



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

### “PROCEDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE SOLDADURA EN MATERIALES CON ALTO CONTENIDO DE CARBONO EQUIVALENTE (CEQ MAYOR 0.4%)”

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

**SÁNCHEZ MENESES EDISÓN FABIÁN**

**edison.sanchez01@epn.edu.ec**

**DIRECTOR:  
ING. GRANJA RAMÍREZ MARIO GERMAN, M.Sc.**

**mario.granja@epn.edu.ec**

Quito, marzo 2020

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **EDISÓN FABIÁN SÁNCHEZ MENESES**, bajo nuestra certificación.

---

**ING. MARIO GRANJA M.Sc.**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Yo, **EDISÓN FÁBIAN SÁNCHEZ MENESES**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros 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 por la normativa institucional vigente.

---

Edisón Fabián Sánchez Meneses

## DEDICATORIA

Dedicado ante todo a mi Dios que hizo que este proyecto se cumpla, sabiendo que habría días difíciles de superar con lloros y alegrías el sueño se logró.

A lo más lindo que tengo en mi vida a mi familia, que nunca me abandono y siempre estuvo pendiente de mí en el camino que escogí por ser un profesional.

A Miguel Ángel y María Rosa por ser los mejores padres que me pudo dar la vida.

A mis hermanos Alejandro, Fernanda, Carina y Sofía que siempre confiaron en mí.

A Patricio y Victoria por ser unos hermanos más en mi vida que cuando los necesité siempre están ahí para ayudarme.

A mis pequeñ@s diablill@s Kasumi, Camil, Julián, Amaya y Amelia por siempre sacarme de mis casillas, pero los adoro.

A mis angelitos que desde el cielo me cuidan cada día.

A Valeria por darme siempre su apoyo y su amor.

## AGRADECIMIENTO

Con todo mi corazón a Dios y a la Virgen por permitirme cumplir uno de tantos sueños propuestos en mi vida.

A toda mi familia que siempre estuvo ahí dándome su apoyo para cumplir esta meta tan deseada.

A mis padres, por enseñarme cada uno de los valores de un ser humano, en la vida hay momentos buenos y malos me decían de los cuales aprendí para llegar a ser una persona triunfadora en el mundo.

A mis hermanos que en ellos veo el mejor ejemplo de superación, ya que si uno cae los demás están para levantarlo.

A mi director Ing. Mario Granja y al Ing. Gabriel Velasteguí, por darme cada uno de sus enseñanzas para poder culminar este proyecto de titulación con el mejor de los propósitos para el presente y futuro.

A Valeria por darme cada segundo su amor, cariño, apoyo y por nunca dejarme caer a si la vida se ponga de cabeza mil gracias te adoro con todo mi corazón.

A Jorge Guzmán, Patricio Fuentes, René Jame quienes participaron en este proyecto para que por fin se haga realidad de todo corazón mil gracias por su gran aporte.

A la Ing. Verónica Sotomayor y al Ing. Mario Cesen por apoyarme en esta etapa donde si no fuera por ustedes este sueño no se estuviera haciendo realidad.

Con el mejor de los cariños a todos mis amigos que formamos el "206" con ustedes aprendí millones de cosas, que la familia está unida ante todos los obstáculos que la vida nos proponga.

A cada una de las personas que me brindaron su amistad sabiendo la persona que tenían al frente.

A ti Cristina Almeida por ser como mi hermana mayor que siempre está pendiente y preocupada por mí, por brindarme esa amistad desde el primer día que nos conocimos nos apoyaremos del uno al otro siempre.

A Ingeniería Mecánica por darme la oportunidad de cumplir una de tantas metas propuestas.

# ÍNDICE

CERTIFICACIÓN .....	i
DECLARACIÓN .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
Pregunta de investigación .....	2
Objetivo general .....	2
Objetivos específicos.....	2
1.MARCO TEÓRICO .....	3
1.1.Soldadura por arco con alambre tubular FCAW .....	3
1.2.Alambre tubular.....	3
1.3.Condiciones de almacenamiento del alambre tubular .....	4
1.4.Procedimiento para la soldadura por arco con alambre tubular (FCAW).....	5
1.4.1.Diámetro máximo del alambre .....	5
1.4.2.Equipo .....	6
1.4.3.Ventajas del proceso FCAW .....	7
1.5.Metalurgia del acero anti abrasivo .....	8
1.5.1.Antiabrasión .....	8
1.5.2.Composición química.....	9
1.5.3.Microestructuras del acero anti abrasivo .....	9
1.6.Principales aleantes en aceros resistentes a la abrasión .....	9
1.6.1.Manganeso (Mn) .....	9
1.6.2.Fosforo (P) .....	10
1.6.3.Cromo (Cr).....	10
1.6.4.Azufre (S).....	10
1.6.5.Molibdeno (Mo) .....	10
1.6.6.Níquel (Ni).....	10

1.6.7.Boro (B).....	10
1.6.8.Vanadio (V).....	10
1.6.9.Titanio (Ti).....	11
1.7.Propiedades y aplicaciones del acero anti abrasivo .....	11
1.7.1.Dureza.....	13
1.8.Parámetros de soldadura .....	15
1.8.1.Pre- Calentamiento.....	16
1.8.2.Carbono equivalente .....	16
1.8.3.Temperatura de precalentamiento .....	16
2.METODOLOGÍA .....	3
2.1.Caracterización del metal base .....	19
2.1.1.Ensayo de espectrometría por chispa .....	19
2.1.2.Ensayo de tensión.....	20
2.1.3.Ensayo de dureza .....	21
2.2.Procedimiento para la realización de la soldadura junta con proceso FCAW .....	22
2.2.1.Variables principales .....	23
2.3.Variables secundarias .....	24
2.3.1.Stick out.....	24
2.3.2.Extensión del electrodo .....	24
2.3.3.Angulo del electrodo .....	24
2.3.4.Angulo de inclinación de la pistola.....	25
2.4.Corte y preparación de los cupones de prueba .....	25
2.4.1.Obtención de placas.....	25
2.5.Soldadura de las placas.....	26
2.5.1.Precalentamiento.....	27
2.6.Preparación de probetas.....	29
2.6.1.Ensayos destructivos.....	29
2.6.2.Ensayos no destructivos .....	29
2.6.3.Codificación de placas.....	30
2.6.4.Corte y preparación de probetas .....	30
2.7.Requerimientos específicos de la norma AWS D1.1 .....	31
2.7.1.Criterios de aceptación de los ensayos no destructivos .....	32
2.8.Realización de ensayos.....	33
2.8.1.Ensayos no destructivos .....	33

2.8.2.Ensayos destructivos .....	37
<b>3.RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>46</b>
3.1.Caracterización del metal base .....	46
3.2.Ensayos no destructivos .....	47
3.2.1.Tintas penetrantes .....	47
3.2.2.Radiografías.....	48
3.3.Ensayos destructivos .....	48
3.3.1.Ensayos de tracción reducida.....	48
3.3.2.Ensayo de doblados de cara y raíz .....	48
3.3.3.Ensayo de barrido de dureza.....	52
3.4.Análisis metalográfico de la junta soldada .....	59
3.4.1.Estudio macrográfico .....	59
3.4.2.Estudio micrográfico .....	61
<b>4.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>68</b>
4.1.Conclusiones.....	68
4.2.Recomendaciones.....	69
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>73</b>
<b>A.CATALOGO DEL METAL BASE .....</b>	<b>73</b>
<b>B. CATÁLOGO DEL ALAMBRE E81T1-GM.....</b>	<b>75</b>
<b>C.REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE ESPECTROMETRÍA .....</b>	<b>76</b>
<b>D.REALIZACION DE ENSAYO DE TRACCION Y DUREZA DEL METAL BASE .....</b>	<b>78</b>
<b>E.ENSAYO DE TRACCION Y DUREZA DE LAS PROBETAS .....</b>	<b>79</b>
<b>F.ENSAYO DE LIQUIDOS PENETRANTES .....</b>	<b>84</b>
<b>G.ENSAYOS DE RADIOGRAFÍAS.....</b>	<b>93</b>
<b>H.WPS DE LAS PLACAS SOLDADAS .....</b>	<b>102</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Proceso con alambre tubular con protección gaseosa. ....	3
Figura 1.2. Alambre tubular para proceso de soldadura FCAW. ....	4
Figura 1.3. Almacenamiento de alambre tubular. ....	5
Figura 1.4. Esquema del circuito de soldadura FCAW. ....	7
Figura 1.5. Fases Hierro-Carbono. ....	9
Figura 1.6. Tolva de volqueta. ....	12
Figura 1.7. Bañera anti abrasiva. ....	12
Figura 1.8. Cucharón de excavadoras. ....	12
Figura 1.9. Pala minera. ....	13
Figura 1.10. Camión minero. ....	13
Figura 1.11. Especificación de penetrador y carga en los distintos ensayos de dureza Rockwell. ....	14
Figura 1.12. Ensayo de dureza Brinell. ....	15
Figura 1.13. Ensayo de dureza Vickers. ....	15
Figura 1.14. Gráfico de Seferián. ....	17
Figura 2.1. Dimensiones para el ensayo de espectrometría. ....	19
Figura 2.2. Espectrómetro Bruker Q2-ION. ....	20
Figura 2.3. Probetas para ensayo de tensión. ....	20
Figura 2.4. Especificaciones para la probeta de material base. ....	21
Figura 2.5. Máquina de ensayos universal del LAEV. ....	21
Figura 2.6. Dimensiones de la probeta para el ensayo de dureza. ....	22
Figura 2.7. Durómetro Brinell LAEV. ....	22
Figura 2.8. Equipo de soldadura FCAW. ....	23
Figura 2.9. Realización de los cortes de la plancha de acero anti abrasivo grado 400HB. ....	25
Figura 2.10. Diseño de la junta soldada. ....	25
Figura 2.11. Temperatura de precalentamiento. ....	29
Figura 2.12. Numeración de muestras para los ensayos no destructivos. ....	30
Figura 2.13. Equipo de corte por enfriamiento por agua. ....	31
Figura 2.14. Especificación de las muestras en la plata soldada. ....	32
Figura 2.15. Procedimiento en el ensayo de tintas penetrantes. ....	34
Figura 2.16. Planchas en proceso de tintas penetrantes. ....	34
Figura 2.17. Abaco de exposición en las películas STRUCTURX D7. ....	35

Figura 2.18. Diagrama de operación de la máquina de rayos X. ....	36
Figura 2.19. Equipo para revelación de radiografías. ....	37
Figura 2.20. Dimensiones de probetas para el ensayo de tracción según la junta soldada. ....	37
Figura 2.21. Equipo para realizar los ensayos de doblados. ....	38
Figura 2.22. Dimensiones para los ensayos de doblado de cara y raíz. ....	39
Figura 2.23. Equipo de desbaste grueso. ....	43
Figura 2.24. Equipo de desbaste fino. ....	43
Figura 2.25. Equipo de pulido. ....	43
Figura 2.26. Compuesto para el ataque químico. ....	44
Figura 2.27. Equipo para realizar las macrografías. ....	44
Figura 2.28. Equipo para realizar micrografías. ....	44
Figura 2.29. Durómetro. ....	45
Figura 2.30. Esquema TTT de acero al 2.2% C. ....	45
Figura 3.1. Ensayos de doblado de cara y raíz placa uno. ....	49
Figura 3.2. Ensayo de doblado de cara y raíz placa dos. ....	49
Figura 3.3. Ensayo de doblado de cara y raíz placa tres. ....	50
Figura 3.4. Ensayo de doblado de cara y raíz placa cuatro. ....	50
Figura 3.5. Ensayo de doblado de cara y raíz placa cinco. ....	51
Figura 3.6. Ensayo de doblado de cara y raíz placa seis. ....	51
Figura 3.7. Barrido de dureza placa uno. ....	52
Figura 3.8. Dureza de barrido placa uno. ....	53
Figura 3.9. Barrido de dureza placa dos. ....	53
Figura 3.10. Dureza de barrido de la placa dos. ....	54
Figura 3.11. Barrido de dureza placa tres. ....	54
Figura 3.12. Dureza de barrido de la placa tres. ....	55
Figura 3.13. Barrido de dureza placa cuatro. ....	55
Figura 3.14. Dureza de barrido de la placa cuatro. ....	56
Figura 3.15. Barrido de dureza placa cinco. ....	56
Figura 3.16. Dureza de barrido de la placa cinco. ....	57
Figura 3.17. Barrido de dureza placa seis. ....	57
Figura 3.18. Dureza de barrido de la placa seis. ....	58
Figura 3.19. Barrido de dureza de todas las placas. ....	58
Figura 3.20. Macrografía de la placa uno. ....	59

<b>Figura 3.21. Macrografía de la placa dos.....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 3.22. Macrografía de la placa tres. ....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 3.23. Macrografía de la placa cuatro.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 3.24. Macrografía de la placa cinco.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 3.25. Macrografía de la placa seis. ....</b>	<b>61</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding an American National Standard.....	6
Tabla 1.2.Composición química. (Análisis en colada, datos % en masa). .....	9
Tabla 1.3.Fórmulas para el cálculo del carbono equivalente. ....	16
Tabla 2.1.Especificaciones para la soldadura de las placas uno y dos. ....	26
Tabla 2.2. Especificaciones para la soldadura de las placas tres y seis. ....	26
Tabla 2.3. Especificaciones para la soldadura de las placas cuatro y cinco.....	27
Tabla 2.4. Composición química real del metal base.....	27
Tabla 2.5. Ensayos según la norma AWS D1.1.....	31
Tabla 2.6. Condiciones para la toma de radiografías.....	35
Tabla 2.7. Condiciones de trabajo.....	36
Tabla 2.8. Doblado de cara y raíz de la placa uno. ....	39
Tabla 2.9. Doblado de cara y raíz de la placa dos. ....	40
Tabla 2.10. Doblado de cara y raíz de la placa tres. ....	40
Tabla 2.11. Doblado de cara y raíz de la placa cuatro. ....	41
Tabla 2.12. Doblado de cara y raíz de la placa cinco. ....	41
Tabla 2.13. Doblado de cara y raíz de la placa seis.....	42
Tabla 3.1.Cuadro comparativo de resultados de la espectrometría por chispa.....	46
Tabla 3.2.Resistencia a la tracción obtenida en el ensayo. ....	46
Tabla 3.3. Mediciones de dureza en escala Rockwell C. ....	47
Tabla 3.4. Resultados de tintas penetrantes.....	47
Tabla 3.5. Resultados del ensayo de radiografías. ....	48
Tabla 3.6. Resultados obtenidos del ensayo de tracción reducida. ....	48
Tabla 3.7. Resultados de ensayo de doblado de cara y raíz placa uno.....	49
Tabla 3.8. Resultados de ensayo de doblado de cara y raíz placa dos. ....	49
Tabla 3.9. Resultados de ensayo de doblado de cara y raíz placa tres.....	50
Tabla 3.10. Resultados de ensayo de doblado de cara y raíz placa cuatro. ....	50
Tabla 3.11. Resultados de ensayo de doblado de cara y raíz placa cinco.....	51
Tabla 3.12. Resultados de ensayo de doblado de cara y raíz placa seis. ....	51
Tabla 3.13. Resultados del barrido de dureza de la placa uno.....	52
Tabla 3.14. Resultados del barrido de dureza de la placa dos. ....	53
Tabla 3.15. Resultados del barrido de dureza de la placa tres. ....	54
Tabla 3.16. Resultados del barrido de dureza de la placa cuatro.....	55

<b>Tabla 3.17. Resultados del barrido de dureza de la placa cinco. ....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 3.18. Resultados del barrido de dureza de la placa seis.....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 3.19. Análisis micrográfico de la placa uno.....</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 3.20. Análisis micrográfico de la placa dos.....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 3.21. Análisis micrográfico de la placa tres.....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 3.22. Análisis micrográfico de la placa cuatro. ....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 3.23. Análisis micrográfico de la placa cinco.....</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 3.24. Análisis micrográfico de la placa seis. ....</b>	<b>67</b>

## RESUMEN

El presente trabajo aborda el Procedimiento y Caracterización de la soldadura en materiales con alto contenido equivalente de carbono (Ceq mayor 0.4%), utilizando el proceso de soldadura FCAW.

El trabajo se lleva a cabo desde el punto de vista estructural y metalúrgico. Para la etapa experimental, se consideran parámetros como intensidad de corriente y la consideración del precalentamiento, estas medidas se consideran para obtener un buen cordón de soldadura, la verificación de los mejores parámetros se realiza con pruebas no destructivas tales como: inspección visual en cada placa, tintas penetrantes y radiografías, también se realizará pruebas destructivas: análisis metalográfico, dureza, pruebas de tracción, flexión de la cara y la raíz.

En los aceros antiabrasivo, los fabricantes consideran el precalentamiento con la composición química y el grosor de la placa, este trabajo se encontró una relación según el grado de dureza. Las mejores condiciones de soldadura son con precalentamiento, debido a la alta dureza del acero utilizado en este trabajo.

Palabras clave: Antiabrasivo, precalentamiento, dureza, FCAW.

## ABSTRACT

This work addresses the Procedure and Characterization of welding in materials with high carbon equivalent content ( $C_{eq}$  greater than 0.4%), using the FCAW welding process. The work is carried out from the structural and metallurgical point of view. For the experimental stage, parameters such as current intensity and consideration of preheating are considered, these measures are considered to obtain a good weld bead, the verification of the best parameters is carried out with non-destructive tests, stories such as: visual inspection on each plate, penetrating inks and x-rays, destructive tests are also performed: metallographic analysis, hardness, tensile tests, flexion of the face and the root. In the anti-abrasive steels, the manufacturers considered the preheating with the chemical composition and the thickness of the plate, this work found a relationship according to the degree of hardness. The best welding conditions are with preheating, due to the high hardness of the steel used in this job.

**Keywords:** Anti abrasive, preheating, hardness, FCAW.

# **PROCEDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE SOLDADURA EN MATERIALES CON ALTO CONTENIDO DE CARBONO EQUIVALENTE (CEQ MAYOR 0.4%)**

## **INTRODUCCIÓN**

Al considerar la demanda de un acero que presente las necesidades para la fabricación de equipos expuestos a trabajos en la industria del transporte pesado y minería, cuyos equipos, tales como tolvas de volqueta, cucharas de máquinas cargadoras, elementos de máquinas trituradoras, elementos de movimiento de tierra, con requerimientos mecánicos de dureza y tracción, se considera la utilización del acero anti abrasivo como una solución.

El material más utilizado en la fabricación de cajones de volquetas es el acero ASTM A36, considerando su facilidad en el mercado y sus excelentes propiedades mecánicas, sin embargo hay empresas que ofrecen otro tipo de material para la fabricación de cajones de volquetas. (Industria colombo-ecuatoriana de carrocerías, 2018).

La fabricación de cajones de volqueta, bañeras se realiza de manera artesanal, sin ningún tipo de calificación en la soldadura, por lo que se utilizan planchas de acero ASTM A36 de espesores superiores a 6 mm (Bobcat, 2018)

Este trabajo plantea el desarrollo experimental del procedimiento y caracterización de soldabilidad de acero anti abrasivo como una alternativa para la fabricación de cajones de volquetas, bañeras considerando sus excelentes propiedades como: tenacidad, alta dureza (400 HB), resistencia mecánica. En el mercado existen diferentes marcas de acero anti-abrasivo entre ellas tenemos: hardox 450, urssa 450, relia 400, 450, 500, fora 450.

Para el desarrollo de la soldadura se consideran variables de intensidad de corriente y voltaje, además de considerarse el factor de precalentamiento para garantizar las propiedades mecánicas en la junta soldada, debido al comportamiento de la microestructura de la zona afectada por el calor.

## **Pregunta de investigación**

¿Es recomendable realizar el precalentamiento antes de la soldadura?

## **Objetivo general**

Realización del procedimiento y caracterización de soldadura en materiales con alto contenido de carbono equivalente.

## **Objetivos específicos**

- Determinar el régimen de soldadura de las juntas soldadas en aceros de alto contenido de carbono equivalente.
- Establecer el procedimiento de soldadura de las juntas soldadas en aceros de alto contenido de carbono.
- Caracterizar la junta soldada del metal base a través de ensayos mecánicos.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Soldadura por arco con alambre tubular FCAW

En el proceso de soldadura por arco con electrodo tubular la soldadura se consigue con el calor de un arco eléctrico establecido entre un alambre-electrodo consumible continuo y la pieza que se suelda. La protección se obtiene del fundente contenido dentro de un alambre tubular pudiéndose utilizar con o sin gas de protección adicional.

