Austenitic Stainless Steels
 - A275/A275M Practice for magnetic Examination of Steel forgings
 - A336/A336M specification for alloy steel forgings for pressure and high-temperature parts
 - A370 test methods and definitions for mechanical testing of steel products
 - A479/A479M specification for stainless steel bars and shapes for use in boilers and shapes for use in boiler and other pressure vessels
 - A484/A484M specification for general requirements for stainless steel bars, billers, and forgings
 - A739 specification for steel bar, alloy, hot-wrought, for elevated temperature or pressure-containing parts, or both

ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-Temperature Service

A763 practices for detecting susceptibility to inter granular attack in ferritic stainless steels

A788/A788M specification for steel forgings, general requirements

A961/A961M specification for common requirements for steel flanges, forged fittings, valves, and parts for piping application

A965/A965M specification for steel forgings, austenitic, for pressure and high

temperature parts A1049/A1049M specification for stainless steel forgings, ferritic/Austenitic (duplex), for pressure vessels and related components

E92 test method for Vickers hardness of metallic material

E112 test methods for determining average Grain size

E165 practice for liquid penetrant examination for general industry

E340 test method for Macroetching metals and alloys

2.3 ASME boiler and pressure vessel codes:

Section IX welding and brazing qualifications

2.4 AWS Specification

A5.4/A5.4M specification for stainless steel electrodes for shielded metal arc welding

A5.5/A5.5M specification for low alloy steel electrodes for shielded metal arc welding

A5.9/A5.9M specification for bare stainless steel welding electrodes and rods

A5.11/A5.11M specification for nickel and nickel alloy welding electrodes for shielded metal arc welding

A5.14/A5.14M specification for nickel and nickel alloy bare welding electrodes and rods

A5.23/A5.23M specification for low alloy steel electrodes and fluxes for submerged arc welding

A5.29/A5.29M low alloy steel electrodes for flux cored arc welding

3. Terminology :-

3.1 Definitions – for definition of terms used in this specification, refer to specification A961/A961M.

3.2 Definitions of terms specific to this standard:

3.2.1 Hardened condition, n – for F23, the metallurgical condition achieved after normalizing and cooling to room temperature but prior to tempering.

4. Ordering Information :-

4.1 It is the purchaser's responsibility to specify in the purchase order all ordering information necessary to purchase the needed material. In addition to the ordering information guidelines in specification A961/A961M, orders should include the following information:

4.1.1 Additional requirements (see 7.2.1, Table 2 footnotes, 9.3, and 18.2), and

4.1.2 Requirement, if any, that manufacturer shall submit drawings for approval showing the shape of the rough forging before machining and the exact location of test specimen material (see 9.3.1).

5. General Requirements :-

ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-Temperature Service

indicated in the purchase order. Failure to comply with the general requirements of specification A961/A961M constitutes non-conformance with this specification. In case of conflict between the requirements of this specification and specification A961/A961M, this specification shall prevail.

6. Manufacture :-

- 6.1 The low-alloy ferritic steels may be made by the open-hearth, electric-furnace, or basic-oxygen process with separate degassing and refining processes in each case.
- 6.2 The stainless steel shall be melted by one of the following processes: (a) electro-furnace (with the option of separate degassing and refining processes); (b) vacuum furnace; or (c) one of the former followed by vacuum or electroslag-consumable remelting. Grade F XM-27Cb may be produced by electro-beam melting.
- 6.3 A sufficient discard shall be made to secure freedom from injurious piping and undue segregation.
- 6.4 The material shall be forged as close as practicable to the specified shape and size.
 - 6.4.1 Flange of any type, elbow, return bends, tees, and header tees shall not be machined directly from bar stock.
 - 6.4.2 Cylindrically-shaped parts may be machined from forged or rolled solution-annealed austenitic stainless steel bar without additional hot working.
 - 6.4.3 Small cylindrically-shaped low alloy and martensitic stainless steel parts, NPS-4 [DN 100] and under, may be machined from forged or rolled bar, without additional hot working.
- 6.5 Except as provided for in 4.4, the finished product shall be a forging as defined in the Terminology section of Specification A 788/A788M.

7. Heat Treatment :-

- 7.1 Temperature below 1000°F [538°C] prior to heat treating in accordance with the requirements of Table 1.
- 7.2 Low Alloy Steels and Ferritic and Martensitic Stainless Steels—The low alloy steels and ferritic and martensitic stainless steels shall be heat treated in accordance with the requirements of 7.1 and Table 1. When more than one heat treatment option is listed for a grade in Table 1, any one of the heat treatment listed shall be performed. The section of the heat treatment shall be at the manufacturer's option, unless otherwise stated in the purchase order.
 - 7.2.1 Liquid Quenching—When agreed to by the purchaser, liquid quenching followed by tempering shall be permitted provided the temperatures in Table 1 for each grade are utilized.
 - 7.2.1.1 Marking – parts that are liquid quenched and tempered shall be marked "QT."
 - 7.2.2 Alternatively, Grade F 1, F 2, and F 12, Classes one and two may be given a heat treatment of 1200°F (650°C) minimum after final hot or cold forming.
- 7.3 Austenitic and Ferritic-Austenitic Stainless Steels—The austenitic and ferritic-austenitic stainless steels shall be heat treated in accordance with the requirements of 7.1 and Table 1.
 - 7.3.1 Alternatively, immediately following hot working,

**ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-
Temperature Service**

while the temperature of the forging is not less than the minimum solution annealing temperature specified in Table 1, forging made from austenitic grades (except grades F 304H, F 309H, F 310H, F 316H, F 321, F 321 H, F 347, F 347H, F348, F 348H, F 45, and F 56) may be individually rapidly quenched in accordance with the requirements of Table 1.

7.3.2 See Supplementary Requirement S14 if a particular heat treatment method is to be employed.

7.4 Time of Heat Treatment—Heat treatment of forgings may be performed before machining.

7.5 Forged or Rolled Bar—Forged or rolled austenitic stainless bar from which small cylindrically shaped parts are to be machined, as permitted by 6.4, and the parts machined from such bar, without heat treatment after machining, shall be furnished to the annealing requirements of Specification A 479/A479M or this specification, with subsequent light cold drawing and straightening permitted (see Supplementary Requirement S9 if annealing must be the final operation).

TABLE 1 Heat Treating Requirements

Grade	Heat treat type	Austenitizing/Solutioning Temperature, min °F (°C) ^A	Cooling Media	Quenching Cool Below °F (°C)	Tempering Temperature min °F (°C)
Low Alloy Steel					
F 1	Anneal	1650 [900]	furnace cool	B	B
	normalize and temper	1650 [900]	air cool	B	1150 [620]
F 2	Anneal	1650 [900]	furnace cool	B	B
	normalize and temper	1650 [900]	air cool	B	1150 [620]
F 5, F 5a	Anneal	1750 [955]	furnace cool	B	B
	normalize and temper	1750 [955]	air cool	B	1250 [675]
F 9	Anneal	1750 [955]	furnace cool	B	B
	normalize and temper	1750 [955]	air cool	B	1250 [675]
F 10	Solution treat and quench	1900[1040]	liquid	500[260]	B

**ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-
Temperature Service**

F 91	normalize and temper	1900-1975 [1040-1080]	Air cool	B	1350-1470 [730-800]
F 92	normalize and temper	1900-1975 [1040-1080]	Air cool	B	1350-1470 [730-800]
F 122	normalize and	1900-1975 [1040-1080]	Air cool	B	1350-1470 [730-800]

	temper				
F 911	normalize and temper	1900-1975 [1040-1080]	Air cool or liquid	B	1365-1435 [740-780]
F 11, Class 1, 2, 3	Anneal normalize and temper	1650 [900] 1650 [900]	furnace cool air cool	B B	B 1150 [620]
F 12, Class 1, 3	Anneal normalize and temper	1650 [900] 1650 [900]	furnace cool air cool	B B	B 1150 [620]
F 21, F 3V, and F 3VCb	Anneal normalize and temper	1750 [955] 1750 [955]	furnace cool air cool	B B	B 1250 [675]
F 22, Class 1,3	Anneal normalize and temper	1650 [900] 1650 [900]	furnace cool air cool	B B	B 1250 [675]
F 22V	normalize and temper or quench and temper	1650 [900]	air cool or liquid	B	1250 [675]
F 23	normalize and temper	1900-1975 [1040-1080]	air cool accelerate	B	1350-1470 [730-800]

**ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-
Temperature Service**

F 24	normalize and temper	1800-1975 [980-1080]	air cool or liquid	B	1350-1470 [730-800]
FR	Anneal	1750 [955]	furnace cool air	B	B
	Normaliz normalize and temper	1750 [955]	cool air	B	B
		1750 [955]	cool	B	1250 [675]
F 36, Class 1	normalize and temper	1650 [900]	air cool	B	1100 [595]
F 36, Class 2	normalize and temper quench and	1650 [900]	air cool	B	1100 [595]
		1650 [900]	accelerate air cool	B	1100 [595]

	temper		or liquid		
Martensitic Stainless Steel					
F 6a Class 1	Anneal	Not specified	furnace cool	B	B
	normalize and temper temper	Not specified	air cool	400[205]	1325[725]
		Not specified	air cool	B	1325[725]
F 6a Class 2	Anneal	Not specified	furnace cool	B	B
	normalize and temper temper	Not specified	air cool	400[205]	1250[675]
		Not specified	air cool	B	1250[675]
F 6a Class 3	Anneal	Not specified	furnace cool	B	B
	normalize and temper	Not specified	air cool	400[205]	1100[595]
F 6a Class 4	Anneal	Not specified	furnace cool	B	B
	normalize and temper	Not specified	air cool	400[205]	1000[540]

**ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-
Temperature Service**

F 6b	Anneal normalize and temper	1750 [955] 1750 [955]	furnace cool air cool	B 400[205]	B 1150[620]
F 6NM	normalize and temper	1850 [1010]	air cool	200 [95]	1040-1120 [560-600]
Ferritic Stainless Steel					
F XM-27 Cb	Anneal	1850 [1010]	furnace cool	B	B
F 429	Anneal	1850 [1010]	furnace cool	B	B
F 430	Anneal	Not specified	furnace cool	B	B
Austenitic Stainless Steel					
F 304	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
F 304H	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
F 304L	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
F 304N	Solution	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
	treat and quench				
F 304LN	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
F 309H	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
F 310	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
F 310H	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B

**ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-
Temperature Service**

F 310MoLN	Solution treat and quench	1900-2010 [1050-1100]	Liquid	500 [260]	B
F 316	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
F 316H	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
F 316L	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	BB
F 316N	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
F 316LN	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
F 316Ti	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
F 317	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
F 317L	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
S31727	Solution treat and quench	1975-2155 [1080-1180]	Liquid	500 [260]	B
S32053	Solution treat and quench	1975-2155 [1080-1180]	Liquid	500 [260]	B
F 347	Solution treat and	1900 [1040]	liquid	500 [260]	B
	quench				
F 347H	Solution treat and quench	2000 [1095]	Liquid	500 [260]	B

**ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-
Temperature Service**

F 348	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
F 348H	Solution treat and quench	2000 [1095]	Liquid	500 [260]	BB
F 321	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	
F 321H	Solution treat and quench	2000 [1095]	Liquid	500 [260]	B
F XM-11	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
F XM-19	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
F 20	Solution treat and quench	1700-1850 [925-1010]	Liquid	500 [260]	B
F 44	Solution treat and quench	2100 [1150]	Liquid	500 [260]	BB
F 45	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
F 46	Solution treat and quench	2010-2140 [1100-1140]	Liquid	500 [260]	B
F 47	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
F 48	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
F 49	Solution treat and quench	2050 [1120]	Liquid	500 [260]	
F 56	Solution treat and quench	2050-2160 [1120-1180]	Liquid	500 [260]	B

ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-
Temperature Service

F 58	Solution treat and quench	2085 [1140]	Liquid	500 [260]	B
F 62	Solution treat and quench	2025 [1105]	Liquid	500 [260]	B
F 63	Solution treat and quench	1900 [1040]	Liquid	500 [260]	B
F 64	Solution treat and quench	2010-2140 [1100-1170]	Liquid	500 [260]	B
F 904L	Solution treat and quench	1920-2100 [1050-1150]	Liquid	500 [260]	B
Ferritic - Austenitic			Stainless	Steel	
F 50	Solution treat and quench	1925 [1050]	Liquid	500 [260]	B
F 51	Solution treat and quench	1870 [1020]	Liquid	500 [260]	B
F 52 ^c			Liquid	500 [260]	B
F 53	Solution treat and quench	1880 [1025]	Liquid	500 [260]	B
F 54	Solution treat and quench	1920-2060 [1050-1125]	Liquid	500 [260]	B
F 55	Solution treat and quench	2010-2085 [1100-1140]	liquid	500 [260]	B
F 57	Solution treat and quench	1940 [1060]	Liquid	175 [80]	B
F 59	Solution treat and quench	1975-2050 [1080-1120]	Liquid	500 [260]	B
F 60	Solution treat and quench	1870 [1020]	Liquid	500 [260]	B

**ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-
Temperature Service**

F 61	Solution treat and quench	1920-2060 [1050-1125]	Liquid	500 [260]	B
F 65	Solution treat and quench	1830-2100 [1000-1150]	Liquid ⁹	500 [260]	B
F 66	Solution treat and quench	1870-1975 [1020-1080]	Liquid	500 [260]	B
F 67	Solution treat and quench	1870-2050 [1020-1120]	Liquid	500 [260]	B

8. Chemical Composition :-

- 8.1 A chemical heat analysis in accordance with specification A961/A961M shall be made and conform to the chemical composition prescribed in Table 2.
- 8.2 Grades to which lead, selenium, or other elements are added for the purpose of rendering the material free-machining shall not be used.
- 8.3 Starting material product to a specification that specifically requires the addition of any element beyond those listed in Table 2 for the applicable grade of material, is not permitted.
- 8.4 The steel shall conform to the requirements as to chemical composition for the grade ordered as listed in Table 2.
- 8.5 Product Analysis – The purchaser may make a product analysis on product supplied to this specification in accordance with specification A961/A961M.

9. Mechanical Properties :-

- 9.1 The material shall conform to the requirements as to mechanical properties for the grade ordered as listed in Table 3.
- 9.2 pared from the stock used to make the finished product. In either case, mechanical test specimens shall not be removed until after all heat treatment is complete. If repair welding is required, test specimens shall not be removed until after post-weld heat treatment is complete, except for ferritic grades when the post-weld heat treatment is conducted at least 50°F [30°C] below the actual tempering temperature. When test blanks are used, they shall receive approximately the same working as the finished product. The test blanks shall be heat treated with the finished product and shall approximate the maximum cross section of the forgings they represent.
- 9.3 For normalized and tempered, or quenched and tempered forgings, the central axis of the test specimen shall correspond to the 1/4 T plane or deeper position where T is the maximum heat treated thickness of the represented forging. In addition, for quenched and tempered forgings, the midlength of the test specimen shall be at least T from any second heat treated surface. When the section thickness does not permit this positioning, the test specimen shall be positioned as near as

ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-Temperature Service

possible to the prescribed location, as agreed to by the purchaser and the supplier 9.3.1 With prior purchase approval, the test specimen for ferritic steel forgings may be taken at a depth (t) corresponding to the distance from the area of significant stress to the nearest heat treated surface and at least twice this distance (2 t) from any second surface. However, the test depth shall not be nearer to one treated surface than 3/4 in. *19 mm+ and to the second treated surface than 1 1/2 in. *38 mm+. This method of test specimen location would normally apply to contour-forged parts, or parts with thick cross-sectional areas where 1/4 T 3 T testing (7.3) is not practical. Sketches showing the exact test locations shall be approved by the purchaser when this method is used.

9.4 For annealed low alloy steels, ferritic stainless steels, and martensitic stainless steels and also for austenitic and ferritic-austenitic stainless steels, the test specimen may be taken from any convenient location.

9.5 Tension Tests:

9.5.1 Low alloy steel and ferritic and martensitic stainless Steels—One tension test shall be made for each heat in each heat treatment charge.