La técnica de soldadura con hilo tubular se diferencia de soldar MIG/MAG en el tipo de electrodo que, en este caso, es un alambre hueco y relleno de fundente el cual, al fundirse por la acción del arco eléctrico, deposita un metal fundido protegido con una fina capa de escoria; se puede decir que es como un electrodo revestido al revés.

Con protección de gas (gas-shielded), que suele ser CO<sub>2</sub> o mezclas de CO<sub>2</sub>.

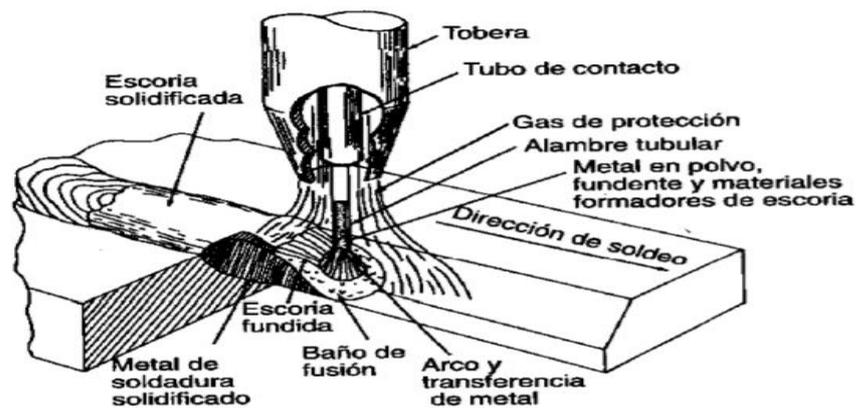


Figura 1.1. Proceso con alambre tubular con protección gaseosa.  
Fuente: (ESAB, 1953).

Su desarrollo comenzó con la introducción en 1953 del procedimiento de soldadura con varilla maciza protegida por CO<sub>2</sub> y afianzó su utilización en 1956 con la introducción de los hilos tubulares sin necesidad de gas protector (autoprotegidos); en los años 60 estaban desarrollados los hilos tubulares con y sin protección gaseosa obteniéndose con ellos depósitos limpios con buenas propiedades mecánicas. (Rodríguez, 2004)

## 1.2. Alambre tubular

Los alambres tubulares son electrodos continuos afines a los manejados en la soldadura GMAW, con el contraste de que tienen agujeros y en su interior contienen un fundente de características y funciones similares a las del electrodo revestido y la cantidad de fundente varía de un 15 a un 35% en peso. Como en la soldadura MIG/MAG, el proceso de soldadura con hilos tubulares depende de un gas de protección, para proteger la zona soldada de la

contaminación atmosférica. El gas puede ser aplicado de forma separada, en cuyo caso el hilo tubular se denomina de protección gaseosa, o bien, se genera por la descomposición de los elementos contenidos en el flux, en cuyo caso se habla de hilos tubulares autoprotegidos. Con el gas de protección y el núcleo de flux produciremos la escoria que protegerá al metal depositado en el tiempo de enfriamiento, inmediatamente la escoria desaparecerá. Este alambre nucleado, es más costoso que el alambre sólido estándar y puede generar humos y/o escoria, pero permite incluso una velocidad más alta de soldadura y mayor penetración del metal.

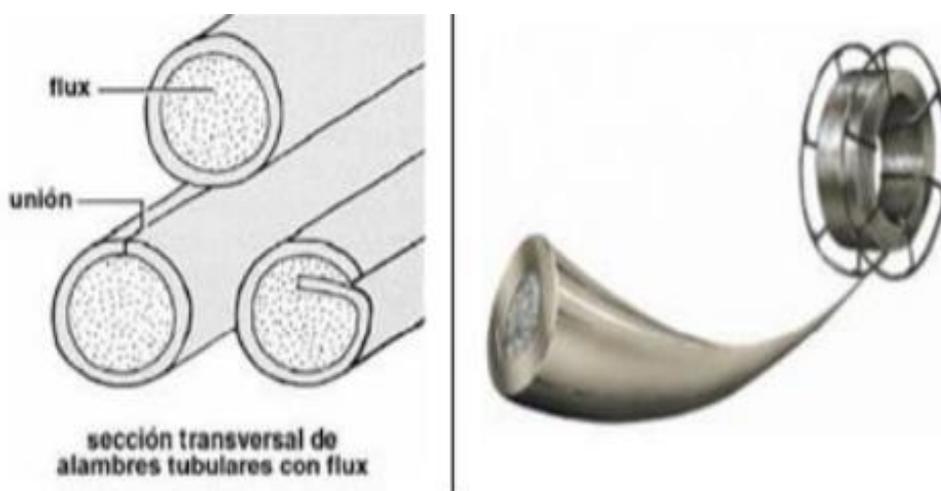


Figura 1.2. Alambre tubular para proceso de soldadura FCAW.  
Fuente: (Badillo, 2014, p. 5).

### 1.3. Condiciones de almacenamiento del alambre tubular

Las condiciones de almacenaje para alambres tubular son similares a los electrodos revestidos usados en el proceso SMAW. Los alambres con núcleo fundente son envasados en bolsas plásticas que contienen un desecante que protege al alambre de absorber humedad del ambiente. Los cartones deben protegerse del daño que produce el agua. Por su parte las etiquetas jamás deben retirarse de su envase; las partes restantes de alambres deben almacenarse en contenedores cerrados con la presencia de un desecante o en su defecto calentado a una temperatura de 6 a 8 grados Celsius por sobre la temperatura ambiente o ambos (INDURA, 2009)



Figura 1.3. Almacenamiento de alambre tubular.  
Fuente: (Badillo, 2014, p. 6).

#### **1.4. Procedimiento para la soldadura por arco con alambre tubular (FCAW)**

El electrodo con núcleo de fundente es un electrodo tubular de metal de aporte compuesto que consiste en una funda metálica y un núcleo con diversos materiales pulverizados. Durante la soldadura, se produce un manto de escoria abundante sobre la superficie de la franja de soldadura.

El aspecto que distingue al proceso FCAW de otros procesos de soldadura por arco es la inclusión de ingredientes fundentes dentro de un electrodo de alimentación continua; las notables características de operación del proceso y las propiedades de la soldadura resultante se pueden atribuir al empleo de este tipo de electrodo (West, 2013).

##### **1.4.1. Diámetro máximo del alambre**

Los electrodos se catalogan según si disponen de autoprotección o necesitan de dióxido de carbono como gas protector de aporte, del número de pases según el tipo de junta a ser trabajado, la composición química y el metal de aporte previo a cualquier tratamiento, los electrodos se diseñan de manera que se depositen metales con las composiciones químicas y propiedades mecánicas ligadas a la especificación vigente; este tipo de electrodos tubulares se producen en tamaños estándar con diámetros desde 1,2 mm a 4,0 mm (0,045 a 5/32), aunque puede existir tamaños especiales; las propiedades de soldadura pueden variar considerablemente obedeciendo al tamaño del electrodo, el amperaje, el espesor de las chapas, la geometría de la junta, la composición química del material base, el gas protector (de ser necesario). Algunos electrodos se diseñan para soldar en posición plana y horizontal, algunos electrodos con diámetros menores a 2,4mm (3/32) pueden servir para soldar fuera de posición si es una corriente de soldadura baja dentro de los parámetros recomendados por el fabricante. Según la norma AWS A5.29/A5.29M:2010 se distinguen 2 tipos de electrodos de acero para el proceso FCAW.

Tabla 1.1. Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding an American National Standard.

<b>E81T1-Ni1</b>		<b>E81T1-Ni2</b>
<p>Es un alambre que se aplica en toda posición, diseñado para uso con CO2 como gas de protección, contiene alrededor de 1% de níquel. Presenta una excelente soldabilidad, muy buena apariencia del depósito, poca salpicadura, arco estable y una fácil remoción de escoria, tiene buena resistencia al impacto en bajas temperaturas (-30°C). Se usan en estructuras de puentes, estanques de almacenamiento, maquinaria de movimiento de tierra en minería y construcción.</p>	<p><b>Presentación</b></p> <p>Diametros (mm.) 1.2-1.6</p> <p>Carrete Plástico 15 Kg.</p> <p><b>Norma AWS</b></p> <p>A 5.29</p>	<p>Es un alambre que se aplica en toda posición, diseñado para uso con 100% CO2 como gas de protección, contiene alrededor de 2.5% de níquel. Presenta una excelente soldabilidad, muy buena apariencia del depósito, poca salpicadura, arco estable y una fácil remoción de escoria, tiene buena resistencia al impacto en bajas temperaturas (-40°C). Se usan en estructuras de puentes, estanques de almacenamiento, maquinaria de movimiento de tierra en minería y construcción.</p>

Fuente: (Badillo, 2014, p. 8).

## 1.4.2. Equipo

### 1.4.2.1. Principales elementos del equipo requerido para el proceso

son:

- Máquina de soldar (fuente de poder).
- Se emplea una pistola y cables para conducir el alambre, el gas y la corriente de la fuente de poder al arco.
- Alimentador de Alambre. - El alimentador lleva el alambre tubular desde un carrete o bobina, vía ensamblaje de cable y pistola, al arco. La velocidad de alimentación determina la corriente que se suministra al arco, el control de velocidad de alimentación es, el ajuste de la corriente.
- Gas de Protección. - El gas protector desaloja el aire alrededor del arco, previniendo la contaminación por oxígeno e hidrógeno de la atmósfera. (,Oerlikon,Exsa, 1999, p. 36).

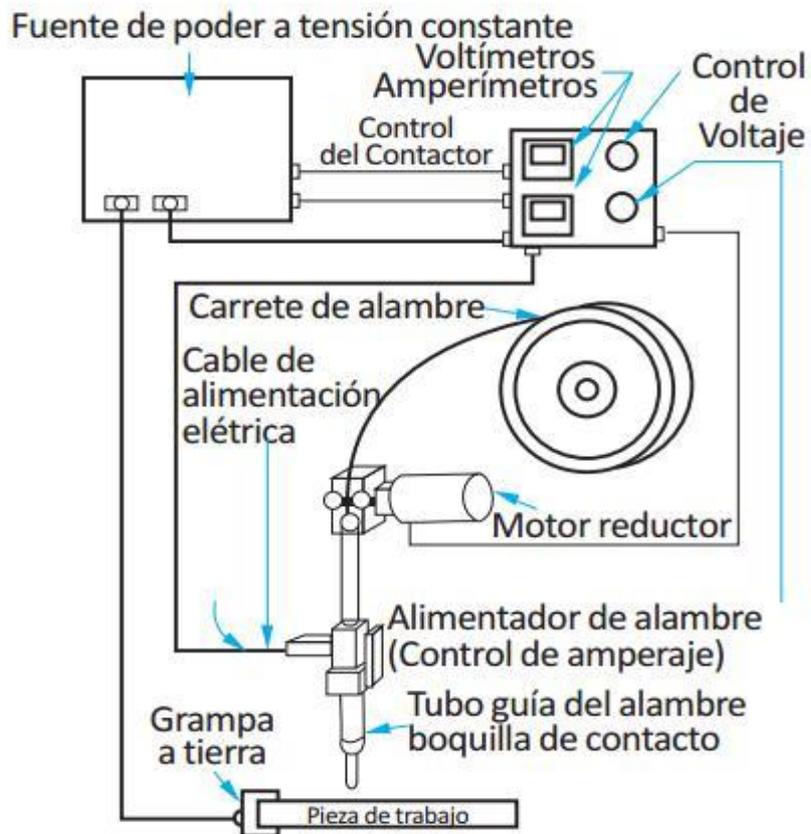


Figura 1.4. Esquema del circuito de soldadura FCAW.  
Fuente: (OERLIKON, 1999, p. 34).

### 1.4.3. Ventajas del proceso FCAW

- Alta calidad del cordón de soldadura
- Excelente apariencia del cordón, soldadura suave y uniforme
- Excelente entorno de los cordones de filetes horizontales
- Se puede soldar una variedad de aceros con un amplio rango de espesores
- Factor de alta operatividad
- Fácil mecanizado
- Alta tasa de deposición
- Economía en los diseños ingenieriles de juntas
- Arco visible que facilita su aplicación
- La limpieza previa es mucho menor que la que se requiere para la soldadura por arco de metal con protección gaseosa (GMAW)
- Distorsión reducida comparada con la soldadura SMAW

## **1.5. Metalurgia del acero anti abrasivo**

La industria del acero anti abrasivo se destaca por su constante innovación y desarrollo, creando materiales especiales para la fabricación de máquinas-herramientas para la perforación de rocas y extracción de minerales, además de los equipos orientados a obras civiles y exploración y explotación de hidrocarburos, cuya función principal es soportar los factores de desgaste producidos por la fricción.

Los aceros anti abrasivos benefician tanto al fabricante como al usuario final del producto, incrementando la competitividad y rentabilidad para ambos; mediante la utilización de aceros de extra y ultra alta resistencia al desgaste se puede ahorrar peso, incrementar la carga y la vida útil; reducir costos de producción.

Un menor peso de un camión o de una máquina para el movimiento de tierras aumenta su capacidad de carga, reduce el consumo de combustible y el desgaste de la máquina. La experiencia ha demostrado que los costos de reparación y mantenimiento de diversos tipos de vehículos, remolques, grúas, taladros y palas se reducen de forma muy significativa, se pueden obtener ahorros de peso de hasta el 30 por ciento, cambiando el acero estructural por aceros de mayor resistencia en componentes que soportan altos esfuerzos.

### **1.5.1. Antiabrazión**

El desgaste de los metales por abrasión se produce cuando las asperezas duras de diferentes elementos arena, roca, chatarra, asfalto, cemento, coque, carbón, tierra, madera, hacen contacto sobre el metal rayando su superficie y abriendo surcos al momento de la fricción, lo cual causa múltiples cortes que rasgan el metal (indentación), ocasionan el deterioro y la reducción de la vida útil de la pieza y, por ende, cuantiosas pérdidas económicas.

En particular, esto sucede en mayor medida en maquinaria y herramental utilizados en la construcción, obras civiles, industria minera, cementera, de agregados, de asfaltos, plantas de generación de energía, de pulpa de papel, ingenios azucareros y la industria siderúrgica, donde la agresividad del medio es muy alta, se exige el empleo de aceros avanzados de alta resistencia, acero anti abrasivo. A estos aceros se aplican diferentes tratamientos térmicos para transformar su microestructura y conseguir mejoras en sus propiedades mecánicas; entre las cuales, la dureza por definición es la principal propiedad a considerar; el aumento de la dureza produce una disminución de la profundidad de indentación o penetración del elemento abrasivo y, por lo tanto, una disminución del tamaño de los surcos ocasionados en el deslizamiento, mejorando el desempeño del material.

### 1.5.2. Composición química

La composición química del acero resistente a la abrasión es lo que garantiza la resistencia al desgaste en comparación a otros tipos de acero, existen diferentes combinaciones de aleantes que se pueden utilizar para aumentar la resistencia a la abrasión, ver Tabla 1.2. El cromo y el manganeso se agregan para ayudar a reducir los efectos negativos causados por el desgaste y la concentración en silicio que evita la formación de carburos.

Tabla 1.2. Composición química. (Análisis en colada, datos % en masa).

C	Mn	P	S	B	Cr+Ni+Mo	Nb+V+Ti
0.20	1.70	0.02	0.005	0.004	1.6	0.12

Fuente: (Sierra, Garcia, & Morales, 2000).

### 1.5.3. Microestructuras del acero anti abrasivo

Las microestructuras que se pueden presentar en el acero anti abrasivo dependen del tipo de enfriamiento de la colada, estas pueden ser perlita, bainita, martensita y martensita revenida, debido a los requerimientos técnicos de su dureza como se puede observar en la Figura 1.5 Fase Hierro-Carbono.

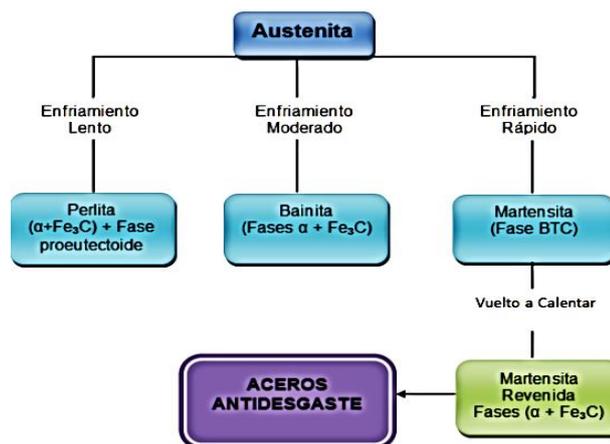


Figura 1.5. Fases Hierro-Carbono.

Fuente: (Guliávez,A, 1978).

## 1.6. Principales aleantes en aceros resistentes a la abrasión

Los siguientes elementos son fundamentales para la acción de resistencia a la abrasión en los aceros como: manganeso, fósforo, cromo, azufre, molibdeno, níquel, boro, vanadio, titanio.

### 1.6.1. Manganeso (Mn)

Es un elemento químico que brinda mejor resistencia y templeabilidad, siendo relevante destacar que tiene bajo precio, este aleante brinda equilibrio entre el oxígeno y azufre, el

manganeso actúa como desoxidante, con la ayuda del oxígeno, evitando que se desprendan gases indeseables durante la solidificación del acero (Biltra, 2000).

#### **1.6.2. Fósforo (P)**

Este elemento químico se adiciona en bajas cantidades, por debajo del 0.04%, cantidad que tiende a disolverse en ferrita, aumentando ligeramente la resistencia y la dureza. (Gómez , 1998).

#### **1.6.3. Cromo (Cr)**

Elemento químico donde aumenta la profundidad del endurecimiento y mejora la resistencia al desgaste y corrosión.

#### **1.6.4. Azufre (S)**

Este elemento se mantiene generalmente por debajo del 0.05%. Este metaloide se combina con el hierro para formar sulfuro de hierro (FeS), el cual forma, a su vez, una aleación eutéctica de bajo punto de fusión, para contrarrestar los efectos del azufre se agrega manganeso (Morral, Jimeno, & Molera, 2008).

#### **1.6.5. Molibdeno (Mo)**

Aleante que proporciona gran resistencia a la tracción, resistencia a la fluencia y mejora la templabilidad.

#### **1.6.6. Níquel (Ni)**

Es un elemento de endurecimiento y tiene la propiedad de poder alearse con muchos metales, tiene una alta tenacidad y resistencia, al emplearse juntamente con el cromo, aumenta la dureza y la resistencia al desgaste. (Morral, Jimeno, & Molera, 2008)

#### **1.6.7. Boro (B)**

Este elemento mejora la templabilidad de los aceros, generalmente se aplica en los aceros que contengan de 0,30 a 0,50% de carbono.

#### **1.6.8. Vanadio (V)**

Este elemento es el encargado de afinar el grano, también se pueden formar carburos, por lo que se aplica en pequeños porcentajes 0,02% a 0,03%.

### **1.6.9. Titanio (Ti)**

Este elemento es utilizado en aceros, actúa como desoxidante y tiene la capacidad de afinar el grano, también aumenta la resistencia a altas temperaturas.

### **1.7. Propiedades y aplicaciones del acero anti abrasivo**

El acero anti abrasivo tiene propiedades mecánicas muy buenas en comparación con aceros estructurales, el acero anti abrasivo se destaca por su dureza, tenacidad, resistencia mecánica, muy buena resistencia a la deformación plástica y al desgaste por impacto (Arcerol & Mittal, 1992).

Por lo que actualmente, hay referencias de aceros AR (400-450-500), ideadas para reducir el peso y aumentar la resistencia en aplicaciones como grúas móviles, grúas de carros y tráilers; se han ideado otros aceros de alta resistencia para aumentar la vida útil de equipos como cucharones de excavadoras, platones de volquetas, machacadoras de roca, instalaciones de transporte y manipulación de minerales, plantas de reciclaje y máquinas pesadas, etc. En excavadoras, camiones de acarreo, camiones industriales, máquinas de piezas y herramientas para la extracción de minerales (minería), herramientas de metal de trabajo – filos de corte, cuchillas, engranajes, rodamientos, cargadores, cucharones, etc.

Los fabricantes de aceros AR (400-450-500), han dejado un amplio margen para la manipulación y trabajo con estos aceros; en general son soldables, aunque en algunos casos es necesario precalentarlos, respetando algunos parámetros de sus propiedades mecánicas, pues es posible doblarlos y mecanizarlos con relativa facilidad, como se puede observar en las figuras 1.6 a 1.10.



Figura 1.6. Tolva de volqueta.  
Fuente: (ALBIZ, 2018).



Figura 1.7. Bañera anti abrasiva.  
Fuente: (HERMONT, 2018).



Figura 1.8. Cucharón de excavadoras.  
Fuente: (INTEREMPRESAS, 2018).



Figura 1.9. Pala minera.  
Fuente: (Orozco, 2018).



Figura 1.10. Camión minero.  
Fuente: (Editec SPA, 2018).

### 1.7.1. Dureza

La dureza de los aceros se puede manifestar en escalas diferentes, las más utilizadas son: Rockwell, Brinell y Vickers, las cuales están en función del metal y de las condiciones de aplicación de la carga.

La escala de dureza Rockwell consiste en aplicar una carga sobre el objeto en medición intermediado por un penetrador (puede ser un penetrador esférico de acero duro o cónico de diamante), como muestra la Tabla 1.2. Para escalas normales, cada unidad de dureza Rockwell equivale a 0,002 mm de profundidad, y para escalas de dureza Rockwell Superficial cada unidad de dureza equivale a 0,001 mm de profundidad.

Indentador	Bola					Cono		
Denominación	B	E	F	G	K	A	C	D
Diámetro [mm]	1,59	3,175	1,59	1,59	3,175	-	-	-
Carga [kg]	100	100	60	150	150	60	150	100

Figura 1.11. Especificación de penetrador y carga en los distintos ensayos de dureza Rockwell.  
Fuente: (Valencia, 1993).

La norma ASTM E10 define la dureza Brinell como un método de ensayo por indentación por el cual, con el uso de una máquina calibrada, llamada durómetro, se indenta una bola fabricada de un acero templado extraduro de un diámetro (D) determinado (función del espesor de la probeta a ensayar), y bajo unas condiciones específicas, contra la superficie del material que se quiere calcular su dureza, mediante la aplicación de una fuerza (P) durante un tiempo (t) dado.

Como resultado del ensayo aparecerá una huella que tendrá forma de casquete esférico de diámetro (d) en la superficie de la probeta ensayada.

El valor que hay que medir en el ensayo es precisamente este diámetro (d) del casquete que se forma en la superficie del material. La dureza Brinell (HB) viene definida entonces por la siguiente expresión:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

donde,

P: es la carga a utilizar en el ensayo, medida en kp.

D: es el diámetro de la bola (indentador) medida en mm.

d: es el diámetro medio de la huella creada en la superficie de la probeta, en mm.

Para la realización del ensayo se observa que la probeta no tenga defectos como pandeos en los bordes o fisuras superficiales; con el microscopio Brinell, medir el diámetro de la impresión del indentador sobre la probeta de ensayo y con la impresión del indentador y la carga aplicada determinamos el número de dureza Brinell de la norma ASTM E10.

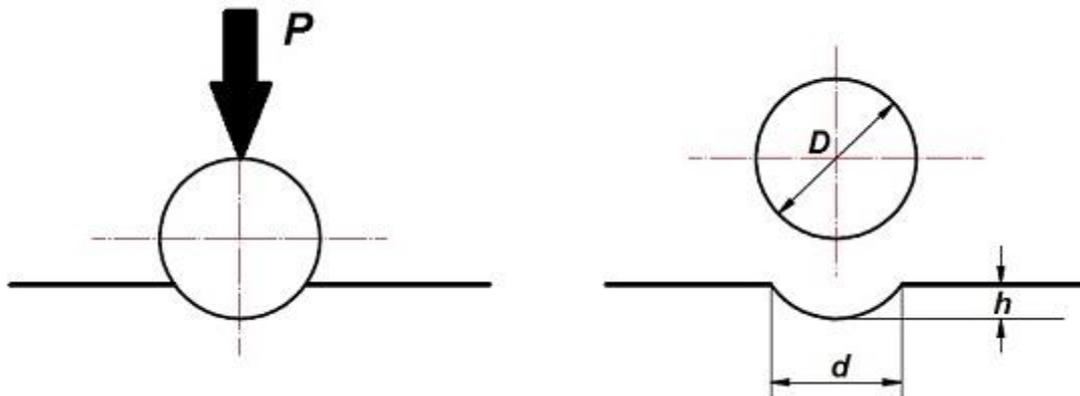


Figura 1.12. Ensayo de dureza Brinell.

Fuente: (ASTM E10 - Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials, 2011).

La escala Vickers se utiliza para micro durezas mediante la penetración de un diamante de forma piramidal, se emplea fundamentalmente en los ensayos de materiales de gran dureza y de las piezas con secciones muy pequeñas, o en capas muy finas exteriores como son: las nitruradas, cementadas; consiste en la penetración de un diamante piramidal tetraédrico con un ángulo entre aristas de  $136^\circ$  en la superficie que se ensaya, ver Figura 1.13.

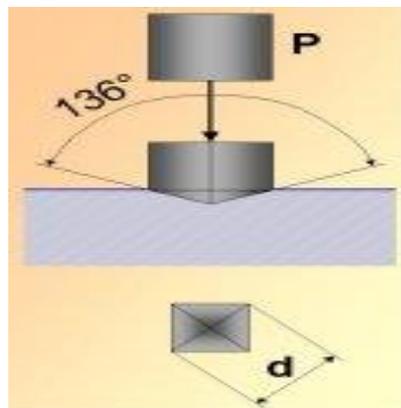


Figura 1.13. Ensayo de dureza Vickers

Fuente: (Valencia, 1993).

## 1.8. Parámetros de soldadura

Para realizar correctamente la soldadura hay que considerar parámetros que deben ajustarse antes de su realización, como los siguientes: precalentamiento, carbono equivalente y métodos para el cálculo de temperaturas de precalentamiento.

### 1.8.1. Pre calentamiento

El pre calentamiento de placas antes de soldar se utiliza para controlar la velocidad de enfriamiento de la soldadura, evitando cambios bruscos en su microestructura, este cálculo se realiza bajo ciertas condiciones, una de ellas es la composición química del metal base y su carbono equivalente; las fórmulas para determinar la temperatura adecuadas de pre calentamiento se podrán observar en la Tabla 1.3.

### 1.8.2. Carbono equivalente

Existen algunas fórmulas para realizar el cálculo del carbono equivalente (CE) que han sido desarrolladas experimentalmente, este cálculo se realiza para tener una idea aproximada del comportamiento de los aceros en lo referente a su soldabilidad, pero de ninguna de estas predicciones es exacta ya que la soldabilidad de un acero depende de varios factores y no sólo de su composición química.

Tabla 1.3.Fórmulas para el cálculo del carbono equivalente.

Autor	Fórmula
Seferián	$CE = C + (Mn + Cr)/9 + Ni/18 + (7/90)$
Bradstreet (BWRA)	$CE = C + Mn/20 + Ni/15 + (Cr + Mo + V)/10$
AWS D1.1	$CE = C + (Mn + Si)/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$

Fuente: (Olson, Dixon, & Liby, 1990).

### 1.8.3. Temperatura de Pre calentamiento

La temperatura de pre calentamiento debe ser la correcta para que el proceso sea efectivo, los métodos que se describen a continuación son los que determinan, se consideran los factores que influyen en el fisuramiento: composición química del acero, difusión de hidrógeno, calor entregado, espesor del metal base, tensiones residuales en la soldadura, caminos de dispersión de calor, restricción de la junta, tipo de proceso de soldadura; en este trabajo se considera el método de Seferián como el principal, el criterio de Ito y Bessyo se describe como un complemento.

#### 1.8.3.1. Método de Seferián

El método de Seferián determina la temperatura de pre calentamiento utilizando una fórmula que la calcula directamente, tomando en cuenta sólo la composición química del metal base y el espesor de mismo elemento de la siguiente manera:

$$Tp(^{\circ}C) = 350\sqrt{CE_T - 0.25}$$

Donde:

- $T_p$  = Temperatura de Pre calentamiento Mínima
- $CE_T$  = Carbono Equivalente Total

$$CE_T = CE_q + CE_e = CE_q(1 + 0.005_e)$$

Donde:

- $CE_q$  = Carbono Equivalente químico de Seferián
- $CE_e$  = Carbono Equivalente del espesor
- $e$  = Espesor del metal base (mm)

$$CE_q = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7Mo}{90}$$

Seferián determina gráficamente la temperatura de pre calentamiento como se muestra en la Figura 1.14. Como puede observarse, Seferián no tiene en cuenta la energía neta aportada en el proceso de soldadura y por esta razón, las temperaturas resultantes son superiores a las realmente necesarias en aproximadamente 25 a 50 °C.

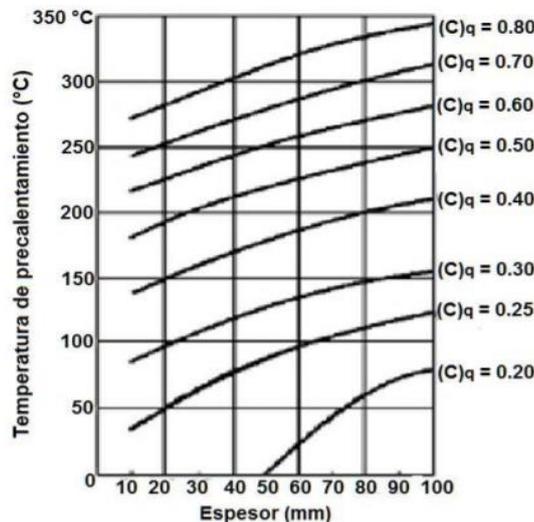


Figura 1.14. Gráfico de Seferián.  
Fuente: (OLSON, DIXON, & LIBY, 1990).

### 1.8.3.2. Criterio de Ito y Bessyo

El criterio de Ito y Bessyo adiciona a la fórmula del carbono equivalente factores que por lo general no son tomados en cuenta en otras fórmulas de carbono equivalente, los factores adicionales son: nivel de hidrógeno, grado de restricción, espesor de la junta.

Al agregar estos factores a la fórmula de Carbono Equivalente el nuevo término se llama Parámetro de Composición (Pcm).

$$Pcm = C + \frac{Si}{30} + \frac{(Mn + Cu + Cr)}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B + \frac{H}{60} + \frac{A * t}{600}$$

$$T_p(^{\circ}C) = 1440 Pcm - 392^{\circ}C$$

Donde:

H.- Representa la cantidad de hidrogeno disuelto en el metal depositado en (cm<sup>3</sup>/100g).

- H = 5 para electrodos de extra bajo hidrógeno
- H = 6 para electrodos de bajo hidrógeno
- H ≥ 25 para electrodos rutilicos/celulósicos

A.- Grado de restricción

- A = 1 para juntas libres
- A = 2 para juntas restringidas

t.- Es el espesor de la junta en mm

### 1.8.3.3. Método de la BWRA

Este método fue desarrollado según la Asociación Británica de Investigación de Soldadura (British Welding Research Association), el cual se basa en el cálculo de la temperatura de precalentamiento en base a un conjunto de tres:

- 1.) Composición química del acero y tipo de electrodo utilizado, lo cual brinda un Índice de la Soldabilidad del mismo elemento (IS).
- 2.) Tipo de junta y espesores de las piezas a soldar, que se calcula cualitativamente por el Número de Severidad Térmica (NST), el cual indica cuan severas son las condiciones para la conducción de calor en la unión soldada.
- 3.) Diámetro del electrodo utilizado, limita la intensidad de corriente que se puede aplicar al electrodo.

$$CEq = C\% + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{10}$$

$$NST = \frac{C * E}{6}$$

## 2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizó un acero anti abrasivo grado 400 HB, debido a que es un acero con muy buenas características mecánicas y de obtención en el mercado ecuatoriano, la utilización del proceso FCAW se debe a que es un proceso de soldeo por arco con electrodo tubular utilizado en la fabricación de elementos para movimiento de tierra, equipos mineros y equipo pesado. La verificación de la soldadura será evaluada según la norma AWS D1.1, en la cual se establecen los ensayos de tracción, doblado de cara y raíz. Los equipos mineros, equipos pesados utilizan espesores de 4 y 6 mm, por lo que se eligió trabajar con un espesor de 5 mm. Las recomendaciones de los fabricantes de acero anti abrasivo para el proceso de soldadura son las siguientes:

- ✓ Para espesores menores a 20 mm se deben biselar en V, para espesores superiores se recomienda biselar en X.
- ✓ Según el espesor de la plancha y el fabricante se recomienda utilizar la adecuada temperatura de precalentamiento.
- ✓ El alambre recomendado es el AWS-E81T1-GM.

### 2.1. Caracterización del metal base

#### 2.1.1. Ensayo de espectrometría por chispa

Para la realización del análisis de la composición química del acero anti abrasivo grado 400 HB, se efectuó una espectrometría por chispa, en una muestra pequeña, las dimensiones están indicada en la Figura 2.1. Este método consiste en detectar las longitudes de onda características de cada elemento cuando sus electrones son excitados mediante una chispa, para lo cual se utiliza el espectrómetro Bruker, ver Figura 2.2, que se encuentra disponible en el laboratorio de fundición de la Escuela Politécnica Nacional.

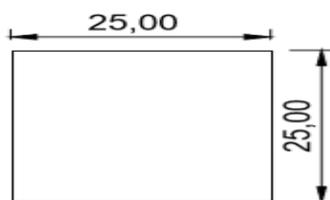


Figura 2.1. Dimensiones para el ensayo de espectrometría.  
Fuente: (Propia).



Figura 2.2. Espectrómetro Bruker Q2-ION.  
Fuente: (Propia).

### 2.1.2. Ensayo de tracción

Es uno de los ensayos más comunes dentro de las pruebas destructivas a las que un material puede ser sometido, ya que permite determinar propiedades mecánicas como: ductilidad, resistencia, tenacidad, modulo elástico y capacidad de endurecimiento por deformación, en este ensayo de tensión del metal base se realiza para comprobar que el material cumpla con las especificaciones técnicas del fabricante y determinar sus características mecánicas. Este ensayo se realiza bajo la norma ASTM E-8, el mismo que establece las condiciones del metal base. Se aplica a materiales metálicos, al tratarse de una plancha la probeta será de geometría rectangular, ver en Figura 2.3.



Figura 2.3. Probetas para ensayo de tensión.  
Fuente: (Propia)

En cada muestra, la norma define las dimensiones requeridas, ver en la Figura 2.4 así como el tipo de agarre de la máquina que son esenciales para realizar un ensayo con éxito. La máquina de ensayo universal del laboratorio de análisis y esfuerzos, ver la Figura 2.5, tiene los agarres rectangulares requeridos.

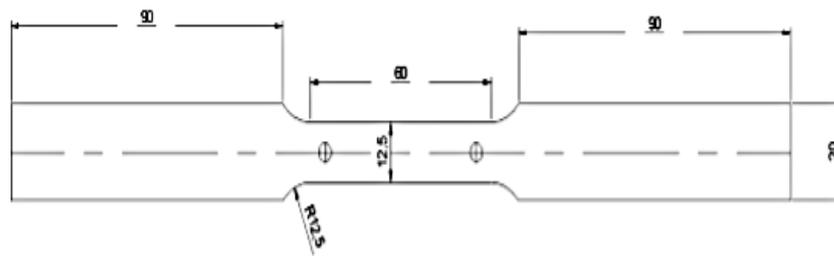


Figura 2.4. Especificaciones para la probeta de material base.  
Fuente: (ASTM E8 / E8M, 2016).

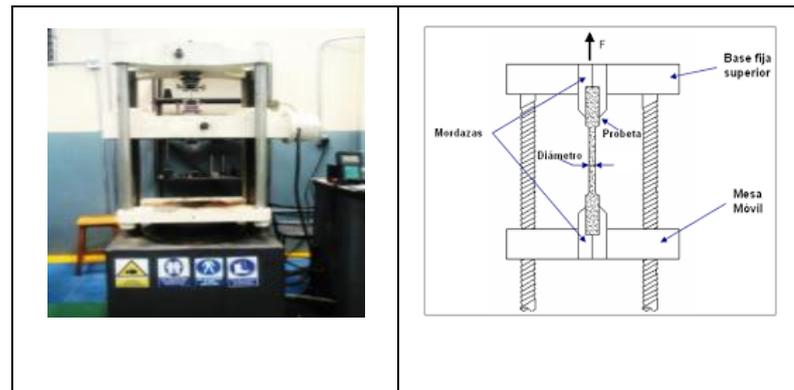


Figura 2.5. Máquina de ensayos universal del LAEV.  
Fuente: (Propia).

### 2.1.3. Ensayo de dureza

La dureza de un material se puede entender como la resistencia que opone el material a su deformación plástica permanente superficial por rayado o penetración. También podemos definir la dureza como aquella propiedad superficial, capaz de resistir toda deformación elástica, plástica o destructiva debido a la acción de esfuerzos de contacto locales originados por otro cuerpo (identador o penetrador), más duro, de forma y dimensiones determinadas. Existe diferentes tipos de ensayos mediante los cuales se puede obtener los valores de dureza y los más comunes son: Brinell, Vickers, Knoop y Rockwell. El ensayo se realiza bajo las especificaciones de la norma ASTM E18-18 (Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials). El ensayo de dureza del material base se realizó como un ensayo de comprobación de las especificaciones técnicas del acero anti abrasivo grado 400HB, dado por el fabricante, para ello se utiliza una probeta con las dimensiones establecidas en la Figura 2.6, La dureza del acero anti abrasivo se realiza en el durómetro Brinell del laboratorio de esfuerzos y vibraciones, ver Figura 2.7, encuentra en la escala Brinell debido a su alta dureza y para la comparación con el valor dado por el fabricante.

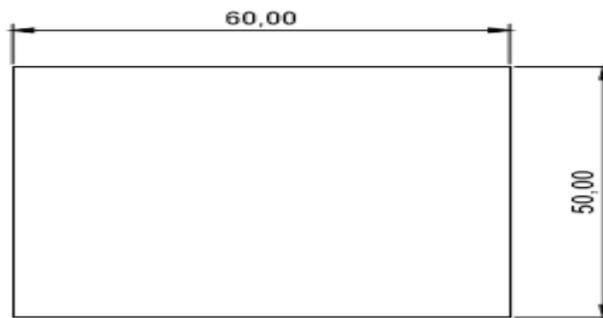


Figura 2.6. Dimensiones de la probeta para el ensayo de dureza.  
Fuente: (Propia).



Figura 2.7. Durómetro Brinell LAEV.  
Fuente: (Propia).

## 2.2. Procedimiento para la realización de la junta soldada con proceso

### FCAW

La selección del procedimiento de soldadura FCAW se lo realizó considerando las características que brinda, además de ser considerado un proceso de soldadura de arco eléctrico que utiliza el arco formado entre un electrodo alimentado continuamente, que es el metal de aporte, y el charco de soldadura. El procedimiento de soldadura empieza al seleccionar las diferentes variables, para establecer cuales contienen una difusión excelente de alambre tubular y metal base, para este trabajo se trabaja con el equipo mostrado en Figura 2.8.



Figura 2.8. Equipo de soldadura FCAW.  
Fuente: (Propia).

### **2.2.1. Variables principales**

Son las que están encargadas de controlar la profundidad de penetración y la geometría del cordón de soldadura al realizar cada uno de los procesos.

#### **2.2.1.1. Intensidad de corriente**

Cuando todas las otras variables se mantienen constantes, el amperaje de soldadura varía con la velocidad de alimentación del electrodo, o la tasa de fusión, en una relación no lineal. Cuando la velocidad de alimentación del electrodo se varíe, el amperaje de soldadura variará en forma similar si se está utilizando una fuente de potencia de voltaje constante. Cuando se mantienen constantes todas las otras variables, un incremento en la corriente de soldadura (velocidad de alimentación del electrodo) producirá: Un aumento en la penetración de la soldadura (profundidad y ancho del cordón) y un aumento en la tasa de deposición (Lincoln Electric, 2004).

#### **2.2.1.2. Voltaje**

El voltaje, es decir la tensión que ejerce la energía sobre el electrodo y la pieza, resulta determinante en el proceso: a mayor voltaje, mayor es la penetración de la soldadura. Por otro lado, el amperaje (potencia de la corriente), controla la velocidad de salida del electrodo. Así, con más potencia crece la velocidad de alimentación del material de aporte, se generan cordones más gruesos y es posible rellenar uniones grandes.