9.5.1.1 When the heat-treating cycles are the same and the furnaces (either batch or continuous type) are controlled within 625°F [614°C] and equipped with recording pyrometers so that complete records of heat treatment are available, then only one tension test from each heat of each forging type (Note 1) and section size is required instead of one test from each heat in each heat-treatment charge.

9.5.2 Austenitic and Ferritic-Austenitic Stainless Steel Grades—One tension test shall be made for each heat.

9.5.2.1 When heat treated in accordance with 5.1, the test blank or forging used to provide the test specimen shall be heat treated with a finished forged product.

9.5.2.2 When the alternative method in 5.3.1 is used, the test blank or forging used to provide the test specimen shall be forged and quenched under the same processing conditions as the forgings they represent.

9.5.3 Testing shall be performed in accordance with Test Methods and Definitions A 370 using the largest feasible of the round specimens. The gage length for measuring elongation shall be four times the diameter of the test section.

9.6 Hardness Tests:

9.6.1 Except when only one forging is produced, a minimum of two pieces per batch or continuous run as defined in 9.6.2 shall be hardness tested in accordance with Test Methods and Definitions A 370 to ensure that the forgings are within the hardness limits given for each grade in Table 3. The purchaser may verify that the requirement has been met by testing at any location on the forging provided such testing does not render the forging useless.

9.6.2 When the reduced number of tension tests permitted by 9.5.1.1 is applied, additional hardness tests shall be made on forgings or samples as defined in 9.2 scattered throughout the load (Note 2). At least eight samples shall be checked from each batch load and at least one check per hour shall be made from a continuous run. When the furnace batch is less than eight forgings, each forging shall be checked. If any check falls outside the prescribed

**ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-
Temperature Service**

limits, the entire lot of forgings shall be reheat treated and the requirements of 9.5.1 shall apply.

9.6.3 When the alternative to the Ti/N ratio limit for F23 is applied, (see Note P in Table 2), a minimum of two pieces per batch or continuous run as defined in 9.6.2 shall be hardness tested, in the hardened condition (see 3.2.1), to ensure that the forgings are within the hardness limit given for F23 in Note P of Table 2. The test sample shall be taken at the mid thickness of the thickest section of the product. Testing shall be performed in accordance with the test method E92 or with Test Methods and definitions A370. 9.7 Notch Toughness Requirements—Grades F 3V, F 3VCb, and F 22V.

9.7.1 Impact test specimens shall be Charpy V-notch Type, as shown in Fig. 11a of Test Methods and Definitions A 370. The usage of subsize specimens due to material limitations must have prior purchaser approval.

9.7.2 The Charpy V-notch test specimens shall be obtained as required for tension tests in 7.2, 7.3 and 7.5. One set of three Charpy V-notch specimens shall be taken from each tensile specimen location.

Composition %													
Identification System	UNS Designation	Grade	C	Mn	P	S	Si	Ni	Ch	Mo	Cb	Ti	Other element
Low Alloy Steel													
F 1	K12822	C-Mo	0.28	0.60-0.90	0.045	0.045	0.15-0.35	...	...	0.44-0.65	...	...	...
F 2 ^a	K12122	0.5% Cr, 0.5% Mo	0.05-0.21	0.30-0.80	0.040	0.040	0.10-0.60	...	0.50-0.81	0.44-0.65	...	...	...
F 5 ^c	K41545	4 to 6 % Cr	0.15	0.30-0.60	0.030	0.030	0.50	0.50	4.0-6.0	0.44-0.65	...	...	...
F 5a ^c	K42544	4 to 6 % Cr	0.25	0.60	0.040	0.030	0.50	0.50	4.0-6.0	0.44-0.65	...	...	...
F 9	K90941	9 % Cr	0.15	0.30-0.60	0.030	0.030	0.50-1.00	...	8.0-10.0	0.90-1.10	...	...	...
F 10	K33100	20 Ni, 8 Cr	0.10-0.20	0.50-0.80	0.040	0.030	1.00-1.40	19.0-22.0	7.0-9.0	...	...	...	...
F 91	K90901	9 % Cr, 1 %Mo, 0.2% V, Plus, Cb and N	0.08-0.12	0.30-0.60	0.020	0.010	0.20-0.50	0.40	8.0-9.5	0.85-1.05	0.06-0.10	...	N 0.03-0.07, Al 0.02 ^o V 0.18-0.25 Ti 0.01 ^o Zr 0.01 ^o

ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-
Temperature Service

F 92	K92460	9 % Cr, 1.8% Tungsten, 0.2% V Plus Cb and N	0.07- 0.13	0.30- 0.60	0.020	0.010	0.50	0.40	8.50- 9.50	0.30- 0.60	0.04- 0.09	...	V 0.15-0.25 N 0.030-0.070 Al 0.02 ^g W 1.50-2.00 B 0.001-0.006 Ti 0.01 ^g
------	--------	--	---------------	---------------	-------	-------	------	------	---------------	---------------	---------------	-----	--

9.7.3 The longitudinal axis and mid-length of impact specimen shall be located similarly to the longitudinal axis of the tension test specimens. The axis of the notch shall be normal to the nearest heat treated surface of the forging.

9.7.4 The Charpy V-notch tests shall meet a minimum energy absorption value of 40 ft-lbf [54 J] average of three specimens. One specimen only in one set may be below 40 ft-lbf [54 J], and it shall meet a minimum value of 35 ft-lbf [48 J].

9.7.5 The impact test temperature shall be 0°F *-18°C+.

TABLE 2 Chemical Requirements^A

ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-

Temperature Service

													Zr 0.01 ^o
F 122	K91271	11% Cr, 2% Tungsten, 0.2% V Plus	0.07- 0.14	0.70	0.020	0.010	0.50	0.50	10.00- 11.50	0.25- 0.60	0.04- 0.10	...	V 0.15-0.30 B 0.005 N 0.040-0.100 Al 0.02 ^o Cu 0.30-1.70 W 1.50-2.50 Ti 0.01 ^o Zr 0.01 ^o
F 911	K91061	9% Cr, 1% Mo, 0.2% V, Plus Cb and N	0.09- 0.13	0.30- 0.60	0.020	0.010	0.10- 0.50	0.40	8.5- 9.5	0.90- 1.10	0.060- 0.10	...	W 0.90-1.10 Al 0.02 ^o N 0.04-0.09 V 0.18-0.25 B 0.0003-0.00 Ti 0.01 ^o Zr 0.01 ^o
F 11 Class1	K11597	1.25% Cr, 0.5% Mo	0.05- 0.15	0.300.60	0.030	0.030	0.50- 1.00	...	1.00- 1.50	0.44- 0.65	...	...	...
F 11 Class2	K11572	1.25% Cr, 0.5% Mo	0.10- 0.20	0.30- 0.80	0.040	0.040	0.50- 1.00	...	1.00- 1.50	0.44- 0.65	...	...	...
F 11 Class 3	K11572	1.25% Cr, 0.5% Mo	0.10- 0.20	0.30- 0.80	0.040	0.040	0.50- 1.00	...	1.00- 1.50	0.44- 0.65	...	...	...
F 12 Class 1	K11562	1% Cr, 0.5% Mo	0.05- 0.15	0.30- 0.60	0.045	0.045	0.50 max	...	0.80- 1.25	0.44- 0.65	...	...	...
F 12 Class 2	K11564	1% Cr, 0.5% Mo	0.10- 0.20	0.30- 0.80	0.040	0.040	0.10- 0.60	...	0.80- 1.25	0.44- 0.65	...	...	...
F 21	K31545	Cr-Mo	0.05- 0.15	0.30- 0.60	0.040	0.040	0.50 max	...	2.7- 3.3	0.80- 1.06	...	...	...
F 3V	K31830	3% Cr, 1% Mo, 0.25% V Plus B	0.05- 0.18	0.30- 0.60	0.020	0.020	0.10	...	2.8- 3.2	0.90- 1.10	...	0.015- 0.035	V 0.20-0.30 B 0.001-0.003

ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-

Temperature Service													
Class 1			0.15	0.60					2.50	1.13			
F 22 Class 2	K21590	Cr-Mo	0.05- 0.15	0.30- 0.60	0.040	0.040	0.50	...	2.00- 2.50	0.87- 1.13	...	...
F 22V	K31835	2.25% Cr, 1% Mo 0.25% V	0.11- 0.15	0.30- 0.60	0.015	0.010	0.10	0.25	2.00- 2.50	0.90- 1.10	0.07	0.030	Cu 0.20 V 0.25-0.35 B 0.002 Ca 0.01!
F 23	K41650	2.25% Cr, 1.6% W, 0.25% V, Plus Cb, and B	0.04- 0.10	0.10- 0.60	0.030	0.010	0.50	0.40	1.90- 2.60	0.05- 0.30	0.02- 0.08	0.005- 0.060 ²	V 0.20-0.30 B 0.0010-0.006 N 0.015 ⁴ Al 0.030 W 1.45-1.75
F 24	K30736	2.25% Cr, 1% Mo 0.25% V Plus Ti and B	0.05- 0.10	0.30- 0.70	0.020	0.010	0.15- 0.45	...	2.20- 2.60	0.90- 1.10	...	0.06- 0.10	V 0.20-0.30 N 0.12 Al 0.020 B 0.0015-0.007
FR	K22035	2% Ni, 1% Cu	0.20	0.40- 1.06	0.045	0.050	...	1.60- 2.24	...	...	...	...	Cu 0.75-1.25
F 36	K21001	1.15% Ni, 0.65% Mo Cu, Mo and Cb	0.10- 0.17	0.80- 1.20	0.030	0.025	0.25- 0.50	1.00- 1.30	0.30	0.25- 0.50	0.015- 0.045	...	N 0.020 Al 0.050 Cu 0.50-0.80 V 0.02
Martensitic Stainless steel													
F 6a	S41000	13% Cr 410 ⁶	0.15	1.00	0.040	0.030	1.00	0.50	11.5- 13.5	...	...	...	...
F 6b	S41026	13% Cr, 0.5% Mo	0.15	1.00	0.020	0.020	1.00	1.00- 2.00	11.5- 13.5	0.40- 0.60	...	...	Cu 0.50
F 6NM	S41500	13% Cr, 4% Ni	0.05	0.50- 1.00	0.030	0.030	0.60	3.5- 5.5	11.5- 14.0	0.50- 1.00	...	...	...
Ferritic Stainless Steel													
F XM- 27Cb ⁸	S44627	27 Cr, 1 Mo XM- 27 ⁸	0.010	0.40	0.020	0.020	0.40	0.50	25.0- 27.5	0.75- 1.50	0.05- 0.20		N 0.015 Cu 0.20

ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-

Temperature Service

		with Cb 348H ^g											0.10
F XM-11	S21904	20 Cr, 6 Ni, 9 Mn XM-11 ^e	0.040	8.0- 10.0	0.060	0.030	1.00	5.5- 7.5	19.0- 21.5	...	...	...	N 0.15-0.40
F XM-19	S20910	22 Cr, 13 Ni, 5 Mn XM-19 ^e	0.06	4.0- 6.0	0.040	0.030	1.00	11.5- 13.5	20.5- 23.5	1.50- 3.00	0.10- 0.30	...	N 0.20-0.40 V 0.10-0.30
F 20	N08020	35 Ni, 20 Cr, 3.5 Cu, 2.5 Mo	0.07	2.00	0.045	0.035	1.00	32.0- 38.0	19.0- 21.0	2.00- 3.00	8x Cmin- 1.00	...	Cu 3.0- 4.0
F 44	S31254	20 Cr, 18 Ni, 6 Mo, Low C	0.020	1.00	0.030	0.010	0.80	17.5- 18.5	19.5- 20.5	6.0- 6.5	...	...	Cu 0.50-1.00 N 0.18-0.22
F 45	S30815	21 Cr, 11 Ni modified with N and Ce	0.05- 0.10	0.80	0.040	0.030	1.40- 2.00	10.0- 12.0	20.0- 22.0	...	...	...	N 0.14-0.20 Ce 0.03-0.08
F 46	S30600	18 Cr, 15 Ni, 4 Si	0.018	2.00	0.020	0.020	3.7- 47.3	14.0- 15.5	17.0- 18.5	0.20	...	...	Cu 0.50
F 47	S31725	19 Cr, 15 Ni, 4 Mo 317LM ^e	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	13.0- 17.5	18.0- 20.0	4.0- 5.0	...	...	N 0.10
F 48	S31726	19 Cr, 15 Ni, 4 Mo 317LMN ^e	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	13.5- 17.5	17.0- 20.0	4.0- 5.0	...	...	N 0.10-0.20
F 49	S34565	24 Cr, 17 Ni, 6 Mn, 5 Mo	0.030	5.0- 7.0	0.030	0.010	1.00	16.0- 18.0	23.0- 25.0	4.0- 5.0	0.10	...	N 0.40-0.60
F 56	S33228	32 Ni, 27 Cr, With Cb	0.04- 0.08	1.00	0.020	0.015	0.30	31.0- 33.0	26.0- 28.0	...	0.6- 1.0	...	Ce 0.05-0.10 Al 0.025
F 58	S31266	24 Cr, 20 Ni, 6 Mo, 2 W with N	0.030	2.0- 4.0	0.035	0.020	1.00	21.0- 24.0	23.0- 25.0	5.2- 6.2	...	...	N 0.35-0.60 Cu 1.00-2.50 W 1.50-2.50

ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-

Temperature Service

		6 Ni, 3.5 Mo with N and C 255*						6.5	27.0	3.9			1.50-2.50 N 0.10-0.25
F 65	S32906	29 Cr, 6.5 Ni, 2 Mo Modified with N and W	0.030	0.80- 1.50	0.030	0.030	0.80	5.8- 7.5	28.0- 30.0	1.5- 2.6	...	...	Cu 0.80 N 0.30-0.40
F 66	S32202	25 Cr, 7 Ni, N	0.030	2.00	0.040	0.010	1.00	1.00- 2.80	21.5- 24.0	0.45	....	....	N 0.18-0.20
F 67	S32506S	25 Cr, 6 Ni, 3 Mo, with N and W	0.030	1.00	0.040	0.015	0.90	5.5- 7.2	24.0- 26.0	3.0- 3.5	....	....	N 0.08-0.20 W 0.05-0.30

TABLE 3. Tensile and Hardness Requirements^A

Grade Symbol	Tensile Strength, min, ksi[MPa]	Yield Strength, min, ksi[MPa]	Elongation in 2 in. [50mm] or 4D, min, %	Reduction of Area, min, %	Brinell Hardness Number
Low Alloy Steels					
F 1	70[485]	40[275]	20	30	143-192
F 2	70[485]	40[275]	20	30	143-192
F 5	70[485]	40[275]	20	35	143-217
F 5a	90[620]	65[450]	22	50	187-248
F 9	85[585]	55 [380]	20	40	179-217
F 10	80[550]	30 [205]	30	50	...
F 91	85[585]	60 [415]	20	40	248 max
F 92	90[620]	64 [440]	20	45	269 max
F 122	90[620]	58[400]	20	40	250 max
F 911	90[620]	64[440]	18	40	187-248
F 11 Class1	60[415]	30[205]	20	45	121-174
F 11 Class2	70[485]	40[275]	20	30	143-207
F 11 Class 3	75[515]	45[310]	20	30	156-207
F 12 Class 1	60[415]	32[220]	20	45	121-174
F 12 Class 2	70[485]	40[275]	20	30	143-207
F 21	75[515]	45[310]	20	30	156-207

**ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-
Temperature Service**

F 3V, and F 3VCb	85-110 [585-760]	60[415]	18	45	174-237
F 22 Class 1	60[415]	30[205]	20	35	170 max
F 22 Class 2	75[515]	45[310]	20	30	156-207
F 22V	85-110 [585-780]	60[415]	18	45	174-237
F 23	74 [510]	58[400]	20	40	220 max
F 24	85 [585]	60[415]	20	40	248 max

FR	63 [435]	46[315]	25	38	197 max
F 36 Class 1	90[620]	64[440]	15	...	252 max
F 36 Class 2	95.5[660]	66.5[460]	15	...	252 max