#### **2.2.1.3. Velocidad de avance**

Si se mantienen todos los demás parámetros constantes, cuanto menor sea la velocidad de soldeo mayor será la penetración.

## **2.3. Variables secundarias**

Las siguientes variables como (altura de la boquilla, ángulo de la boquilla, velocidad de alimentación del alambre) hacen referencia a las causas que pueden implicar en el equipo al momento de realizar la soldadura.

### **2.3.1. Stick out**

El extremo libre del alambre es la distancia desde el tubo de contacto hasta el extremo del alambre y está relacionada con la distancia entre el tubo de contacto y la pieza a soldar. Esta variable tiene suma importancia para el soldeo y en especial para la protección del baño de fusión. (Lincoln electric, 2008)

### **2.3.2. Extensión del electrodo**

Es la distancia entre el extremo de la punta de contacto hasta el punto donde el alambre se derrite en el arco, es una variable importante donde el operador debe entender y controlar. Esta distancia puede tener un efecto en la resistencia del circulo y causar la variación del amperaje, igual de importante es que la resistencia ayuda al alambre FCAW a precalentarse ligeramente para asegurar que actúe conforme a su diseño. La temperatura del electrodo afecta la energía del arco, la tasa de deposición del electrodo y la penetración de la soldadura.

### **2.3.3. Angulo del electrodo**

Para el proceso FCAW la fuerza del arco sirve para dar a la franja de soldadura la forma adecuada, también para evitar que la escoria corra por delante del metal de soldadura y quede atrapada al efectuar soldaduras de bisel y filete, en las posiciones plana y horizontal, los ángulos de arrastre variarán entre 20 y 45 grados, aunque se usan ángulos más grandes para soldar secciones delgadas, ya que al aumentar el espesor del material el ángulo de arrastre se debe reducir para incrementar la penetración.

También cuando se utiliza la técnica de soldeo hacia delante disminuye la penetración y el cordón se hace más ancho y plano, por lo que se recomienda para el soldeo de pequeños espesores. La máxima penetración se obtiene con el soldeo hacia atrás con un ángulo de desplazamiento de 25°. Para la mayoría de las aplicaciones se utiliza el soldeo hacia atrás con un ángulo de desplazamiento de 5-15° (Perez Garcia, 2016).

### 2.3.4. Angulo de inclinación de la pistola

Se deben seleccionar los ángulos con sumo cuidado al realizar la soldadura el ángulo de desplazamiento debe ser el mismo que es utilizado en la soldadura. Para las posiciones planas y horizontales, el ángulo de trabajo será de  $20^\circ$  a  $45^\circ$ . Se utilizan mayores ángulos para los espesores delgados, a medida que aumenta el espesor de la pieza el ángulo de desplazamiento debe disminuir (la pistola se pondrá más vertical) para el aumento de penetración.

## 2.4. Corte y preparación de los cupones de prueba

### 2.4.1. Obtención de placas

De la plancha de acero anti abrasivo se extrae mediante oxicorte, 12 cupones, ver Figura 2.9, los mismos que serán utilizados en 3 procesos y con condiciones diferentes, para determinar las circunstancias de soldadura de este tipo de acero.



Figura 2.9. Realización de los cortes de la plancha de acero anti abrasivo grado 400HB.  
Fuente: (Propia).

#### 2.4.1.1. Preparación de la junta soldada

En esta parte se procede a la preparación de bisel, en este trabajo se considera que las placas deben tener un bisel de  $30^\circ$ , como se muestra en la Figura 2.10.

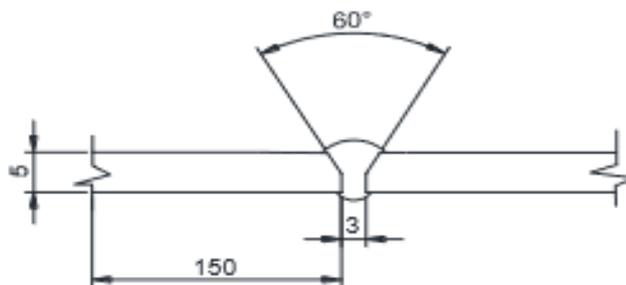


Figura 2.10. Diseño de la junta soldada.  
Fuente: (Propia).

## 2.5. Soldadura de las placas

La Soldadura de placas, se realiza en 6 cupones diferentes, para poder establecer cual muestra mejores propiedades en la junta soldada, ver Tabla 2.1, Tabla 2.2, Tabla 2.3, placas soldadas mediante el proceso FCAW.

Tabla 2.1. Especificaciones para la soldadura de las placas uno y dos.

<b>Proceso FCAW sin tratamiento térmico (FCSTT)</b>				
<b>PLACAS</b>	<b>Paso 1</b>	<b>Paso 2</b>	<b>Paso 3</b>	<b>Pre calentamiento</b>
Placa 1 (FCSTT1) Sin cordón de respaldo	Voltaje: 22.5 V	Voltaje: 22.5 V	Voltaje: 22.5 V	N/A
	Amperaje: 183 A	Amperaje: 183 A	Amperaje: 183 A	
	Velocidad: 125 mm/min	Velocidad: 125 mm/min	Velocidad: 225 mm/min	
	Tiempo: 140s	Tiempo: 95s	Tiempo: 150s	
Placa 2 (FCSTT2) Con cordón de respaldo	Voltaje: 22.5 V	Voltaje: 22.5 V	Voltaje: 22.5 V	N/A
	Amperaje: 183 A	Amperaje: 181 A	Amperaje: 183 A	
	Velocidad: 125 mm/min	Velocidad: 125 mm/min	Velocidad: 225 mm/min	
	Tiempo: 165 s	Tiempo: 122s	Tiempo: 127s	

Fuente: (Propia).

Tabla 2.2. Especificaciones para la soldadura de las placas tres y seis.

<b>Proceso FCAW con pre calentamiento (FCPC)</b>				
<b>PLACAS</b>	<b>Paso 1</b>	<b>Paso 2</b>	<b>Paso 3</b>	<b>Pre calentamiento</b>
Placa 1 (FCPC3) Con cordón de respaldo	Voltaje: 18.1 V	Voltaje: 22.5 V	Voltaje: 22.5 V	Calentada a 200° Segundo paso se vuelve a calentar. Enfriamiento en arena.
	Amperaje: 125 A	Amperaje: 183 A	Amperaje: 185 A	
	Velocidad: 125 mm/min	Velocidad: 225 mm/min	Velocidad: 225 mm/min	
	Tiempo: 160s	Tiempo: 105s	Tiempo: 145s	
Placa 2 (FCPC6) Sin cordón de respaldo	Voltaje: 19.1 V	Voltaje: 23.6 V	Voltaje: 23.6 V	Calentada a 200° Enfriamiento en arena
	Amperaje: 99 A	Amperaje: 200 A	Amperaje: 197 A	
	Velocidad: 125 mm/min	Velocidad: 225 mm/min	Velocidad: 225 mm/min	
	Tiempo: 205s	Tiempo: 110s	Tiempo: 140s	

Fuente: (Propia).

Tabla 2.3. Especificaciones para la soldadura de las placas cuatro y cinco.

<b>Proceso FCAW con Post enfriamiento (FCPWHT)</b>				
<b>PLACAS</b>	<b>Paso 1</b>	<b>Paso 2</b>	<b>Paso 3</b>	<b>Precalentamiento</b>
Placa 4 (FCPWHT4) Con cordón de respaldo	Voltaje: 18.5 V Amperaje: 99 A Velocidad: 125 mm/min Tiempo: 215s	Voltaje: 22.5 V Amperaje: 169 A Velocidad: 225 mm/min Tiempo: 140s	Voltaje: 23.6 V Amperaje: 185 A Velocidad: 225 mm/min Tiempo: 125s	Calentada a 200°. Enfriamiento en arena.
Placa 5 (FCPWHT5) Sin cordón de respaldo	Voltaje: 19.1 V Amperaje: 99 A Velocidad: 125 mm/min Tiempo: 205s	Voltaje: 23.6 V Amperaje: 200 A Velocidad: 225 mm/min Tiempo: 170s	Voltaje: 23.6 V Amperaje: 197 A Velocidad: 225 mm/min Tiempo: 140s	Calentada a 200° Enfriamiento en arena

Fuente: (Propia).

### 2.5.1. Precalentamiento

El precalentamiento ayuda a mejorar las propiedades mecánicas y a tener microestructuras homogéneas. La consideración del precalentamiento, se lo realizó debido a la composición química del acero anti abrasivo, especificado en la Tabla 2.4, del cual se obtuvieron datos para realizar el cálculo del carbono equivalente según varios autores, ver Tabla 1.1 y con este valor se procede a calcular la temperatura de precalentamiento, la cual tiene un valor de 147.58°C. El procedimiento de precalentamiento se lo realiza mediante llama oxigas y controlado mediante un pirómetro digital, ver Figura 2.11.

Tabla 2.4. Composición química real del metal base.

<b>Composición química del metal base</b>		
<b>Carbono</b>	%C	0,112
<b>Silicio</b>	%Si	0,335
<b>Manganeso</b>	%Mn	0,771
<b>Fosforo</b>	%P	0,012
<b>Cromo</b>	%Cr	0,271
<b>Níquel</b>	%Ni	0,027
<b>Cobre</b>	%Cu	0,018
<b>Aluminio</b>	%Al	0,018
<b>Niobio</b>	%Nb	0,010
<b>Titanio</b>	%Ti	0,027
<b>Boro</b>	%B	0,0035

Fuente: (Propia)

Procedimiento para obtener la tempera de precalentamiento, utilizando el método de Seferián.

Calculo carbono equivalente

$$C_{eq} = C + \frac{(Mn + Cr)}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7}{90} \quad (EC.1)$$

$$CE_q = 0.112 + \frac{(0.771 + 0.271)}{9} + \frac{0.027}{18} + \frac{7}{90}$$

$$C_{eq} = 0.307$$

$$CE_T = CE_q + CE_e = CE_q(1 + 0.005_e) \quad (EC.2)$$

$$CE_T = 0.307(1 + 0.005(5))$$

$$CE_T = 0.315$$

$$Tp(°C) = 350\sqrt{0.315 - 0.25} \quad (EC.3)$$

$$Tp(°C) = 89.23°C$$

Procedimiento por el método de Bradstreet

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{10} \quad (EC.4)$$

$$C_{eq} = 0.112 + \frac{0.771}{20} + \frac{0.027}{15} + \frac{0.271}{10}$$

$$C_{eq} = 0.179$$

$$[C]_t = [1 + 0.005(e)] \quad (EC.5)$$

$$[C]_t = [1 + 0.005(5)]$$

$$[C]_t = 1.025$$

$$[C]_T = [C]_{eq} * [C]_t \quad (EC.6)$$

$$[C]_T = 0.179 * 1.025$$

$$[C]_T = 0.183$$

$$Tp(°F) = 630(\sqrt{[C]_T} - 0.25)^{\frac{1}{2}} + 32 \quad (EC.7)$$

$$Tp(°F) = 630(\sqrt{0.183} - 0.25)^{\frac{1}{2}} + 32$$

$$Tp(°F) = 297.64$$

$$T_p(^{\circ}C) = 147.58$$



Figura 2.11. Temperatura de precalentamiento.  
Fuente: (Propia).

## 2.6. Preparación de probetas

Para la realización de las probetas de los siguientes ensayos (destructivos y no destructivos), después de haber realizado la soldadura correspondiente se procede a determinar los siguientes pasos.

### 2.6.1. Ensayos destructivos

- Codificación de placas
- Corte
- Selección de probetas
- Preparación de probetas para ensayo de doblado
  - ❖ Pulido
- Preparación de probetas para ensayo de dureza
  - ❖ Limpieza
- Preparación de probetas para análisis metalográfico
  - ❖ Desbaste grueso
  - ❖ Desbaste fino
  - ❖ Pulido
- Preparación de probetas para ensayo de tracción
  - ❖ Dimensionamiento
  - ❖ Corte

### 2.6.2. Ensayos no destructivos

- Codificación de placas
- Limpieza
- Preparación de placas para radiografías

- ❖ Limpieza
- ❖ Determinar tiempo de exposición
- Preparación de placas para tintas penetrantes
  - ❖ Preparación de superficie
  - ❖ Líquidos penetrantes
- Remoción del penetrante
- Aplicación del revelador
- Limpieza y examinación

### 2.6.3. Codificación de placas

Para cada placa se le designa una numeración específica según como se vaya realizando la soldadura, además una asignación según los ensayos destructivos ver Figura 2.12. Las probetas son designadas según la placa a que pertenece, asignando el número para cada uno de los ensayos destructivos.

	1	2	3	4	5	6	7	
Descarte	Doblado de cara	Tension	Doblado de raiz	Metalografía	Doblado de cara	Tension	Doblado de raiz	Descarte

Figura 2.12. Numeración de muestras para los ensayos no destructivos.  
Fuente: (Propia).

### 2.6.4. Corte y preparación de probetas

La preparación de las probetas se realiza mediante el requerimiento para cada muestra a realizarse, según el tipo de ensayo. El corte se lo realizará mediante una máquina de corte por enfriamiento con agua, ver Figura 2.13, esa máquina se utiliza para reducir la transferencia de calor, logrando así que no exista un cambio estructural y por lo tanto de sus propiedades mecánicas y físicas.



Figura 2.13. Equipo de corte por enfriamiento por agua.  
Fuente: (Propia).

Después de los cortes realizados como se puede observar en la Figura 2.12, cada probeta tendrá una preparación diferente dependiendo del ensayo a realizarse.

## 2.7. Requerimientos específicos de la norma AWS D1.1

Para la elaboración de los ensayos destructivos, se solicita algunos requisitos mínimos a cumplirse con la norma AWS D1.1: 2010, ver Figura 2.14 la misma que asigna una posición específica a cada muestra según el ensayo requerido, ver Tabla 2.5. Con esto la norma permite la verificación y aceptación de la soldadura. El tamaño de las muestras a realizar los ensayos no destructivos, están establecidos en la norma, en la misma que se deben considerar el número de muestras para cada ensayo.

Tabla 2.5. Ensayos según la norma AWS D1.1.

Espesor (t) [mm]	Tensión reducida	Numero de especímenes			Macrografía
		Doblado de cara	Doblado de raíz	Doblado de lado	
3<t<10	2	2	2	-	-
10<t<25	2	-	-	4	-
t>10	3	-	-	5	-

Fuente: (Norma Nacional Americana, 2000, p. 19)

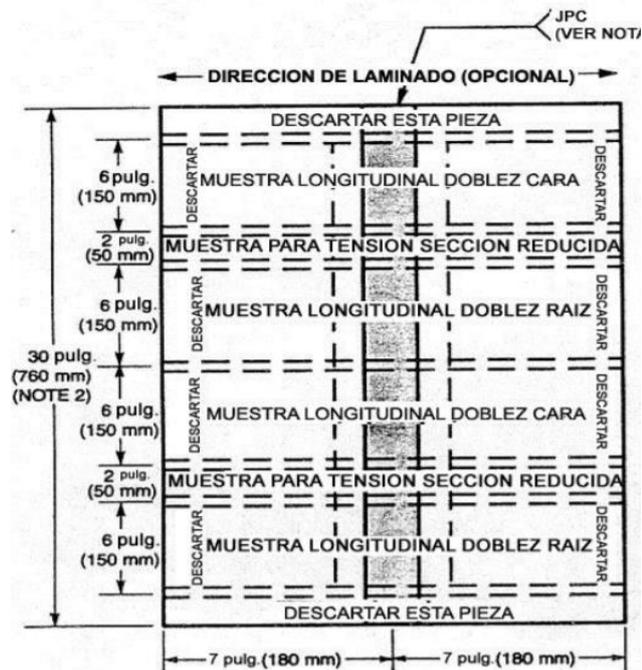


Figura 2.14. Especificación de las muestras en la plata soldada.  
Fuente: (Norma Nacional Americana, 2000, p. 12).

## 2.7.1. Criterios de aceptación de los ensayos no destructivos

### 2.7.1.1. Ensayos no destructivos

Para que una placa apruebe cualquier ensayo no destructivo (tintas penetrantes o radiografías) deberán cumplir con los siguientes requerimientos:

- La soldadura deberá estar libre de grietas.
- Que el líquido penetre en todas las aberturas sean pequeñas y estrechas.
- Que mantenga el color y/o fluorescencia.
- Que sea de fácil remoción en la superficie en contacto.
- Difícil eliminación dentro de las continuidades.
- Detectar que la placa no contenga mordeduras, grietas ni poros.
- La raíz de soldadura deberá se inspeccionada para evidenciar que no contenga grietas, fusión incompleta o penetración inadecuada.
- La cara de la soldadura deberá quedar rasante con la superficie del metal base.

## **2.7.1.2. Criterios de aceptación de los ensayos destructivos**

### **2.7.1.2.1. Tracción de sección reducida**

El ensayo se utiliza para determinar la resistencia a la tracción de la soldadura, para eso el espécimen de muestra deberá romperse bajo el esfuerzo de tensión (carga límite de rotura) y la carga máxima deberá determinarse.

### **2.7.1.2.2. Doblado de cara y raíz**

La superficie convexa del espécimen muestra que para ensayo de doblado deberá examinarse visualmente en cuanto a discontinuidades superficiales. Para su aceptación, la superficie no deberá contener discontinuidades que excedan las siguientes dimensiones:

- 1/8 pulgada [3 mm] medida en cualquier dirección sobre la superficie.
- 3/8 pulgada [10 mm] - la suma de las dimensiones mayores de todas las discontinuidades que excedan 1/32 pulgadas [1 mm], pero, menores que o iguales a 1/8 pulgada [3 mm].
- 1/4 pulgada [6 mm] – el máximo agrietamiento de esquina, excepto cuando éste fuera el resultado de la acumulación visible de escoria o de otro tipo de discontinuidad de fusión; entonces deberá aplicarse el máximo de 1/8 pulgada [3 mm].
- Los especímenes con agrietamiento de esquina que excedan 1/4 pulgada [6 mm] que no presenten evidencias de acumulación de escoria u otros tipos de discontinuidades de fusión deberán descartarse, y deberá someterse a prueba un espécimen de reemplazo para ensayo de la soldadura original.

## **2.8. Realización de ensayos**

Con la Soldadura efectuada y su nomenclatura especificada, se procede a realizar los ensayos, los cuales no afectaran la superficie del material.

### **2.8.1. Ensayos no destructivos**

#### **2.8.1.1. Tintas penetrantes**

El ensayo de tintas penetrantes se realiza para determinar si existen defectos superficiales en las juntas soldadas, para esto se sigue el procedimiento representado en la Figura 2.15, Figura 2.16.

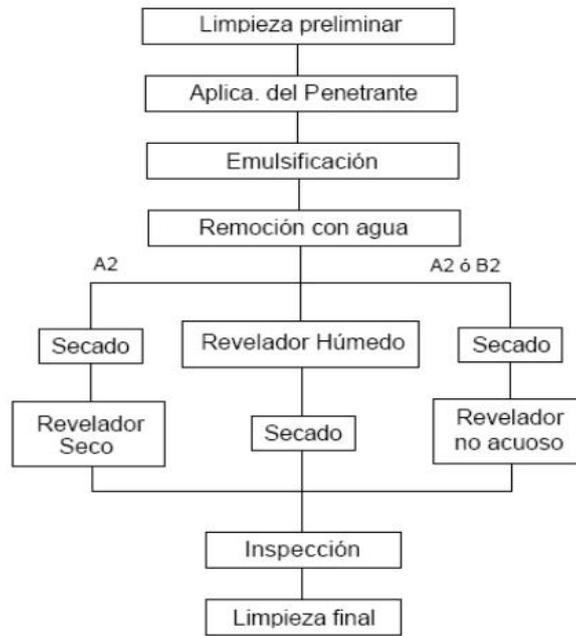


Figura 2.15. Procedimiento en el ensayo de tintas penetrantes.  
Fuente: (Duran, 2014).