Martensitic Stainless Steels

F 6a Class 1	70[485]	40[275]	18	35	143-207
F 6a Class 2	85[585]	55[380]	18	35	167-229
F 6a Class 3	110[760]	85[585]	15	35	235-302
F 6a Class 4	130[895]	110[760]	12	35	263-321
F 6b	110-135 [760-930]	90[620]	16	45	235-285
F 6NM	115[790]	90[620]	15	45	295 max

Ferritic Stainless Steel

F XM-27Cb	60[415]	35[240]	20	45	190 max
F 429	60[415]	35[240]	20	45	190 max
F 430	60[415]	35[240]	20	45	190 max

Austenitic Stainless Steels

F 304	75[515] ^c	30[205]	30	50	...
F 304H	75[515] ^c	30[205]	30	50	...
F 304L	70[485] ^D	25[170]	30	50	...
F 304N	80[550]	35[240]	30 ^E	50 ³	...
F 304LN	75[515] ^c	30[205]	30	50	...
F 309H	75[515] ^c	30[205]	30	50	...
F 310	75[515] ^c	30[205]	30	50	...
F 310 MoLN	78[540]	37[255]	25	40	...
F 310H	75[515] ^c	30[205]	30	50	...
F 316	75[515] ^c	30[205]	30	50	...
F 316H	75[515] ^c	30[205]	30	50	...
F 316L	70[485] ^D	25[170]	30	50	...
F 316N	80[550]	35[240]	30 ^E	50 ³	...

ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-
Temperature Service

F 316LN	75[515] ^c	30[205]	30	50	...
F 316Ti	75[515] ^c	30[205]	30	40	...
F 317	75[515] ^c	30[205]	30	50	...
F 317L	70[485] ^D	25[170]	30	50	...
S31727	80[550]	36[245]	35	50	217
S32053	93[640]	43[295]	40	50	217
F 321	75[515] ^c	30[205]	30	50	...
F 321H	75[515] ^c	30[205]	30	50	...
F 347	75[515] ^c	30[205]	30	50	...
F 347H	75[515] ^c	30[205]	30	50	...
F 348	75[515] ^c	30[205]	30	50	...
F 348H	75[515] ^c	30[205]	30	50	...
F XM-11	90[620]	50[345]	45	60	...
F XM-19	100[690]	55[380]	35	55	...
F 20	80[550]	35[240]	30	50	...
F 44	94[650]	44[300]	35	50	...
F 45	87[600]	45[310]	40	50	...
F 46	78[540]	35[240]	40	50	...
F 47	75[525]	30[205]	40	50	...
F 48	80[550]	35[240]	40	50	...
F 49	115[795]	60[415]	35	40	...
F 56	73[500]	27[185]	30	35	...
F 58	109[750]	61[420]	35	50	...
F 62	95[655]	45[310]	30	50	...
F 63	80[550]	32[220]	25	...	192 max
F 64	90[620]	40[275]	35	50	217 max
F 904L	71[490]	31[215]	35	...	...
Ferritic Austenitic Stainless Steels					
F 50	100-130 [690-900]	65[450]	25	50	...
F 51	90[620]	65[450]	25	45	...
F 52	100[690]	70[485]	15	...	...
F 53	116[800] ^e	80[550] ^e	15	...	310 max
F 54	116[800]	80[550]	15	30	310 max
F 55	109-130 [750-895]	80[550]	25	45	...
F 57	118[820]	85[585]	25	50	...
F 59	112[770]	80[550]	25	40	...

**ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-
Temperature Service**

F 60	95[655]	65[450]	25	45	...
F 61	109[750]	80[550]	25	50	...
F 65	109[750]	80[550]	25	...	...
F 66	94[650]	65[450]	30	...	390 max
F 67	90[620]	65[450]s	18	...	302

10. Grain Size for Austenitic Grades 11. Corrosion Testing for Austenitic Grades 12. Retreatment
13. Workmanship, Finish, and Appearance 14. Repair by Welding

TABLE 4 Repair Welding requirements

Grade Symbol	Electrodes ^A	Recommended Preheat and Interpass Temperature Range, °F[°C]	Post Weld Heat-Treatment Temperature, Minimum or Range, °F[°C]
Low Alloy Steels			
F 1	E 7018-A 1	200-400 [95-205]	1150 [620]
F 2	E 8018-B 1	300-600 [150-315]	1150 [620]
F 5	E80XX-B6, Where XX can be 15, 16, or 18	400-700 [205-370]	1250 [675]
F 5a	E80XX-B6, Where XX can be 15, 16, or 18	400-700 [205-370]	1250 [675]
F 9	E80XX-B8, Where XX can be 15, 16, or 18	400-700 [205-370]	1250 [675]
F 10 ^B	...	400-700 [205-370]	...
F 91	...C	400-700 [205-370]	1350-1470 [730-800]
F 92	...D	400-700 [205-370]	1350-1470 [730-800]
F 122	...D	400-700 [205-370]	1350-1470 [730-800]
F 911	...D	400-700 [205-370]	1365-1435 [740-780]
F 11 Class 1, 2, and 3	E 8018-B 2	300-600 [150-315]	1150 [620]
F 12 Class 1 and 2	E 8018-B 2	300-600 [150-315]	1150 [620]
F 21	E 9018-B 3	300-600 [150-315]	1250 [675]
F 3V, and F 3VCb	3% Cr, 1% Mo, ¼ % V-Ti	300-600 [150-315]	1250 [675]

**ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-
Temperature Service**

F 22 Class 1	E 9018-B 3	300-600 [150-315]	1250 [675]
F 22 Class 2	E 9018-B 3	300-600 [150-315]	1250 [675]
F 22V	2.25% Cr, 1% Mo, 0.25% V-Cb	300-600 [150-315]	1250 [675]
F 23	2.25% Cr, 1.6% W, 0.25% V-Mo-Cb-B	300-600 [150-315]	1350-1470 [730-800]
F 24	2.25% Cr, 1% Mo, 0.25% V	200-400 [95-205] ^E	1350-1470 [730- 800] ^E
F 36 Class 1	1.15 Ni, 0.65 Cu, Mo, Cb	400-700 [205-370]	1100-1200 [595-650]
F 36 Class 2	1.15 Ni, 0.65 Cu, Mo, Cb SSSSSS	400-700 [205-370]	1000-1150 [540-620]
Martensitic Stainless Steels			
F 6a Class 1	E 410-15 or 16	400-700 [205-370]	1250 [675]
F 6a Class 2	E 410-15 or 16	400-700 [205-370]	1250 [675]
F 6b	13% Cr, 11/2 % Ni, ½ % Mo	400-700 [205-370]	1150 [620]
F 6NM	13% Cr, 4% Ni	300-700 [150-370]	1050 [565]
Ferritic Stainless Steels			
F XM-27Cb	26% Cr, 1% Mo	NR ³	NR
F 429	E 430-16	400-700 [205-370]	1400 [760]
F 430	E 430-16	NRS	1400 [760]
FR	E 8018-C2	NR	NR
Austenitic Stainless Steels			
F 304	E 308-15 or 16	NR	1900[1040]+WQ ⁶
F 304L	E 308L-15 or 16	NR	1900[1040]+WQ
F 304H	E 308-15 or 16 ^H or E308H-XX	NR	1900[1040]+WQ
F 304N	E 308-15 or 16	NR	1900[1040]+WQ
F 304LN	E 308L-15 or 16	NR	1900[1040]+WQ
F 309H	E 309-15 or 16 ^H or E309H-XX	NR	1900[1040]+WQ
F 310	E 310-15 or 16	NR	1900[1040]+WQ
F 310 MoLN	E 310Mo-15 or 16	NR	1920-2010 [1050- 1100]+WQ
F 310H	E 308-15 or 16 ^H	NR	1900[1040]+WQ
F 316	E 316-15 or 16	NR	1900[1040]+WQ

ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-
Temperature Service

F 316L	E 316L-15 or 16	NR	1900[1040]+WQ
F 316H	E 316-15 or 16 ^H or E316H-XX	NR	1900[1040]+WQ
F 316N	E 316-15 or 16	NR	1900[1040]+WQ
F 316LN	E 316L-15 or 16	NR	1900[1040]+WQ
F 316Ti	E 316-15 or 16	NR	1900[1040]+WQ
F 317	E 317-15 or 16	NR	1900[1040]+WQ
F 317L	E 317L-15 or 16	NR	1900[1040]+WQ
S31727	...	NR	1900[1040]+WQ
S32053	...	NR	1900[1040]+WQ
F 321 ^B	E 347-15 or 16	NR	1900[1040]+WQ
F 321H ^B	E 347-15 or 16 ^H	NR	1925[1050]+WQ
F 347	E 347-15 or 16	NR	1900[1040]+WQ
F 347H	E 347-15 or 16 ^H	NR	1925[1050]+WQ
F 348	E 347-15 or 16	NR	1900[1040]+WQ
F 348H	E 347-15 or 16 ^H	NR	1925[1050]+WQ
F XM-11	XM-10W	NR	NR
F XM-19	XM-19W	NR	NR
F 20	E/ER-320, 320LR	NR	1700-1850 [925- 1010]+ WQ
F 44	E NiCrMo-3	NR	2100 [1150]+WQ
F 45 ^B	...	...	...
F 46	...I	...	...
F 47	...I	...	2100 [1150]+WQ
F 48	...I	...	2100 [1150]+WQ
F 49	...	...	2100 [1150]+WQ
F 58	E NiCrMo-10	...	2100 [1150]+WQ
F 62	E NiMo-3	NR	2100 [1150]+WQ
F 904L	E NiMo-3SS	NR	1920-2100 [1050-1150]+WQ
Ferritic- Austenitic Stainless Steels			
F 50	25% Cr, 6% Ni, 1.7% Mo	NR	NR
F 51	22% Cr, 5.5% Ni, 3% Mo	NR	NR
F 52	26% Cr, 8% Ni, 2% Mo	NR	NR
F 53	25% Cr, 7% Ni, 4% Mo	NR	NR

**ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-
Temperature Service**

F 54	25% Cr, 7% Ni, 3% Mo, W	NR	NR
F 55	25% Cr, 7% Ni, 3.5% Mo	NR	NR
F 57	25% Cr, 7% Ni, 3% Mo, 1.5% Cu, 1% W	NR	NR
F 59	E Ni CrMo-10	NR	NR
F 60	22% Cr, 5.5% Ni, 3% Mo	NR	NR
F 61	26% Cr, 9% Ni, 3.5% Mo	NR	NR
F 65	29% Cr, 6.5% Ni, 2% Mo	NR	NR
F 66	22% Cr, 2% Ni, 0.25% Mo	NR	NR
F 67	...	NR	NR

15. Inspection 16. Rejection and Rehearing 17. Certification :-

- 17.1 In addition to the certification requirements of specification A961/A961M, test reports shall be furnished to the purchaser or his representative.
- 17.2 Test reports, when required, shall include certification that all requirements of this specification have been met. The specification designation included on test reports shall include year of issue and revision letter, if any. The manufacturer shall provide the following where applicable:
 - 17.2.1 1 Type heat treatment, Section 7,
 - 17.2.2 Product analysis results, Section 8 of specification A961/A961M,
 - 17.2.3 Tensile property results, Section 9 (Table 3), report the yield strength and ultimate strength, in ksi [MPa], elongation and reduction in area, in percent,
 - 17.2.4 Chemical analysis results, Section 8 (Table 2),
 - 17.2.5 Hardness results, Section 9 (Table 3 and for F23, Tables 2 and 3),
 - 17.2.6 Grain size results, Section 10, and
 - 17.2.7 Any supplementary testing required by the purchase order.

18. Product Marking 19. Keyword :-

19.1 austenitic stainless steel; chromium alloy steel; chromium-molybdenum steel; ferritic/austenitic stainless steel; ferritic stainless steel; martensitic stainless steel; nickel alloy steel; notch toughness requirements; pipe fittings; steel; piping applications; pressure containing parts; stainless steel fittings; stainless steel forgings; steel flanges; steel forgings, alloy; steel valves; temperature service applications, elevated; temperature service applications, high; wrought material

ASTM A182/A182M-11 Standard Specification forged or Rolled Alloy and
Stainless Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-
Temperature Service

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS :-

S1. Macroetch Test

S2. Heat treatment Details

S3. Material for Optimum Resistance to Stress-Corrosion
Cracking

S4. Corrosion Tests

S5. Special Filler Metal

S6. Hardness Test

S7. Alternate Heat Treatment (Grade F 91 and F 92)

S8. Heat Treatment of Austenitic Forgings

S9. Grain Size for Austenitic Grades

S10. Stabilization Treatment

S11. Grain Size Requirements for Non-H-Grade Austenitic Steels Used Above 1000 °F
[540 °C]

ANEXO II. Certificación acero inoxidable ferrítico 410S

COLUMBUS STAINLESS (Pty) Ltd Subsidiary of ACERINOX, S.A. <small> DPO: +27 11 247 9111 FAX: +27 11 246 1661 http://www.columbus-co-ir PO BOX 115 MIDDELBURG 1950 MIDDELBURG SOUTH AFRICA </small>		 <small>Certified systems of management in environment & quality</small>		<h3 style="margin: 0;">INSPECTION CERTIFICATE</h3> <h4 style="margin: 0;">CERTIFICADO DE INSPECCION</h4>				3.1 CERTIFICATE N° 56 9878 20001 7 / 1 CERTIFICADO N°																		
ACCORDING TO EN 10204 <small>SECCN</small>		OUR ORDER N° <small>N/ PEDIDO</small>		YOUR ORDER N° <small>S/ PEDIDO</small>		TRADE MARK <small>SELLO DEL FABRICANTE</small>		INSPECTOR'S STAMP <small>SELLO DEL INSPECTOR</small>		STEELMAKING PROCESS <small>PROCESO DE ACERIA</small> A.O.D.																
CUSTOMER <small>CLIENTE</small>		INTERGRANULAR CORROSION <small>CORROSION INTERGRANULAR</small>		GRADE <small>MATERIAL</small>		FINISH <small>ACABADO</small>																				
REQUIREMENTS <small>NORMAS APLICABLES</small> ASTM A240 / A240M-08/ASME SECT.III, ED. 04 ADD. 05:SA240M		CORROSION INTERGRANULAR		Acx 420 410S		NO1																				
COIL / BOX <small>BOBINAS/CALDA</small>		CONTENT <small>CONTENIDO</small>		DIMENSIONS <small>DIMENSIONES</small>			MARKS <small>MARKA</small>		QUANTITY <small>CANTIDAD</small>		TEST N° <small>PROBETA</small>															
CPSH07 438 CPSH07 439 CPSH07 440		3697360 /0/0/0 3697360 /0/0/0 3697360 /0/0/0		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>THICKNESS <small>ESPEZOR</small></th> <th>WIDTH <small>ANCHO</small></th> <th>LENGTH <small>LARGO</small></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">12,000</td> <td style="text-align: center;">1500,00</td> <td style="text-align: center;">6000,00</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">12,000</td> <td style="text-align: center;">1500,00</td> <td style="text-align: center;">6000,00</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">12,000</td> <td style="text-align: center;">1500,00</td> <td style="text-align: center;">6000,00</td> </tr> </tbody> </table>			THICKNESS <small>ESPEZOR</small>	WIDTH <small>ANCHO</small>	LENGTH <small>LARGO</small>	12,000	1500,00	6000,00	12,000	1500,00	6000,00	12,000	1500,00	6000,00	9 10 11		3 4 4		3697360 /0/0/0 3697360 /0/0/0 3697360 /0/0/0		C / F C / F C / F	
THICKNESS <small>ESPEZOR</small>	WIDTH <small>ANCHO</small>	LENGTH <small>LARGO</small>																								
12,000	1500,00	6000,00																								
12,000	1500,00	6000,00																								
12,000	1500,00	6000,00																								
CHEMICAL ANALYSIS / COMPOSICION QUIMICA (%)																										
HEAT N° <small>COLADA</small>		C		CO		CR		CU		MN		MO		NI		P		S		SI						
REQUIREMENTS <small>REQUISITOS</small>		0,080		11,500 13,500		1,000		0,800		0,040		0,030		1,000		0,026		0,001		0,420						
369736		0,017		0,020		11,780		0,080		0,510		0,018		0,200		0,026		0,001		0,420						
MECHANICAL PROPERTIES / CARACTERISTICAS MECANICAS																										
TEST N° <small>PROBETA</small>		Rm. <small>N/mm2</small>		Rp 0.2 <small>N/mm2</small>		A50 <small>%</small>		HRB		415,00 205,00		22,00 88,00		24,10 67,40		636,00 417,00		636,00 417,00		24,10 67,40						
REQUIREMENTS <small>REQUISITOS</small>		C T		636,00 417,00		24,10 67,40		636,00 417,00		24,10 67,40		636,00 417,00		24,10 67,40		636,00 417,00		24,10 67,40								
REMARKS / OBSERVACIONES Material meets the Hardness requirements of Nace MR-0175/03						SURFACE AND DIMENSIONAL CONTROL <small>INSPECCION SUPERFICIAL Y DIMENSIONAL</small> SATISFACTORY Satisfactoria						WORK INSPECTOR <small>INSPECTOR</small> 														
Middelburg, 4						NOVEMBRE						2008														