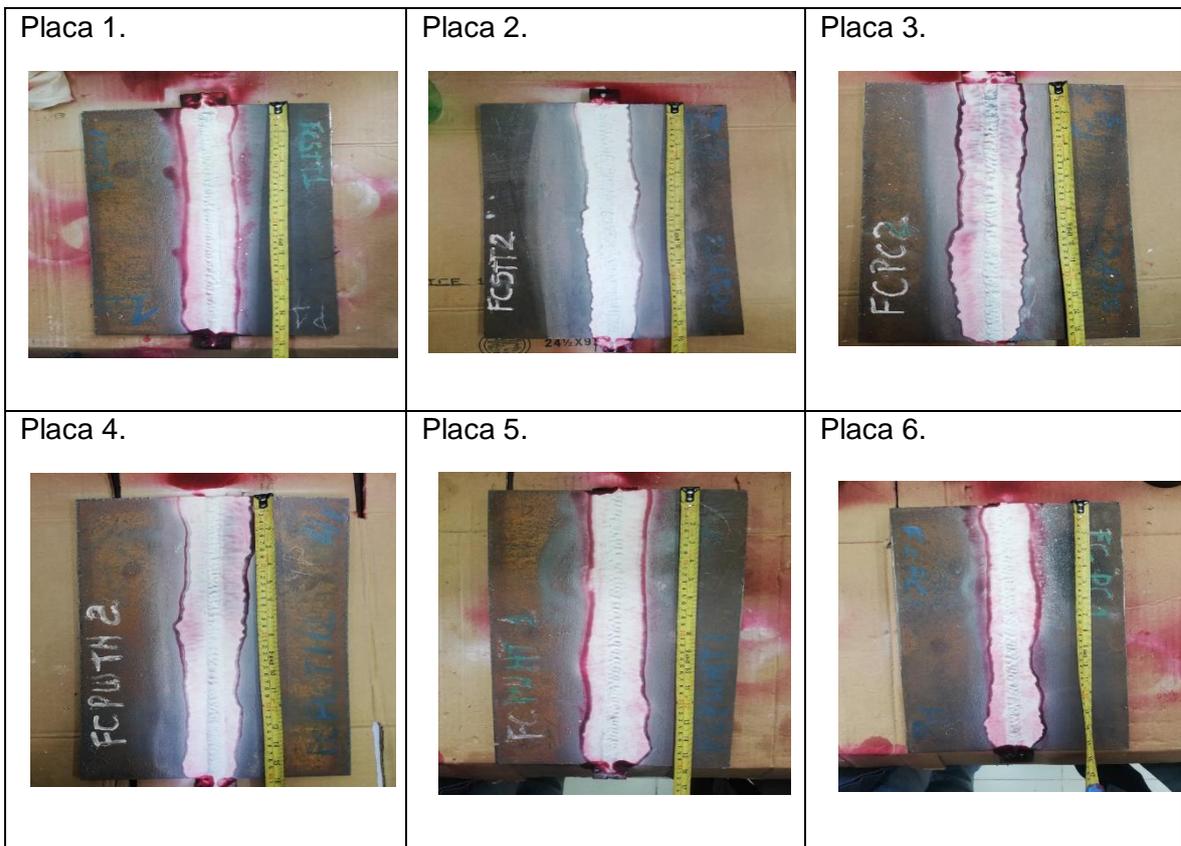


Figura 2.16. Planchas en proceso de tintas penetrantes.  
Fuente: (Propia).

### 2.8.1.2. Radiografías

Este ensayo no destructivo consiste en radiografiar el cordón de soldadura, mediante radiación penetrante la que permite visualizar defectos internos, los cuales pueden ser omitidos por los ensayos anteriores, para tomar las radiografías se consideran algunos parámetros como tiempo de exposición y voltaje de exposición, los mismos que están en función del espesor de la placa y la distancia a la fuente, ver Tabla 2.6. Se consideran algunos parámetros, para determinar el tiempo de exposición como, tipo de material base, tipo de película, distancia a la fuente, voltaje e intensidad de corriente entre otros.

Tabla 2.6. Condiciones para la toma de radiografías.

Esesor [mm]	Distancia de la fuente [mm]
5	500

Fuente: (Propia).

La película que se va a ocupar es la Structurix D7, ver Figura 2.17 con la cual se considera el espesor de la plancha la intensidad de corriente para poder determinar el voltaje con cual se realizara las radiografías.

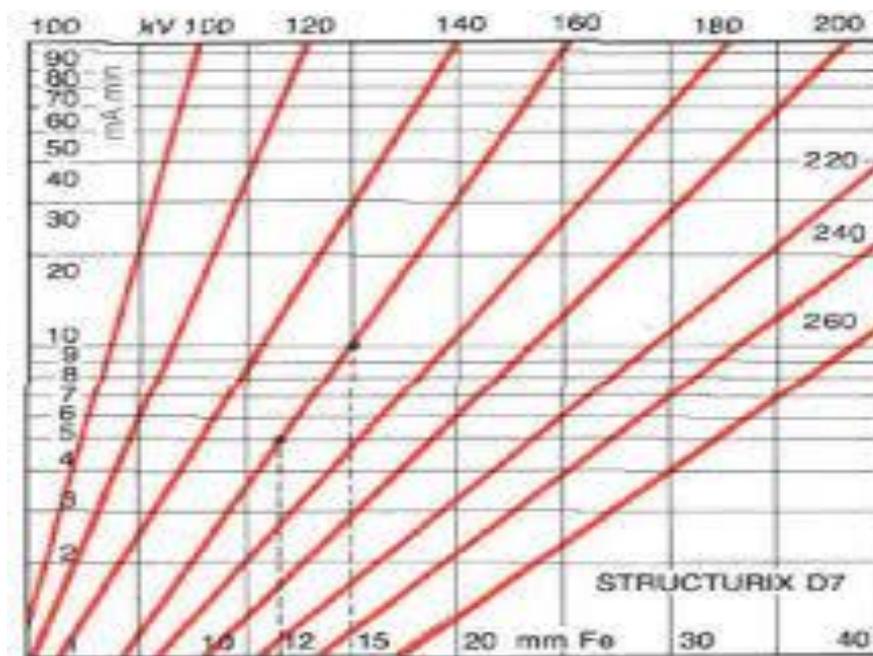


Figura 2.17. Abaco de exposición en las películas STRUCTURIX D7.

Fuente: (Universidad Nacional de la Plata, 1995, p. 15).

Con el diagrama de operación a mostrarse ver Figura 2.18 se determinará el tiempo de exposición de las placas a radiografiar, en función de sus principales variables, (espesor, intensidad de corriente y voltaje).

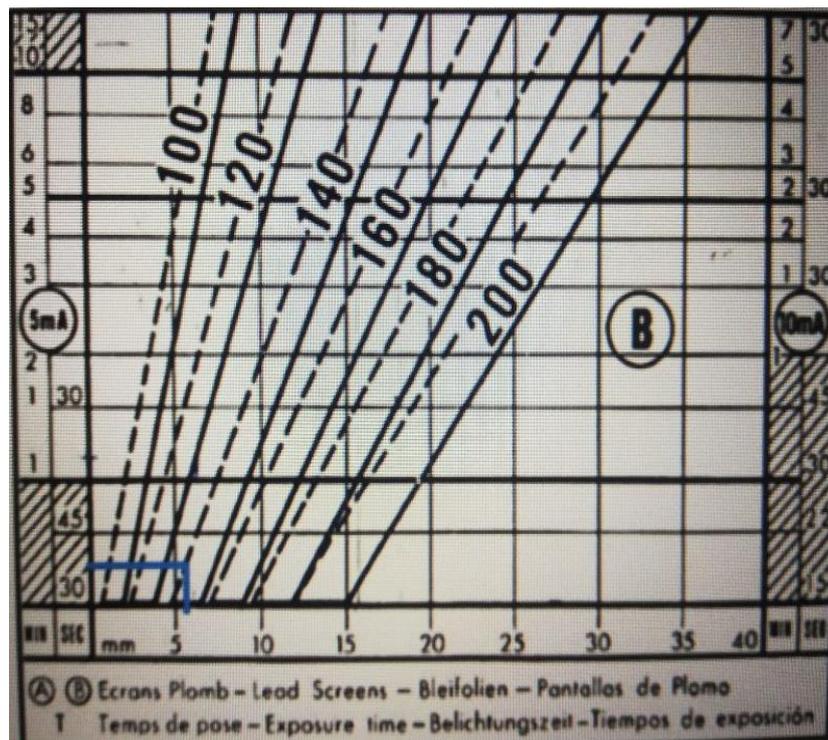


Figura 2.18. Diagrama de operación de la máquina de rayos X.

Fuente: (Departamento de Aeronáutica, 1993)

Después de la evaluación de los diferentes parámetros, se procede a realizar las radiografías industriales con las siguientes condiciones de trabajo ver Tabla 2.7 y Figura 2.19.

Tabla 2.7. Condiciones de trabajo.

Placas	Espesor total [mm]	mA [mA]	kv [kV]	Tiempo de expo [min]	Distancia de la fuente [cm]
1	10.17	5	140	1 min 8 s	55
2	8.33	5	120	1 min 0 s	55
3	9.33	5	120	0 min 55 s	55
4	8.83	5	120	1 min 0 s	55
5	10.83	5	120	1 min 3 s	55
6	10.17	5	120	1 min 3 s	55

Fuente: (Propia).

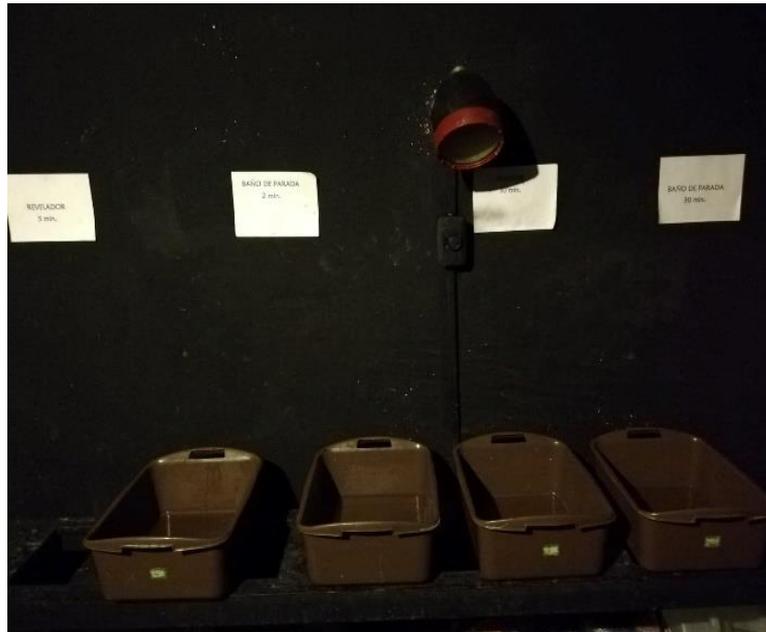


Figura 2.19. Equipo para revelación de radiografías.  
Fuente: (Propia).

## 2.8.2. Ensayos destructivos

Los siguientes ensayos se realizan siempre después de los no destructivos, debido a que se utilizan diferentes muestras según el requerimiento.

### 2.8.2.1. Ensayo de tracción de sección reducida

Con el ensayo de tracción de la junta soldada se desea obtener la resistencia de la tracción y el límite de fluencia, así como garantizar la adherencia entre el metal base y el material de aporte, con lo establecido la probeta debe cumplir con los siguientes parámetros Figura 2.20.

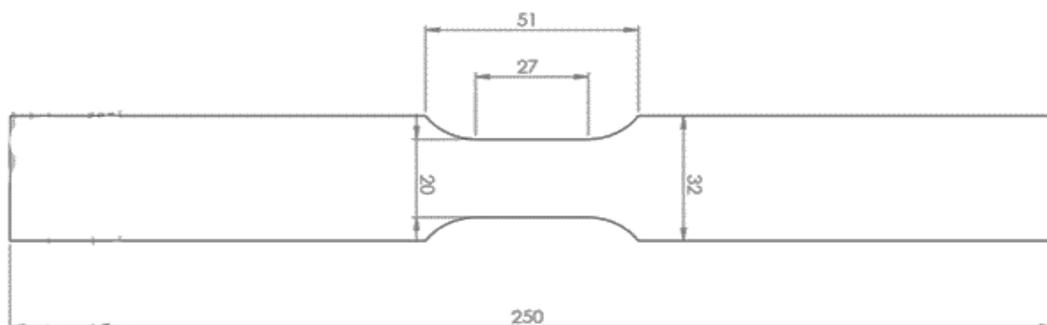


Figura 2.20. Dimensiones de probetas para el ensayo de tracción según la junta soldada.  
Fuente: (Propia).

### 2.8.2.2. Ensayos de doblados de cara y raíz

La soldadura es transversal al eje longitudinal del cupón, el cual se dobla de modo que una de las superficies laterales se vuelve la superficie convexa del espécimen de doblado. Este tipo de ensayo consiste en doblar las probetas debidamente preparadas, el doblado se efectuará bajo las condiciones controladas en la soldadura, las probetas son primeramente macropulidas y redondeadas en las aristas paralelas al eje longitudinal, se realiza la consideración del lado en el que van a ser realizados, en el doblado de raíz la soldadura es transversal al eje longitudinal del cupón, el cual es doblado de modo que la superficie de raíz se vuelve la superficie convexa de la probeta doblada. Doblado de Cara en la soldadura es paralela al eje longitudinal del cupón, el cual es doblado de modo que la superficie de la cara se vuelve la superficie convexa de la probeta doblada. ver Figura 2.21. La soldadura y la zona afectada por el calor deberán centrarse y quedar completamente adentro de la porción doblada de la probeta después del ensayo. Para conocer las dimensiones para las probetas, ver Figura 2.22.



Figura 2.21. Equipo para realizar los ensayos de doblados.  
Fuente: (Propia).

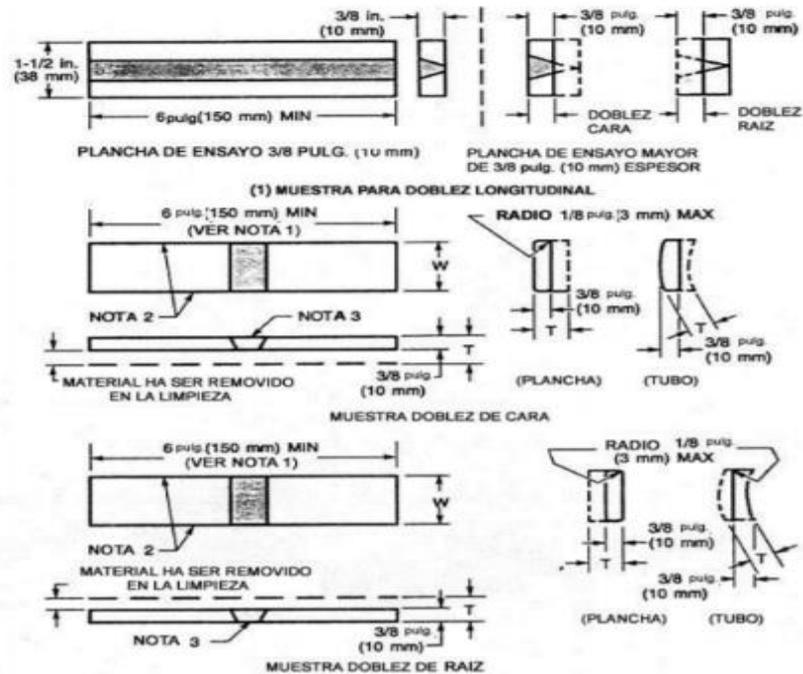


Figura 2.22. Dimensiones para los ensayos de doblado de cara y raíz.  
Fuente: (Sociedad Americana de Soldadura, 2000).

Después del ensayo de doblado se realiza la inspección de la zona doblada, para identificar defectos superficiales, como se puede observar en la Tabla 2.8, Tabla 2.9, Tabla 2.10, Tabla 2.11, Tabla 2.12, Tabla 2.13.

Tabla 2.8. Doblado de cara y raíz de la placa uno.

Doblado de cara	Doblado de raíz
	
<p>No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura para las dos placas.</p>	<p>Se observa una discontinuidad de 2.67mm en el cordón de soldadura. Se observa una discontinuidad de 26.49mm en el borde del cordón de soldadura.</p>

Fuente: (Propia).

Tabla 2.9. Doblado de cara y raíz de la placa dos.

Doblado de cara	Doblado de raíz
	
<p>No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura para las dos placas.</p>	<p>No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura para las dos placas.</p>

Fuente: (Propia).

Tabla 2.10. Doblado de cara y raíz de la placa tres.

Doblado de cara	Doblado de raíz
	
<p>No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura para las dos placas.</p>	<p>No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura para las dos placas.</p>

Fuente: (Propia).

Tabla 2.11. Doblado de cara y raíz de la placa cuatro.

Doblado de cara	Doblado de raíz
	
<p>No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura para las dos placas.</p>	<p>No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura para las dos placas.</p>

Fuente: (Propia).

Tabla 2.12. Doblado de cara y raíz de la placa cinco.

Doblado de cara	Doblado de raíz
	
<p>No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura para las dos placas.</p>	<p>No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura. Se observa una discontinuidad de 5.72 mm en el cordón de soldadura.</p>

Fuente: (Propia).

Tabla 2.13. Doblado de cara y raíz de la placa seis.

Doblado de cara	Doblado de raíz
	
<p>No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura para las dos placas.</p>	<p>No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura para las dos placas.</p>

Fuente: (Propia).

### 2.8.2.3. Análisis metalográfico de la junta soldada

Con el siguiente ensayo se estudia la microestructura de la junta soldada, con el cual se procede hacer los siguientes pasos para obtener las probetas, ver Figura 2.23, Figura 2.24, Figura 2.25.

- Desbaste grueso
- Desbaste fino
- Pulido

Por último, se realiza un análisis de las microestructuras presentes con la ayuda del microscopio en diferentes regiones en la probeta realizada dentro del cordón de soldadura para determinar su estructura y la región afectada por el calor, así como el cambio de fase. También se realiza un ataque químico a cada una de las probetas, para observar cada una de las características destacables de cada microestructura.



Figura 2.23. Equipo de desbaste grueso.  
Fuente: (Propia).

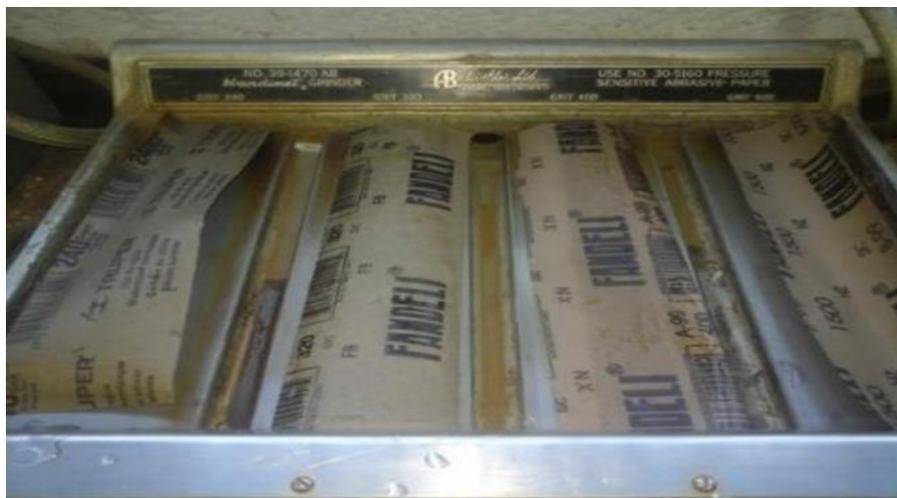


Figura 2.24. Equipo de desbaste fino.  
Fuente: (Propia).



Figura 2.25. Equipo de pulido.  
Fuente: (Propia).

Para realizar el ataque químico a las probetas se utiliza Nital al 10%, el cual está compuesto por alcohol y ácido nítrico, ver Figura 2.26 la solución es colocada en un recipiente de vidrio, donde se introduce la cara de la probeta pulida por un tiempo de exposición de 10 a 15 segundos.



Figura 2.26. Compuesto para el ataque químico.  
Fuente: (Propia).

Después de aplicar el compuesto de Nital para el ataque químico se va a poder observar claramente las zonas atacadas. Este procedimiento se lo va a poder diferenciar por los diferentes equipos para macrografía, ver Figura 2.27 y micrografía ver Figura 2.28.



Figura 2.27. Equipo para realizar las macrografías.  
Fuente: (Propia).



Figura 2.28. Equipo para realizar micrografías.  
Fuente: (Propia).