ANEXO III. Certificación electrodo 308L

ELECTRODO PARA ACERO INOXIDABLE

R-60 Norma: AWS E 308L - 16

Identificación: Punta Gris

C	0.02%	Mn	0.7%	Si	0.7%	Cr	19%	Ni	10%
---	-------	----	------	----	------	----	-----	----	-----

Análisis del Metal Depositado:
Características: Valores típicos
 Electrodo rutílico que deposita un acero inoxidable austenítico. El R-60 posee buena resistencia a la corrosión y gracias a su bajísimo contenido de carbono evita la precipitación de carburos de cromo, cuando se suelda aceros 18/8 de bajo carbono. Posee así mismo una buena resistencia a los agentes oxidantes.

Propiedades Mecánicas:

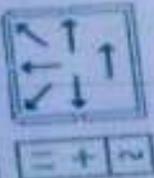
Resistencia a la Tracción	Elongación
60 kg/mm ²	40%
85.000 lbs./pulg ²	

Valores típicos

Posiciones de Soldar: Plana, horizontal, vertical ascendente y sobre cabezas.

Corriente y Polaridad: Para corriente alterna o continua Electrodo al polo positivo

	2.50	3.20	4.0
Ø mm			
Ø Pulg.	3/32	1/8	5/32
Amperaje	45-80	80-110	110-145



Aplicaciones:

- Para soldar aceros inoxidables 18Cr/8Ni/Est. (con Cb o Nb) tanto en versión normal como en la de bajo carbono (L) tales como: AISI 301, 302, 304, 304L, 308, 347 y 348
- Unión de aceros inoxidables al cromo: 405, 410 y 420
- Para soldar aceros al manganeso, aceros aleados y aceros al carbono

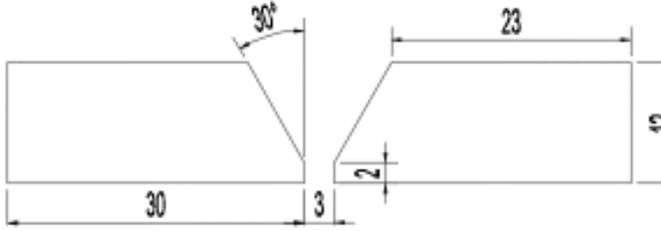


NOTA: Revisar temperatura de almacenamiento y recuperación. (Ver pág. 30)

LARGO: 350 mm. **PESO POR CAJA:** 5 kg / 11 lbs.

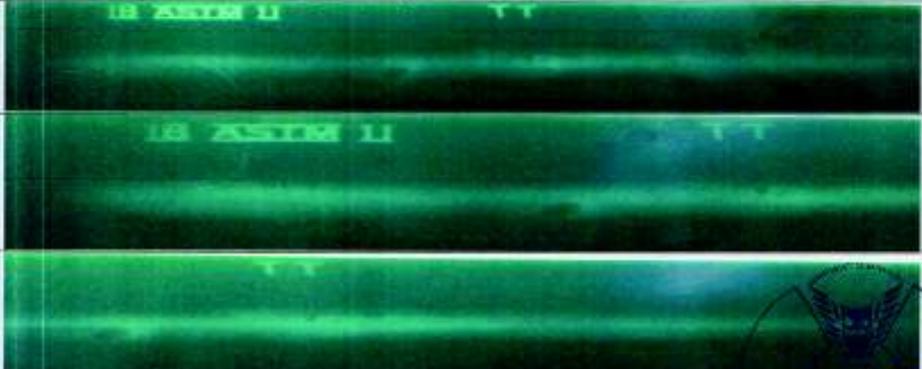
ANEXO IV. Welding Procedure Specification (WPS)

Nombre de la compañía: EPN Por: Tania Toapanta
 Especificación de Procedimiento de soldadura No. xxxxxx Fecha: 31 de julio del 2017
 Revision No. Ing. Homero Barragán Fecha: 16 de agosto del 2017
 Proceso(s) de Soldar SMA Tipo(s) Semi-automático

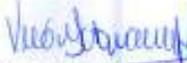
Juntas (QW-402) Diseño de Junta <u>biselado en V</u> Respaldo <u>No</u> Material de respaldo <u>No</u> <input checked="" type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Metal que no se funde <input type="checkbox"/> No metálico <input type="checkbox"/> Otros	Detalle 												
METAL BASE (QW-403) No. P <u>7</u> Grupo <u>2</u>													
METALES DE APORTE (QW-404) No. Espec. (SFA) <u>5.23</u> Tamaño de Metales de Aporte <u>1/8 pulg</u> No AWS (clase) <u>EXXX-X</u> Metales de Soldadura No. F <u>6</u> Orden de espesores: No. A <u>XXXX</u> Filete: <u>3mm</u> Fundente de Electrodo (Clase) <u>austenítico</u> Nombre Comercial de Fundente <u>308L</u> Met. Inserto Consumible <u>rutílico</u>													
POSICIONES (QW-405) Posición del soldador: P. arriba <u>x</u> P. abajo _____ Posición de ranura <u>horizontal</u> Posición de filete <u>horizontal</u>	TRATAMIENTO TÉRMICO POST. SOLDADURA (QW-QW-407) Orden de temperatura <u>xxxxx</u> Orden de tiempo <u>xxxxx</u>												
PRECALENTAMIENTO (QW-406) Temp. Pre calentamiento Min. <u>87.6 °C</u> Temp. Entre Pasos. Máx. <u>130.3 °C</u> Mantenencia de Pre calentamiento <u>388.80°C</u>	GAS (QW-408) Composición en por ciento <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Gas(es) (Mezcla)</th> <th style="text-align: center;">Gasto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Protección</td> <td style="text-align: center;"><u>xxxx</u></td> <td style="text-align: center;"><u>xxxx</u></td> </tr> <tr> <td>Arrastre</td> <td style="text-align: center;"><u>xxxx</u></td> <td style="text-align: center;"><u>xxxx</u></td> </tr> <tr> <td>Respaldo</td> <td style="text-align: center;"><u>xxxx</u></td> <td style="text-align: center;"><u>xxxx</u></td> </tr> </tbody> </table>		Gas(es) (Mezcla)	Gasto	Protección	<u>xxxx</u>	<u>xxxx</u>	Arrastre	<u>xxxx</u>	<u>xxxx</u>	Respaldo	<u>xxxx</u>	<u>xxxx</u>
	Gas(es) (Mezcla)	Gasto											
Protección	<u>xxxx</u>	<u>xxxx</u>											
Arrastre	<u>xxxx</u>	<u>xxxx</u>											
Respaldo	<u>xxxx</u>	<u>xxxx</u>											