#### 2.8.2.4. Ensayo de Barrido de dureza

En el siguiente ensayo a realizar se utiliza un equipo llamado durómetro Rockwell, como se puede observar en la Figura 2.29 según la zona a estudiar se selecciona las respectivas escalas como pueden ser Rockwell B y C.

El ensayo consiste en aplicar una presión a un indentador sobre la muestra. También permite estudiar cada uno de los efectos del proceso de soldadura en la dureza del metal base. Con la escala seleccionada se prepara la máquina y su indentador, con lo que se procede a realizar la precarga establecida y toma de datos.



Figura 2.29. Durómetro.  
Fuente: (Propia).

Este ensayo permite establecer la relación de dureza y microestructura del cordón de soldadura, esto se demuestra de la Figura 2.30.

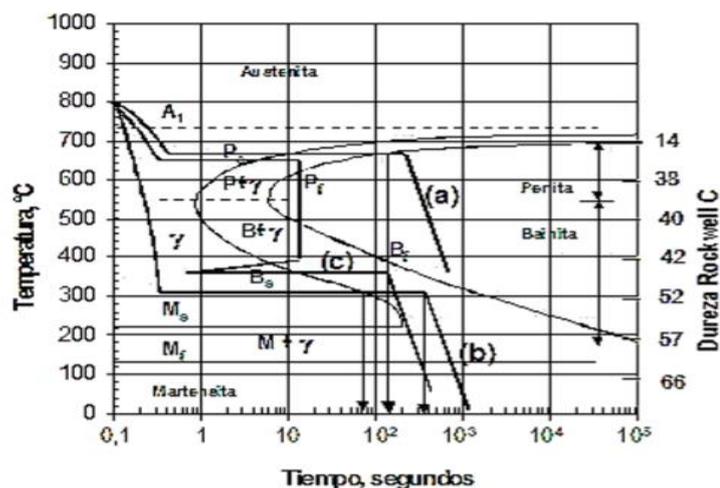


Figura 2.30. Esquema TTT de acero al 2.2% C.  
Fuente: (Universidad Politécnica de Valencia, 2017)

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1. Caracterización del metal base

La realización de ensayos en el material base es para verificar la composición química y propiedades mecánicas del acero anti abrasivo grado 400 HB, esto nos garantizará si está acorde para su trabajo, en este acero viene dada su propiedad de dureza en escala Brinell. Con el ensayo de espectrometría por chispa, se puede observar las propiedades de la composición química del acero anti abrasivo grado 400HB, como se puede observar en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Cuadro comparativo de resultados de la espectrometría por chispa.

<b>Composición Química</b>			
<b>Elemento</b>		<b>Real</b>	<b>Fabricante</b>
Carbono	%C	0.112	0.15
Silicio	%Si	0.335	0.70
Manganeso	%Mn	0.771	1.60
Fosforo	%P	0.012	0.025
Cromo	%Cr	0.271	0.50
Níquel	%Ni	0.027	0.25
Cobre	%Cu	0.018	-
Aluminio	%Al	0.018	-
Niobio	%Nb	0.010	-
Titanio	%Ti	0.027	0.02
Boro	%B	0.0035	0.004

Fuente: (Propia).

Los valores reales de la composición química del acero anti abrasivo grado 400 HB están dentro de los valores requeridos por la norma, con lo cual se puede afirmar que se trata de un acero anti abrasivo grado 400 HB. Con el ensayo de tracción del material base se puede observar cada una de sus propiedades mecánicas, ver Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Resistencia a la tracción obtenida en el ensayo.

<b>Muestras</b>	<b>Ancho promedio</b> mm	<b>Espesor promedio</b> mm	<b>Carga máxima registrada</b>		<b>Límite de influencia</b>		<b>Resistencia a la tracción</b>		<b>% elongación en 50 mm</b>
			lbf	N	ksi	MPa	ksi	MPa	
1	13,7	6,14	20,298	90,291	146,3	1.009	155,7	1.075	13,1
2	13,61	6,06	19,407	86,329	146,9	1.013	151,8	1.048	12,4

Fuente: (Propia).

Con el ensayo de dureza del material base se puede observar si el acero anti abrasivo de grado 400 HB está en el rango establecido, ver Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Mediciones de dureza en escala Rockwell C.

Mediciones de dureza en escala Rockwell C								
Mediciones	1	2	3	4	5	6	7	Promedio
Muestra 1	36	38	33	34	36	40	37	36,2

Fuente: (Propia).

### 3.2. Ensayos no destructivos

#### 3.2.1. Tintas penetrantes

Tabla 3.4. Resultados de tintas penetrantes.

Placas	Líquidos aplicados (líquido penetrante y revelador).	Tintas penetrantes Observación	Calificación
Placa Uno		La soldadura no presenta ni se observa ningún defecto o inclusión en la placa.	Aprueba
Placa Dos		La soldadura no presenta ni se observa ningún defecto o inclusión en la placa.	Aprueba
Placa Tres		La soldadura no presenta ni se observa ningún defecto o inclusión en la placa.	Aprueba
Placa Cuatro		La soldadura no presenta ni se observa ningún defecto o inclusión en la placa.	Aprueba
Placa Cinco		La soldadura no presenta ni se observa ningún defecto o inclusión en la placa.	Aprueba
Placa Seis		La soldadura no presenta ni se observa ningún defecto o inclusión en la placa.	Aprueba

Fuente: (Propia).

Con este ensayo se puede observar con mayor facilidad los defectos superficiales que se pueden encontrar en la placa soldada, ver Tabla 3.4. con estas observaciones se puede determinar si cada placa cumple y aprueba con los requerimientos de soldadura.

### 3.2.2. Radiografías

Del ensayo de radiografías realizadas se determina que todas cumplen los requerimientos establecidos en la norma AWS D1.1: 2015, se puede verificar en la siguiente Tabla 3.5. Resultados del ensayo de radiografía.

Tabla 3.5. Resultados del ensayo de radiografías.

Muestra	Radiografía	Observación	Calificación
Placa uno	x	Falta de fusión	No aprueba
Placa dos	x	Inclusión de escoria	No aprueba
Placa tres	x	Ninguna	Aprueba
Placa cuatro	x	Ninguna	Aprueba
Placa cinco	x	Ninguna	Aprueba
Placa seis	x	Fusión incompleta	No aprueba

Fuente: (Propia).

### 3.3. Ensayos destructivos

#### 3.3.1. Ensayos de tracción reducida

Con el ensayo de tracción se obtienen los resultados como se observa en la Tabla 3.6. Por lo que cumplen con todos los criterios establecidos para la realización de este trabajo. Se observa que la resistencia a la tracción es superior a la resistencia dada por el metal de aporte que es de 80 [ksi].

Tabla 3.6. Resultados obtenidos del ensayo de tracción reducida.

Muestras	Ancho promedio mm	Espesor promedio mm	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Observaciones
			lbf	N	ksi	MPa	
Placa uno	20,51	6,38	18.513	82.351	91,3	629,3	FJS
Placa uno	18,28	6,30	15.634	69.542	87,6	603,9	FJS
Placa dos	22,83	6,52	20.246	90.061	87,8	605,0	FMB-ZAC
Placa dos	22,70	6,51	19.132	85.104	83,5	575,9	FMB-ZAC
Placa tres	21,68	6,48	19.341	86.032	88,8	612,4	FMB-ZAC
Placa tres	21,58	6,32	19.295	85.829	91,3	629,3	FMB-ZAC
Placa cuatro	22,12	6,65	20.563	91.468	90,2	621,8	FMB-ZAC
Placa cuatro	20,24	6,41	18.051	80.293	89,8	618,9	FMB-ZAC
Placa cinco	20,83	6,46	17.325	77.064	83,1	572,7	FJS
Placa cinco	21,78	6,41	17.196	76.490	79,5	547,9	FJS
Placa seis	19,83	6,46	16.580	73.752	85,4	589,1	FJS
Placa seis	20,01	6,33	17.996	80.050	91,7	632,0	FJS

Fuente: (Propia).

#### 3.3.2. Ensayo de doblados de cara y raíz

Con este ensayo de doblado de cara y raíz se obtuvieron los siguientes resultados, ver figura Tabla 3.7 y Figura 3.1, Tabla 3.8 y Figura 3.2, Tabla 3.9 y Figura 3.3, Tabla 3.10 y Figura 3.4, Tabla 3.11 y Figura 3.5, Tabla 3.12 y Figura 3.6, con la cual se realiza la

calificación adecuada de cada una de las probetas, de acuerdo con el criterio de aceptación.

Tabla 3.7. Resultados de ensayo de doblado de cara y raíz placa uno.

Muestra	Doblado de cara	Doblado de raíz	Discontinuidad		Observación	Calificación
			Fisura	Otras		
P1. a	x		NO	NO	Ninguna	Aprueba
P1. b	x		NO	NO	Ninguna	Aprueba
P1. A		x	SI	NO	Una fisura de 2,67 mm	Aprueba
P1. B		x	SI	NO	Una fisura de 26,49 mm	No Aprueba

Fuente: (Propia).

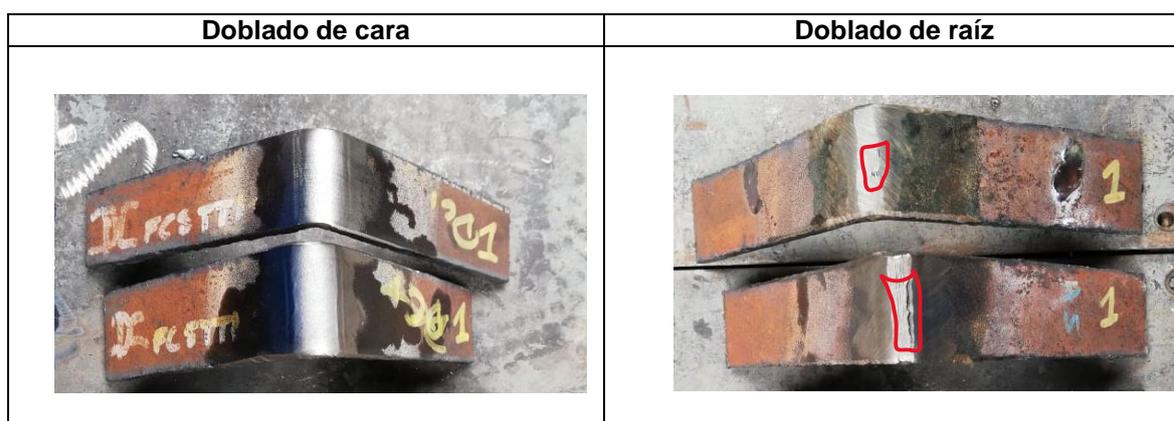


Figura 3.1. Ensayos de doblado de cara y raíz placa uno.

Fuente: (Propia).

Tabla 3.8. Resultados de ensayo de doblado de cara y raíz placa dos.

Muestra	Doblado de cara	Doblado de raíz	Discontinuidad		Observación	Calificación
			Fisura	Otras		
P2. a	x		NO	NO	Ninguna	Aprueba
P2. b	x		NO	NO	Ninguna	Aprueba
P2. A		x	NO	NO	Ninguna	Aprueba
P2. B		x	NO	NO	Ninguna	Aprueba

Fuente: (Propia).

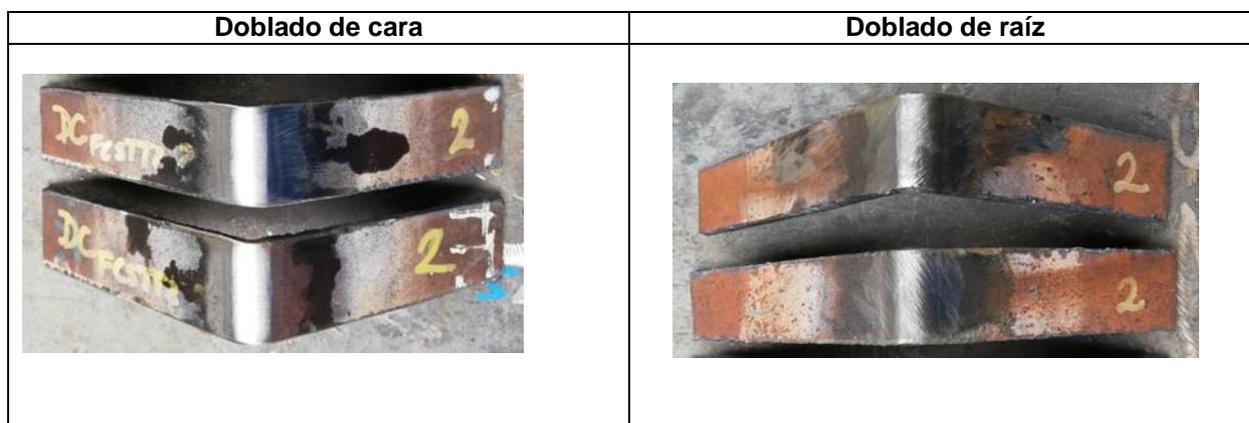


Figura 3.2. Ensayo de doblado de cara y raíz placa dos.

Fuente: (Propia).

Tabla 3.9. Resultados de ensayo de doblado de cara y raíz placa tres.

Muestra	Doblado de cara	Doblado de raíz	Discontinuidad		Observación	Calificación
			Fisura	Otras		
P3. a	x		NO	NO	Ninguna	Aprueba
P3. b	x		NO	NO	Ninguna	Aprueba
P3. A		x	NO	NO	Ninguna	Aprueba
P3. B		x	NO	NO	Ninguna	Aprueba

Fuente: (Propia).



Figura 3.3. Ensayo de doblado de cara y raíz placa tres.

Fuente: (Propia).

Tabla 3.10. Resultados de ensayo de doblado de cara y raíz placa cuatro.

Muestra	Doblado de cara	Doblado de raíz	Discontinuidad		Observación	Calificación
			Fisura	Otras		
P4. a	x		NO	NO	Ninguna	Aprueba
P4. b	x		NO	NO	Ninguna	Aprueba
P4. A		x	NO	NO	Ninguna	Aprueba
P4. B		x	NO	NO	Ninguna	Aprueba

Fuente: (Propia)

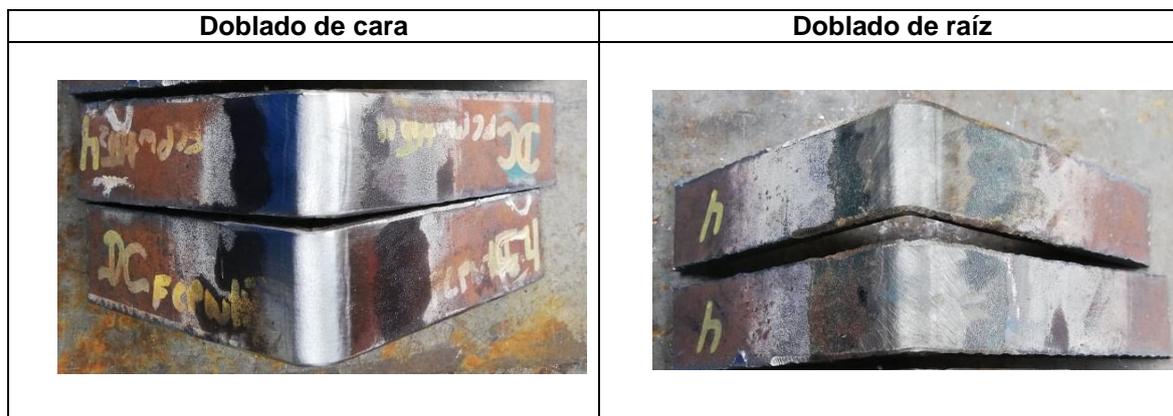


Figura 3.4. Ensayo de doblado de cara y raíz placa cuatro.

Fuente: (Propia).

Tabla 3.11. Resultados de ensayo de doblado de cara y raíz placa cinco.

Muestra	Doblado de cara	Doblado de raíz	Discontinuidad		Observación	Calificación
			Fisura	Otras		
P5. a	x		NO	NO	Ninguna	Aprueba
P5. b	x		NO	NO	Ninguna	Aprueba
P5. A		x	NO	NO	Ninguna	Aprueba
P5. B		x	SI	NO	Fisura de 5.72 mm	No Aprueba

Fuente: (Propia).



Figura 3.5. Ensayo de doblado de cara y raíz placa cinco.

Fuente: (Propia).

Tabla 3.12. Resultados de ensayo de doblado de cara y raíz placa seis.

Muestra	Doblado de cara	Doblado de raíz	Discontinuidad		Observación	Calificación
			Fisura	Otras		
P6. a	x		NO	NO	Ninguna	Aprueba
P6. b	x		NO	NO	Ninguna	Aprueba
P6. A		x	NO	NO	Ninguna	Aprueba
P6. B		x	NO	NO	Ninguna	Aprueba

Fuente: (Propia).

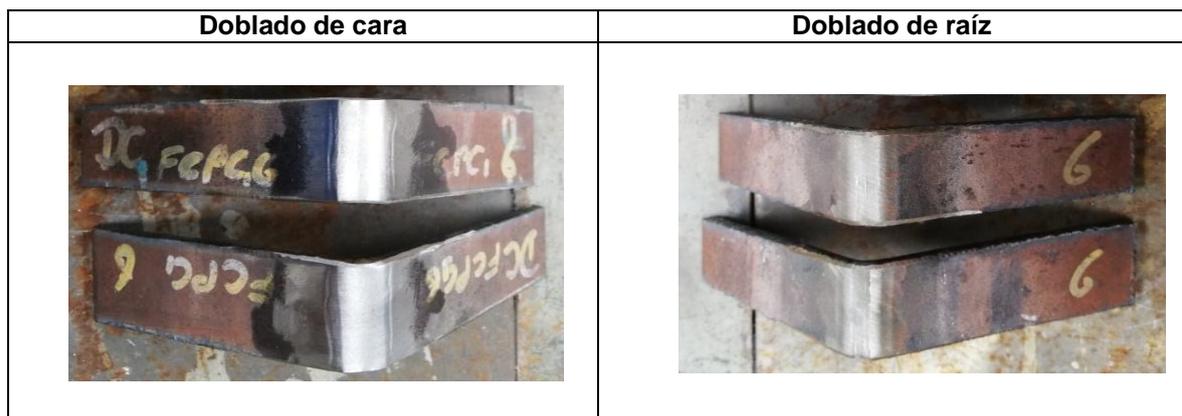


Figura 3.6. Ensayo de doblado de cara y raíz placa seis.

Fuente: (Propia).

**Nota:** Los ensayos de doblado de cara y raíz se realizaron bajo los criterios de la norma AWS D1.1, (4.8.3.3 criterios de aceptación ensayo de doblado), para su respectiva calificación.

### 3.3.3. Ensayo de barrido de dureza

Con este ensayo de dureza se conoce a profundidad la propiedad de dureza de la junta soldada, mediante un indentador según la escala establecida para el desarrollo que puede estar en Rockwell B o C, respectivamente.

Las zonas a ser medidas en cada una de las placas están identificadas como:

- MB: Material Base
- ZAC: Zona afectada por el calor
- MA: Material de aporte

#### 3.3.3.1. Muestra de la placa uno

De la muestra uno se realiza un barrido con escala Rockwell B para el material base y zona afectada por el calor para poder determinar el cambio en sus propiedades mecánicas, como se puede observar en la Figura 3.7.



Figura 3.7. Barrido de dureza placa uno.  
Fuente: (Propia).

Con las durezas obtenidas se puede observar que no hay mucha diferencia entre el material base, la zona afectada por el calor y la junta soldada, como se puede ver en la Tabla 3.13 y Figura 3.8.

Tabla 3.13. Resultados del barrido de dureza de la placa uno.

Placa uno							
MB	MB	ZAC	JS	JS	ZAC	MB	MB
HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB
88	94	88	84	82	90	96	96

Fuente: (Propia).



Figura 3.8. Dureza de barrido placa uno.  
Fuente: (Propia).

### 3.3.3.2. Muestra de la placa dos

De la muestra dos se realiza un barrido con escala Rockwell B para el material base y zona afectada por el calor para poder determinar el cambio en sus propiedades mecánicas, como se puede observar en la Figura 3.9.



Figura 3.9. Barrido de dureza placa dos.  
Fuente: (Propia).

Con las durezas obtenidas se puede observar que hay una mínima diferencia entre el material base, la zona afectada por el calor y la junta soldada, como se puede ver en la Tabla 3.14 y Figura 3.10.

Tabla 3.14. Resultados del barrido de dureza de la placa dos.

Placa dos							
MB	MB	ZAC	JS	JS	ZAC	MB	MB
HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB
89	89	86	85	80	92	90	95

Fuente: (Propia).

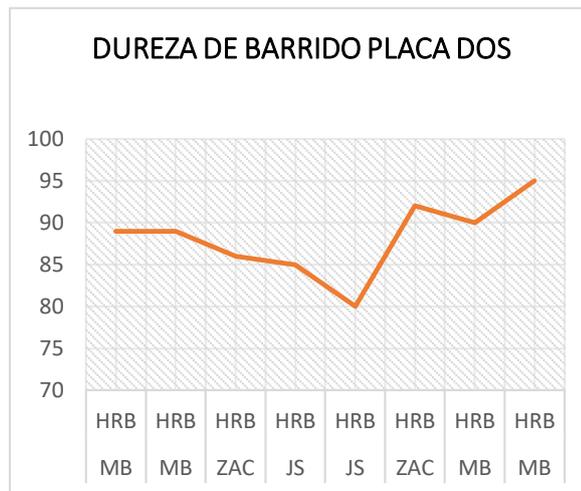


Figura 3.10. Dureza de barrido de la placa dos.  
Fuente: (Propia).

### 3.3.3.3. Muestra placa tres

De la muestra tres se realiza un barrido con escala Rockwell B para el material base y zona afectada por el calor para poder determinar el cambio en sus propiedades mecánicas, como se puede observar en la Figura 3.11.



Figura 3.11. Barrido de dureza placa tres.  
Fuente: (Propia).

Con las durezas obtenidas se puede observar que hay diferencia entre el material base, la zona afectada por el calor y la junta soldada, como se puede ver en la Tabla 3.15 y Figura 3.12.

Tabla 3.15. Resultados del barrido de dureza de la placa tres.

Placa tres							
MB	MB	ZAC	JS	JS	ZAC	MB	MB
HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB
96	95	95	82	84	88	91	90

Fuente: (Propia).

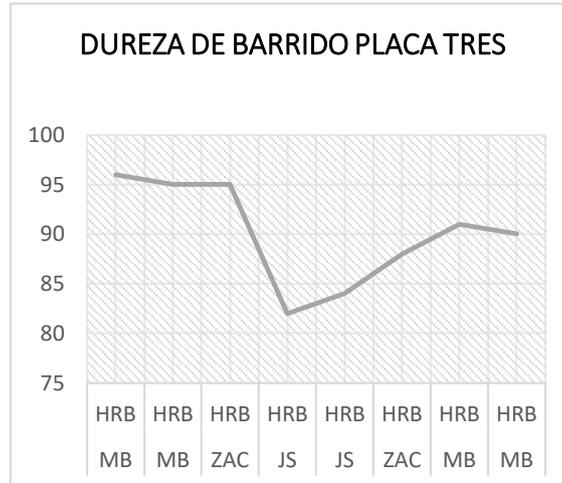


Figura 3.12. Dureza de barrido de la placa tres.  
Fuente: (Propia).

### 3.3.3.4. Muestra placa cuatro

De la muestra cuatro se realiza un barrido con escala Rockwell B para el material base y zona afectada por el calor para poder determinar el cambio en sus propiedades mecánicas, como se puede observar en la Figura 3.13.



Figura 3.13. Barrido de dureza placa cuatro.  
Fuente: (Propia).

Con las durezas obtenidas se puede observar que hay diferencia entre el material base, la zona afectada por el calor y la junta soldada, como se puede ver en la Tabla 3.16 y Figura 3.14.

Tabla 3.16. Resultados del barrido de dureza de la placa cuatro.

Placa cuatro							
MB	MB	ZAC	JS	JS	ZAC	MB	MB
HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB
96	95	83	80	79	87	96	95

Fuente: (Propia).

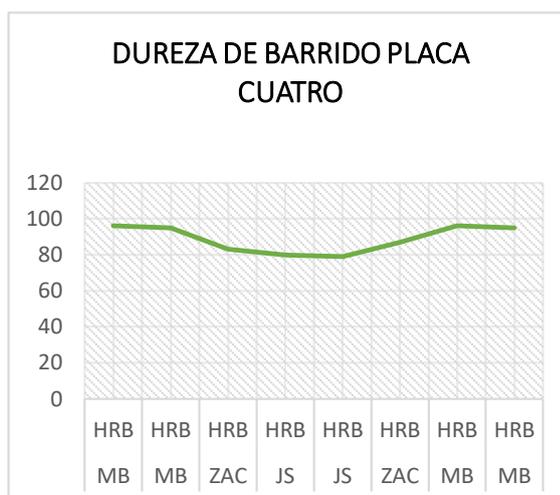


Figura 3.14. Dureza de barrido de la placa cuatro.  
Fuente: (Propia).

### 3.3.3.5. Muestra placa cinco

De la muestra cinco se realiza un barrido con escala Rockwell B para el material base y zona afectada por el calor para poder determinar el cambio en sus propiedades mecánicas, como se puede observar en la Figura 3.15.



Figura 3.15. Barrido de dureza placa cinco.  
Fuente: (Propia).

Con las durezas obtenidas se puede observar que hay diferencia entre el material base, la zona afectada por el calor y la junta soldada, como se puede ver en la Tabla 3.17 y Figura 3.16.

Tabla 3.17. Resultados del barrido de dureza de la placa cinco.

Placa cinco							
MB	MB	ZAC	JS	JS	ZAC	MB	MB
HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB
95	90	84	80	81	88	94	96

Fuente: (Propia).

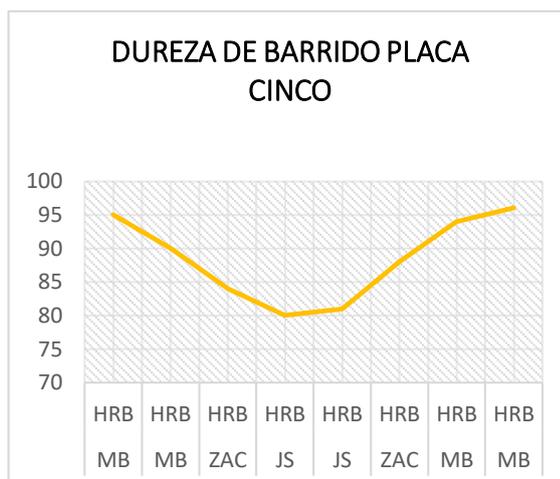


Figura 3.16. Dureza de barrido de la placa cinco.  
Fuente: (Propia).

### 3.3.3.6. Muestra de la placa seis

De la muestra seis se realiza un barrido con escala Rockwell B para el material base y zona afectada por el calor para poder determinar el cambio en sus propiedades mecánicas, como se puede observar en la Figura 3.17.



Figura 3.17. Barrido de dureza placa seis.  
Fuente: (Propia).

Con las durezas obtenidas se puede observar que hay diferencia entre el material base, la zona afectada por el calor y la junta soldada, como se puede ver en la Tabla 3.18 y Figura 3.18.

Tabla 3.18. Resultados del barrido de dureza de la placa seis.

Placa seis							
MB	MB	ZAC	JS	JS	ZAC	MB	MB
HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB	HRB
94	95	90	83	84	92	96	96

Fuente: (Propia).

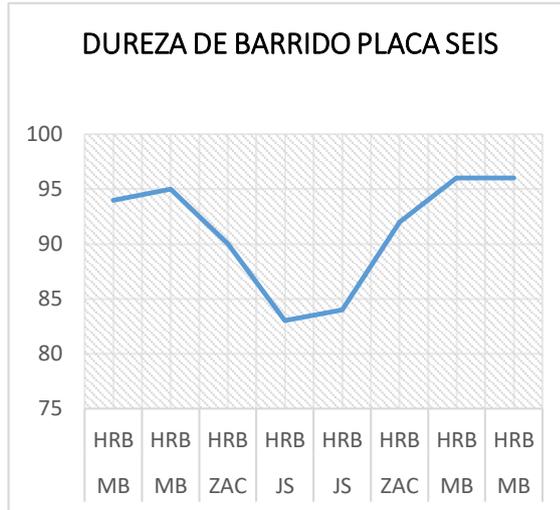


Figura 3.18. Dureza de barrido de la placa seis.  
Fuente: (Propia).

Después del análisis individual de cada placa, realizamos la comparación de las seis placas para determinar cuál presento un buen comportamiento respecto a la dureza inicial del metal base, ver Figura 3.19.

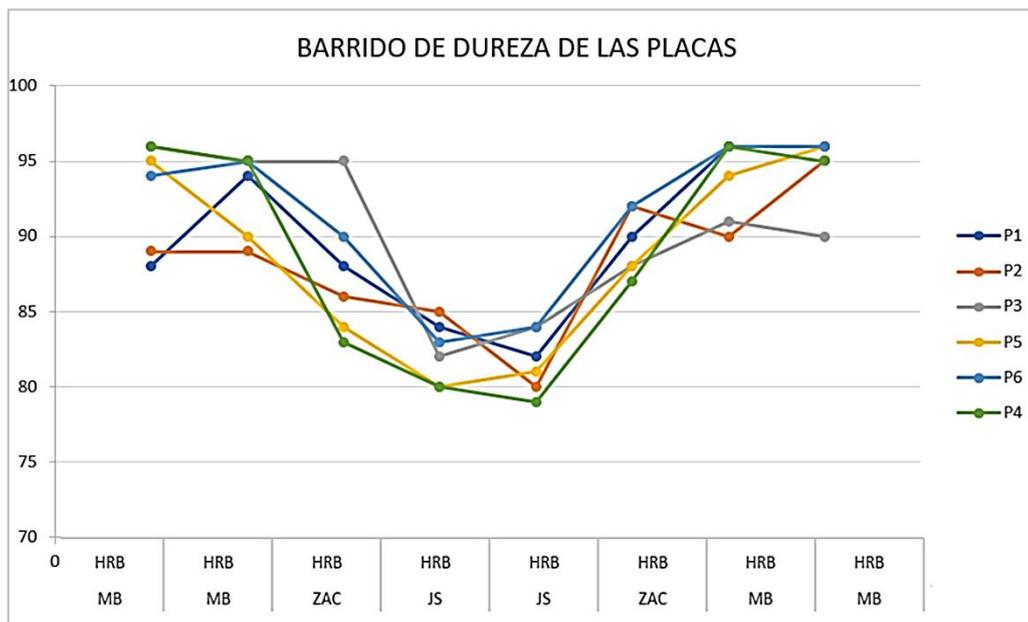


Figura 3.19. Barrido de dureza de todas las placas.  
Fuente: (Propia).

Se puede establecer que las placas cinco, seis y cuatro tienen una buena dureza con respecto a la placa uno y dos, por lo que concluyo que el precalentamiento ayuda a mejorar la dureza del material.

### 3.4. Análisis metalográfico de la junta soldada

El análisis metalográfico de las muestras concede realizar ensayos, uno para ver de manera macroscópica el cordón de soldadura, y otro de manera microscópica para visualizar las diferentes microestructuras, así como el cambio de factores generado por el calor de la máquina soldadora, tal como precalentamiento y enfriamiento. Las microestructuras más frecuentes en aceros anti abrasivos son: martensita y precipitados de bainita.

#### 3.4.1. Estudio macrográfico

##### 3.4.1.1. Muestra de la placa uno

En el análisis metalográfico de la muestra uno, se realiza un estudio macrográfico, donde se observa que la junta soldada tiene la diferenciación de los pases de soldadura, ver Figura 3.20.

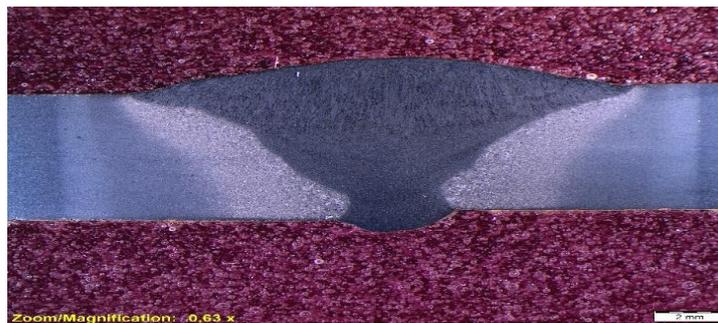


Figura 3.20. Macrografía de la placa uno.  
Fuente: (Propia).

##### 3.4.1.2. Muestra de la placa dos

En el análisis metalográfico de la muestra dos, con el estudio macrográfico, se puede observar que la junta soldada tiene la diferenciación de los pases de soldadura y también una mayor penetración al cordón de soldadura, ver Figura 3.21.

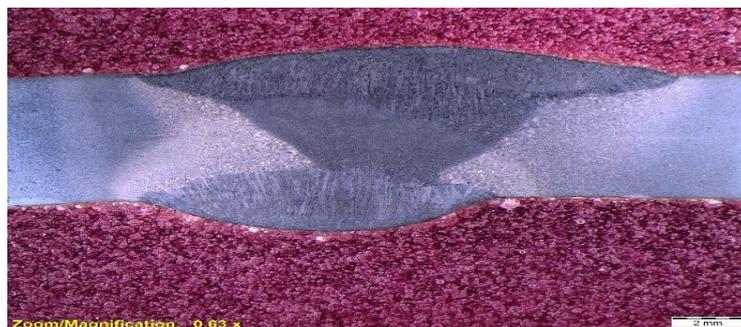


Figura 3.21. Macrografía de la placa dos.  
Fuente: (Propia).

#### 3.4.1.3. Muestra de la placa tres

En el análisis metalográfico de la muestra tres, podemos diferenciar los pases de soldadura con el equipo de estudio macrográfico ya que también posee un mejor nivel de penetración, ver Figura 3.22.

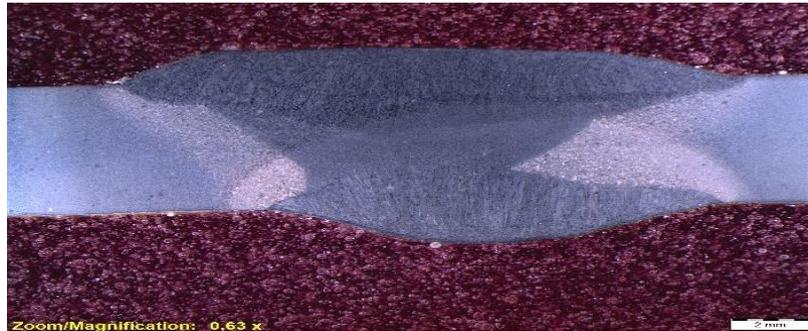


Figura 3.22. Macrografía de la placa tres.  
Fuente: (Propia).

#### 3.4.1.4. Muestra de la placa cuatro

En el análisis metalográfico de la muestra cuatro, se procede con el estudio macrográfico, donde se observa que la junta soldada tiene la diferenciación de los pases de soldadura también existe un nivel mayor de penetración, ver Figura 3.23.

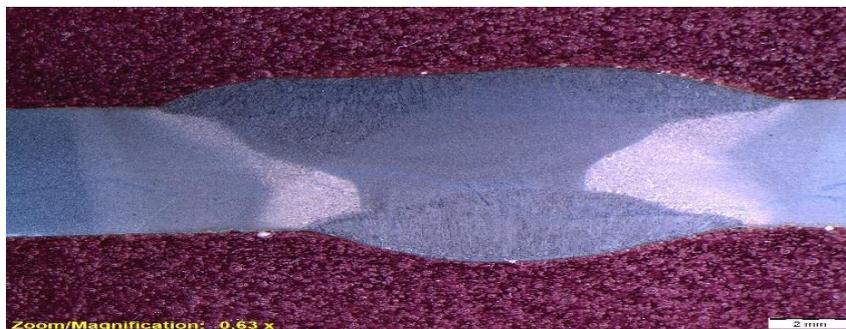


Figura 3.23. Macrografía de la placa cuatro.  
Fuente: (Propia).

#### 3.4.1.5. Muestra de la placa cinco

En el análisis metalográfico de la muestra cinco, con un estudio macrográfico verificamos que la junta soldada tiene la diferenciación de los pases de soldadura con un nivel bajo de penetración hacia el cordón de soldadura, ver Figura 3.24.

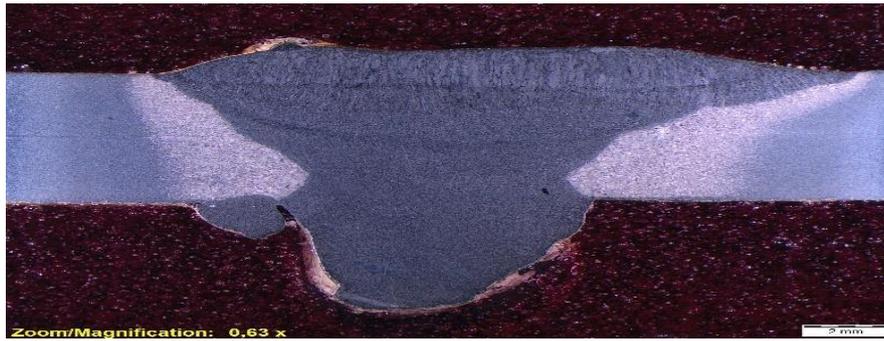


Figura 3.24. Macrografía de la placa cinco.  
Fuente: (Propia).

#### 3.4.1.6. Muestra de la placa seis

En el análisis metalográfico de la muestra seis, con el estudio macrográfico, observamos que la junta soldada tiene la diferenciación de los pases de soldadura y poca penetración, ver Figura 3.25.

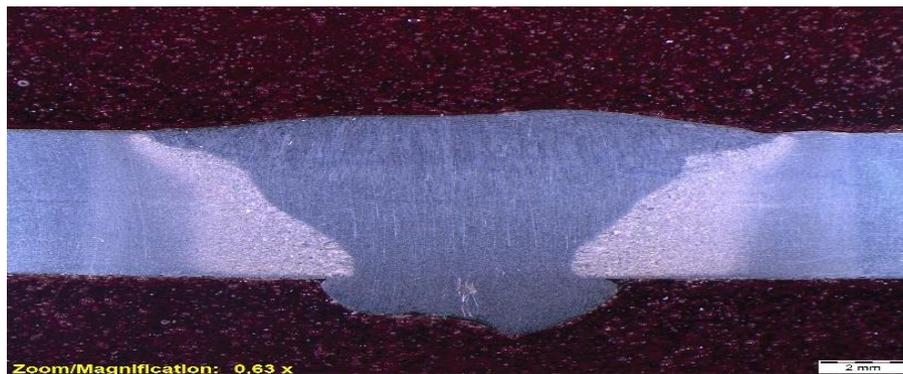


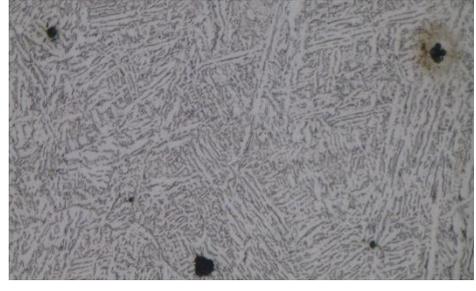
Figura 3.25. Macrografía de la placa seis.  
Fuente: (Propia).

### 3.4.2. Estudio micrográfico

#### 3.4.2.1. Muestra de la placa uno

En el estudio micrográfico se observan las siguientes microestructuras: En la Tabla 3.19 se muestran las diferentes estructuras, debido a su alta dureza y fragilidad, en el material de aporte ferrita y perlita, en la zona afectada por el calor se espera una combinación de las anteriores donde se observa dentritas y ferrita.

Tabla 3.19. Análisis micrográfico de la placa uno.

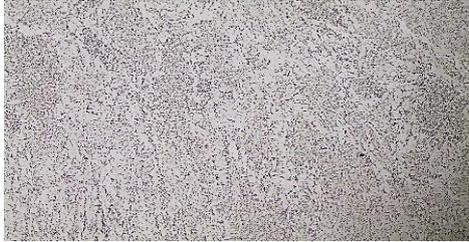
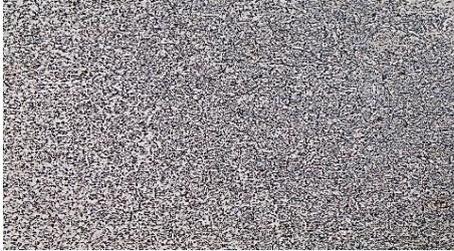
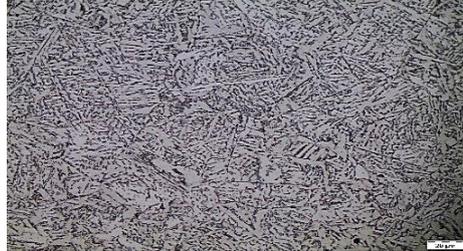
Id	Muestra de la placa uno	
<b>Material base</b>		
<b>Material de aporte</b>		
<b>Zona afectada por el calor</b>		

Fuente: (Propia).