<p>CARACTERISTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)</p> <p>Corriente CA ó DC <u>DC</u> Polaridad <u>positiva</u></p> <p>Amps (Orden) <u>125 A</u> Voltaje <u>60 v</u></p> <p>Tamaño y Tipo de Electrodo de Tugsteno <u>xxxx</u></p> <p>Modo de Transfer. Metal para GMAW <u>xxxx</u></p> <p>Orden veloc. Aliment. Electrodo de Alambre <u>arco corto circuito</u></p>								
<p>TÉCNICA (QW 410)</p> <p>Cordón long. ó Cordón de valván <u>300mm</u></p> <p>Tamaño Orificio o de Tasa de Gas <u>xxxx</u></p> <p>Limpieza Inicial y Entre Pasos <u>cepillado</u></p>								
<p>Método de Cincelado Posterior <u>xxxx</u></p> <p>Oscilación <u>xxxx</u></p> <p>Tubo de Contacto a Distancia de Trabajo <u>xxxx</u></p> <p>Paso Múltiple ó Simple (por lado) <u>xxxx</u></p> <p>Electrodos Múltiples o Simples <u>xxxx</u></p> <p>Velocidad de recorrido <u>xxxx</u></p> <p>Martillado <u>xxxx</u></p> <p>Otros <u>xxxx</u></p>								
Capas de soldadura	Proceso	METAL DE APORTE		CORRIENTE		Orden voltaje	velocidad	Nota
		Clase	Diámetro	Tipo polar	Orden amperaje			
1	SMAW	308 L	1/8 pulgadas	DC +	104 A	60 A	3.41 mm/s	Al final de cada pasada se esmerila las impurezas
2					125 A		3.45 mm/s	
3					125 A		3.45 mm/s	
4					125 A		3.49 mm/s	
5					125 A		3.49 mm/s	
6					125 A		3.49 mm/s	

ANEXO V. Certificación de los ensayos radiográficos

REPORTE DE INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DEPARTAMENTO DE MATERIALES			
Información General			
Cliente: TANIA TOAPANTA		Reporte N°: 01-2017	
Fecha de inspección: 1 de Agosto de 2017		Lugar: Quito - EPN	
Identificación de la Pieza			
Descripción: Placa de acero 410 S soldada de 30 x 20 x 1.2 cm		Identificación: 01-2017-0001	
Material: Acero		Estado Superficial: Rugosidad Normal del Material	
Componente a Inspeccionar			
			
Equipos y Materiales			
Equipo de RX			
Marca: Baltographe	Modelo: BF 200/10	Kv: 200 Kv	mA: 10 mA
Película			
Marca: Structurix	Tipo: II – D7		
Condiciones de Trabajo			
Normas de Referencia:			
Tomas: 1	Kv: 140 Kv	mA: 5 mA	
Tiempo de Exp: 1 min 56seg	Distancia a la Fuente : 56 cm	Técnica Utilizada: Simple Pared Simple Imagen	
Observaciones: IQI Tipo B			
Procesamiento de Película			
Temp. Ambiente: 20 °C	T. Revelado: 5 min	T. Parada: 2 min	T. Fijado: 10 min
Baño de Parada: 5 min	T. Lavado Final: NA	T. Lav. Deshumectante: NA	T. de Secado: 30 min
Imágenes Radiográficas			
TOMA 1 ZONA A			
TOMA 1 ZONA B			
TOMA 1 ZONA C			



TOMA 1 ZONA D										
Interpretación Radiográfica										
Identificación de Discontinuidades										
Discontinuidades	Toma 1 Zona A		Toma 1 Zona B		Toma 1 Zona C		Toma 1 Zona D			
	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)		
Falta de Penetración	---	---	---	---	---	---	---	---		
Fusión Incompleta	---	---	---	---	---	---	---	---		
Quemón	---	---	---	---	---	---	---	---		
Inclusiones de Escoria	---	---	---	---	---	---	190	4		
Porosidad	50	0.4	170	0.5	180	0.5	---	---		
Grietas	---	---	---	---	---	---	---	---		
Mordeduras	---	---	---	---	---	---	---	---		
Otros: Cavidad	---	---	---	---	---	---	---	---		
Observaciones: distancia desde extremo izquierdo de la placa										
Laboratorio de E.N.D					Cliente					
Firma:					Firma:					
Elaborado por: Ing. Mauricio Cely, ASNT Nivel II Radiografía, Colaborador LAB-END					Nombre: Tania Toapanta Cargo: Estudiante titulación FIM Contacto: 0958780924 Fecha: 10/8/2017					
Firma: 										
Revisado por: Ing. Verónica Soza, Ing. del Laboratorio de Ensayos No Destructivos										
Fecha: 10 de Agosto del 2017										

ANEXO VI. Certificación de los ensayos de tracción



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

INFORME TÉCNICO

LAEV – AGO.17.13.0

Quito, 10 de agosto de 2017

TRABAJO SOLICITADO POR: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
M.Sc. Galo Homero Barragán Campos

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de acero pertenecientes a la Srta. Tania Toapanta para el proyecto de titulación "CARACTERIZACIÓN DEL ACERO INOXIDABLE FERRÍTICO SOLDADO CON MATERIAL DE APOORTE AUSTENÍTICO". Las probetas fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

RESULTADOS

1. **MUESTRAS:** Dos (2) probetas de junta soldada para ensayo de tracción.

2. ENSAYO DE TRACCIÓN

En la tabla 1 se presenta los resultados del ensayo de tracción realizado a las juntas soldadas.

Tabla 1. Resultados del ensayo de tracción.

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Obs.
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	
T-1	18,88	12,22	31.300	139.229	87,5	603,5	FJS
T-2	18,85	12,08	30.900	137.450	87,5	603,6	FJS

FJS: Falla en la junta soldada. *P*



ANEXO

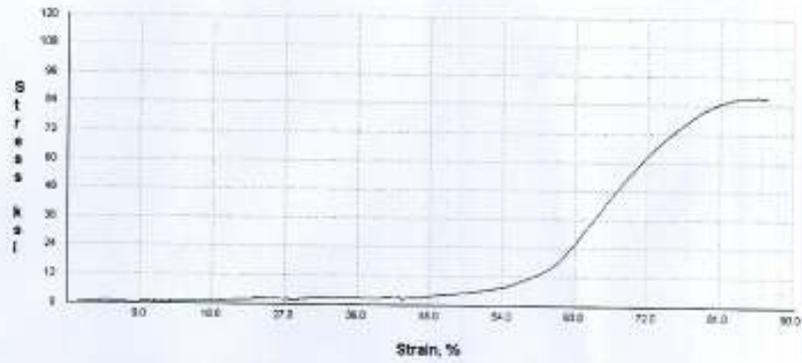


Figura 1. Curva de Esfuerzo vs. porcentaje de deformación de la probeta T-1.

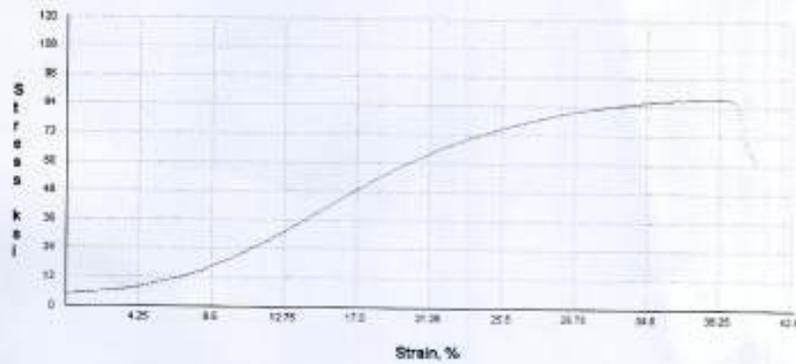
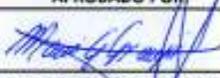


Figura 2. Curva de Esfuerzo vs. porcentaje de deformación de la probeta T-2.



Las curvas de esfuerzo vs. porcentaje de deformación se muestran en el anexo. El porcentaje de deformación que se puede observar en la curva corresponde al desplazamiento del cabezal de la máquina universal de ensayos.

	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:		
Nombre:	Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ing. Mario Granja, M.Sc.
Cargo:	PROFESOR OCASIONAL II	JEFE
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES		