### 3.4.2.2. Muestra de la placa dos

En el estudio micrográfico se observan las siguientes microestructuras: En la Tabla 3.20 se muestran las diferentes estructuras, debido a su alta fragilidad y dureza, martensita en el material base, material de aporte ferrita, en la zona afectada por el calor se espera una combinación de martensita revenida y ferrita.

Tabla 3.20. Análisis micrográfico de la placa dos.

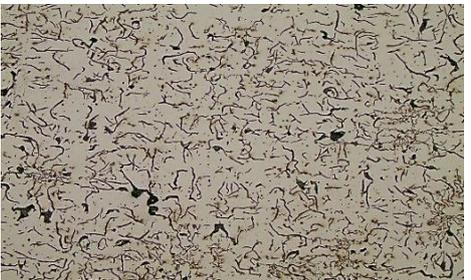
Id	Muestra de la placa dos	
<p><b>Material base</b></p>	 <p>Microestructura de metal bases con aumento de 100X.</p>	 <p>Micrografía del metal base con aumento de 500X cuya microestructura es martensítica.</p>
<p><b>Material de aporte</b></p>	 <p>Microestructura del material de aporte con aumento de 100X.</p>	 <p>Micrografía del material de aporte con aumento de 500X cuya microestructura presenta ferrita.</p>
<p><b>Zona afectada por el calor</b></p>	 <p>Microestructura de la ZAC con aumento 100X.</p>	 <p>Micrografía de la ZAC con aumento de 500X, presenta microestructura martensita revenida y ferrita.</p>

Fuente: (Propia).

### 3.4.2.3. Muestra de la placa tres

En el estudio micrográfico se observan las siguientes microestructuras: En la Tabla 3.21 se muestran las diferentes estructuras, debido a sus excelentes propiedades de dureza y fragilidad en el material base se ve compuesta de perlita, mientras que en el material de aporte ferrita y perlita, en la zona afectada por el calor se tener la microestructura perlítica.

Tabla 3.21. Análisis micrográfico de la placa tres.

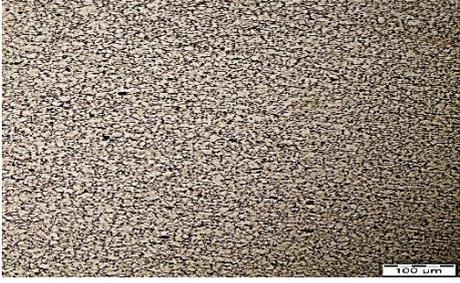
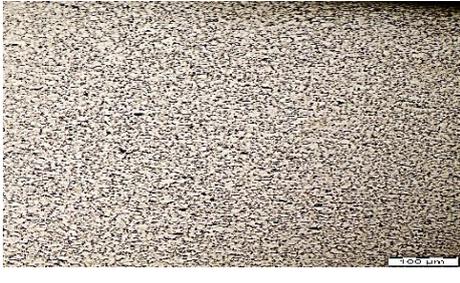
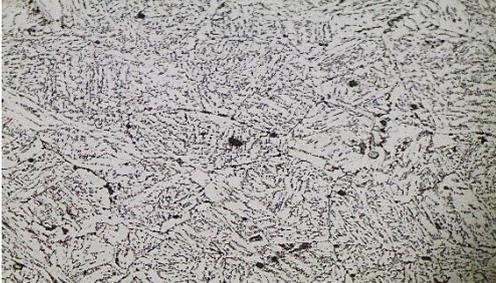
Id	Muestra de la placa tres	
<b>Material base</b>		
Microestructura de metal bases con aumento de 100X.	Micrografía del metal base con aumento de 500X cuya microestructura es perlítica.	
<b>Material de aporte</b>		
Microestructura del material de aporte con aumento de 100X.	Micrografía del material de aporte con aumento de 500X cuya microestructura perlítica y ferrítica.	
<b>Zona afectada por el calor</b>		
Microestructura de la ZAC con aumento 100X.	Micrografía de la ZAC con aumento de 500X, presenta microestructura perlítica.	

Fuente: (Propia).

#### 3.4.2.4. Muestra de la placa cuatro

Con el estudio micrográfico se observan las siguientes microestructuras: En la Tabla 3.22, con el material base se tiene microestructura perlítica, en el material de aporte ferrita, en la zona afectada por el calor se encuentra ferrita y perlita.

Tabla 3.22. Análisis micrográfico de la placa cuatro.

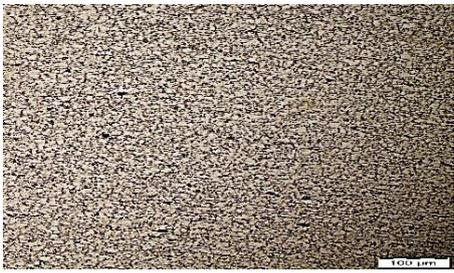
Id	Muestra de la placa cuatro	
<b>Material base</b>		
Microestructura de metal bases con aumento de 100X.	Micrografía del metal base con aumento de 500X cuya microestructura es martensítica.	
<b>Material de aporte</b>		
Microestructura del material de aporte con aumento de 100X.	Micrografía del material de aporte con aumento de 500X cuya microestructura presenta ferrita.	
<b>Zona afectada por el calor</b>		
Microestructura de la ZAC con aumento 100X.	Micrografía de la ZAC con aumento de 500X, presenta microestructura perlítica y ferrítica.	

Fuente: (Propia).

### 3.4.2.5. Muestra de la placa cinco

En el estudio micrográfico se observan las siguientes microestructuras: En la Tabla 3.23 se muestran las diferentes estructuras, material base ferrita, en el material de aporte martensita revenida y ferrita, en la zona afectada por el calor perlita y ferrita.

Tabla 3.23. Análisis micrográfico de la placa cinco.

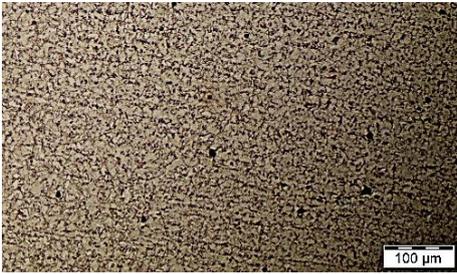
Id	Muestra de la placa cinco	
<b>Material base</b>		
	<p>Microestructura de metal bases con aumento de 100X.</p>	<p>Micrografía del metal base con aumento de 500X cuya microestructura es ferrítica.</p>
<b>Material de aporte</b>		
	<p>Microestructura del material de aporte con aumento de 100X.</p>	<p>Micrografía del material de aporte con aumento de 500X cuya microestructura presenta martensita revenida y ferrita.</p>
<b>Zona afectada por el calor</b>		
	<p>Microestructura de la ZAC con aumento 100X.</p>	<p>Micrografía de la ZAC con aumento de 500X, presenta una microestructura de perlita y ferrita.</p>

Fuente: (Propia).

### 3.4.2.6. Muestra de la placa seis

En el estudio micrográfico se observan las siguientes microestructuras: En la Tabla 3.24 se muestran las diferentes estructuras, con el material base se obtuvo martensita revenida y ferrita en el material de aporte ferrita y perlita, en la zona afectada por el calor ferrita.

Tabla 3.24. Análisis micrográfico de la placa seis.

Id	Muestra de la placa seis	
<b>Material base</b>		
Microestructura de metal bases con aumento de 100X.	Micrografía del metal base con aumento de 500X cuya microestructura compuesta de martensítica revenida y ferrita.	
<b>Material de aporte</b>		
Microestructura del material de aporte con aumento de 100X.	Micrografía del material de aporte con aumento de 500X cuya microestructura presenta perlita y ferrita.	
<b>Zona afectada por el calor</b>		
Microestructura de la ZAC con aumento 100X.	Micrografía de la ZAC con aumento de 500X, presenta microestructura ferrítica.	

Fuente: (Propia).

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

En el presente trabajo se ha alcanzado el objetivo general del trabajo pues se ha realizado el procedimiento y caracterización de soldadura en acero antiabrasivo, con cada uno de los parámetros adecuados para el proceso FCAW.

El precalentamiento continuo es un parámetro vital en el presente proceso de soldadura, el cual al elevarlo inicialmente la temperatura hasta los 200°C, esto nos permitió obtener una soldadura libre de fisuras.

Con el análisis microestructural se observó que en la mayoría de las placas se presenta las microestructuras de martensita, perlita y ferrita.

Con el ensayo de doblado de cara y raíz se obtuvo resultados muy satisfactorios, como se puede observar en datos obtenidos, ya que sus discontinuidades no superan los criterios establecidos.

El proceso de soldadura FCAW con precalentamiento en una plancha anti abrasiva de grado 400HB, el material se hizo más fuerte en comparación con el proceso sin tratarlo como se puede observar en los ensayos realizados.

A través del proceso FCAW, se observó que sus propiedades mecánicas varían con respecto al proceso de precalentamiento eso se puede visualizar en los ensayos realizados tanto destructivos como no destructivos.

Por medio de los ensayos realizados tantos destructivos y no destructivos, fue posible determinar de cada una de las placas soldadas por diferente proceso que la Figura 3.8 placa 1 y Figura 3.10 placa 2 no se obtuvo unas propiedades mecánicas acorde en comparación con Figuras 3.14 placa 4, Figura 3.16 placa 5 y Figura 3.18 placa 6 que si obtuvieron resultados acordes ya que fueron trabajadas con precalentamiento.

Los ensayos destructivos muestran que la junta soldada presenta una buena resistencia con respecto a la deformación y tensión como se observa en la gráfica de dureza de la placa cinco y seis, por lo que el parámetro de precalentamiento es fundamental en las propiedades mecánicas del material a desarrollarse.

Con el ensayo macrografías se pudo determinar que la junta soldada tubo buena penetración de raíz, buena fusión entre el metal base y el cordón de soldadura, fusión entre los pases de soldadura, se observa que no existen fisuras, porosidades y mordeduras, como se puede observar en las Figuras de macrografías.

Los parámetros más esenciales que intervienen en el proceso de soldadura FCAW son la tensión del arco (voltaje), esta es seleccionada al momento de soldar, velocidad del alambre, la intensidad y el gas protector utilizado para cada placa a soldar.

#### **4.2. Recomendaciones**

Puesto que se alcanzado el objetivo general, se recomienda para trabajos futuros que se aplique otros procesos de soldadura con acero antiabrasivo para observar el comportamiento de sus propiedades, se recomienda profundizar la parte de soldadura que puede aún desarrollarse como un proyecto de titulación de la facultad de ingeniería mecánica.

Se recomienda primeramente realizar la composición química del metal base que se va utilizar, con el propósito de obtener la información de sus propiedades acerca del carbono y carbono equivalente para con eso definir la manera de la soldadura y posteriormente la temperatura adecuada de precalentamiento.

Se recomienda desbastar las probetas hasta que al menos una superficie quede completamente plana para realizar el análisis de composición química ya que esta característica geométrica es muy importante para el desarrollo del proceso, también se debe realizar una limpieza superficial para que no contenga impurezas.

Necesariamente para el corte de probetas para el ensayo metalográfico se debe utilizar la máquina de corte con enfriamiento en agua, ya que esto garantiza a la probeta libre de cualquier cambio estructural por las variaciones térmicas que se podrían producir.

Recomendable realizar un control de temperatura dentro de cada pase a realizar en el proceso de soldadura, con el fin de evitar velocidades de enfriamiento violento.

Recomendable analizar, regular y controlar cada uno de los parámetros a realizarse en el proceso de soldadura mediante especificaciones del fabricante, de manuales donde contenga las propiedades del material base a ser utilizado.

Los materiales y accesorios para utilizar en el proceso de soldadura tienen que estar ajustados adecuadamente para su trabajo.

Se recomienda utilizar la indumentaria adecuada en la realización del procedimiento de soldadura, los materiales y accesorios a utilizar en el proceso de soldadura tienen que estar adecuadamente ajustados para su trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Astralloy Steel Products, Inc. (2005). *Metal actual*. Retrieved from file:///C:/Users/Dell/Downloads/Aceros%20Especiales%20Antiabradi%C3%B3n.pdf
- Oerlikon, Exsa. (1999). *Oerlikon*. Retrieved from [http://www.marioloureiro.net/ensino/manuaisOutros/soldadura/manual\\_catalogo%20soldadura.pdf](http://www.marioloureiro.net/ensino/manuaisOutros/soldadura/manual_catalogo%20soldadura.pdf)
- ALBIZ. (2018). Retrieved from <https://bo.all.biz/tolvas-de-volquete-g5644>
- Arcerol, & Mittal. (1992). *XUNTA*. Retrieved from [https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contenido/428\\_clasificacin\\_de\\_los\\_aceros.html](https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947174/contenido/428_clasificacin_de_los_aceros.html)
- ASTM E10 - Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials. (2011). *UBIIM*. Retrieved from <http://www.upv.es/>
- Badillo, J. (2014). *Desarrollo de un procedimiento de soldadura con proceso fcaw, mediante la aplicación del código aws d1.1/2010 y d1.5m/d1.5 en puentes estructurales y análisis de la microestructura postsoldadura*. Retrieved from <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/4160/1/85T00370.pdf>
- Biltra, J. (2000). *Estructura y Propiedades de las Aleaciones-Facultad de Ingeniería-UNLP*. Retrieved from file:///C:/Users/Dell/Downloads/Cap8%20Dureza%20y%20Templabilidad.pdf
- Bobcat, D. (2018). *Interempresas*. Retrieved from <http://www.interempresas.net/ObrasPublicas/FeriaVirtual/Producto-Cucharones-para-excavadoras-Doosan-164119.html>
- Departamento de Aeronáutica. (1993). Retrieved from <https://www.google.com/search?q=a+con+tilde&oq=a+con+tilde&aqs=chrome..69i57j0l5.3725j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Duran, R. (2014). *SlideShare*. Retrieved from [https://www.slideshare.net/robertoduran338/liquidos-penetrantes-34500926?qid=7d488d22-a957-4916-bfdc-a5adda54bf90&v=&b=&from\\_search=3](https://www.slideshare.net/robertoduran338/liquidos-penetrantes-34500926?qid=7d488d22-a957-4916-bfdc-a5adda54bf90&v=&b=&from_search=3)
- Editec SPA. (2018). *Minería Chilena*. Retrieved from <http://www.mch.cl/2012/02/23/finning-traera-camion-minero-a-santiago-para-expomin-2/#>
- ESAB. (1953). *Proceso de Soldadura FCAW*. Retrieved from <https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/proceso-soldadura-fcaw-alambre-tubular-relleno-de-fundente-definiciones-del-proceso.cfm>
- Gómez . (1998). *Biblioteca digital*. Retrieved from [https://www.ecured.cu/F%C3%B3foro\\_\(sustancia\)](https://www.ecured.cu/F%C3%B3foro_(sustancia))
- Gulíavez, A. (1978). *Metal actual*. Retrieved from [https://www.ecured.cu/Diagrama\\_hierro\\_carbono](https://www.ecured.cu/Diagrama_hierro_carbono)
- HERMONT. (2018). *Galucho*. Retrieved from <http://www.hermont.es/novedades/>

- INDURA. (2009). *Tecnología a su servicio*. Retrieved from <http://www.indura.cl/Descargar/Recomendaciones%20de%20Almacenamiento%20para%20Productos%20de%20Soldadura?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fcl%2Fbiblioteca%2F2ec8625aa1434be08be9d55d8a71c6be.pdf>
- Industria colombo-ecuatoriana de carrocerías. (2018). *EMIS*. Retrieved from [https://www.emis.com/php/company-profile/EC/Industria\\_Colombo\\_Ecuatoriana\\_de\\_Carrocerias\\_Carcein\\_SA\\_es\\_3964033.html](https://www.emis.com/php/company-profile/EC/Industria_Colombo_Ecuatoriana_de_Carrocerias_Carcein_SA_es_3964033.html)
- INTEREMPRESAS. (2018). *Grupo Nova*. Retrieved from <http://www.interempresas.net/PrimeraPagina/>
- Lincoln Electric. (2004). *Soldadura*. Retrieved from <https://www.lincolnelectric.com/es-mx/consumables/Pages/consumables.aspx>
- Lincoln electric. (2008). *Corriente Constante vs Voltaje de Salida Constante*. Retrieved from <https://www.lincolnelectric.com/es-mx/support/process-and-theory/Pages/constant-current-vs-constant-voltage-output.aspx>
- Manual de soldadura. (1999). *Oerlikon*. Retrieved from [http://www.marioloureiro.net/ensino/manuaisOutros/soldadura/manual\\_catalogo%20soldadura.pdf](http://www.marioloureiro.net/ensino/manuaisOutros/soldadura/manual_catalogo%20soldadura.pdf)
- Melo, E. (2013). *Proceso FCAW*. Retrieved from [https://www.westarco.com/westarco/sp/education/training/cursos/curso\\_proceso\\_fcaw.cfm](https://www.westarco.com/westarco/sp/education/training/cursos/curso_proceso_fcaw.cfm)
- Morral, Jimeno, & Molera. (2008). Retrieved from [https://www.ecured.cu/F%C3%B3foro\\_\(sustancia\)](https://www.ecured.cu/F%C3%B3foro_(sustancia))
- Morral, Jimeno, & Molera. (2008). *Tratamientos térmicos*. Retrieved from [https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/1537\\_tratamientostermicosr2.pdf](https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/1537_tratamientostermicosr2.pdf)
- Norma Nacional Americana. (2000). *Código para Soldadura Estructural - Acero*. Retrieved from <http://www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/ANSI-AWS-D1.1.-2000.pdf>
- Norma Nacional Americana. (2000). *Sociedad Americana de*. Retrieved from <http://www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/ANSI-AWS-D1.1.-2000.pdf>
- OERLIKON. (1999). *EXSA*. Retrieved from [http://www.marioloureiro.net/ensino/manuaisOutros/soldadura/manual\\_catalogo%20soldadura.pdf](http://www.marioloureiro.net/ensino/manuaisOutros/soldadura/manual_catalogo%20soldadura.pdf)
- Olson, Dixon, & Liby. (1990). *KOBELCO*. Retrieved from [https://www.kobelco-welding.jp/espanol/education-center/abc/ABC\\_2007-01.html](https://www.kobelco-welding.jp/espanol/education-center/abc/ABC_2007-01.html)
- OLSON, DIXON, & LIBY. (1990). *Metodo para calcular precalentamientos de uniones*. Retrieved from [www.adatum.com](http://www.adatum.com)
- Orozco, R. (2018). *SlideShare*. Retrieved from [https://es.slideshare.net/search/slideshow?searchfrom=header&q=catalogo+frontal+ruedas&ud=any&ft=all&lang=\\*&sort=](https://es.slideshare.net/search/slideshow?searchfrom=header&q=catalogo+frontal+ruedas&ud=any&ft=all&lang=*&sort=)

- Perez Garcia. (2016). *Ajustes y preparación en soldadura*. Retrieved from [http://www.centrozaragoza.com:8080/web/sala\\_prensa/revista\\_tecnica/hemeroteca/articulos/R68\\_A2.pdf](http://www.centrozaragoza.com:8080/web/sala_prensa/revista_tecnica/hemeroteca/articulos/R68_A2.pdf)
- Rodriguez, P. (2004). *Lincol*. Retrieved from <https://www.solysol.com.es/data/documents/Soldeo=20con=20Alamb.Tubular.pdf>
- Sarmiento, J. (1993). *definicion*. Retrieved from <https://definicion.mx/manganeso/>
- Sierra, H., Garcia, C., & Morales, J. (2000). *Relacion entre desagoste y tenacidad para algunos aceros al carbono templados y revenidos a iguales niveles de dureza*. Retrieved from <file:///C:/Users/Dell/Downloads/1042-Texto%20del%20art%C3%ADculo-3282-1-10-20120628.pdf>
- Sociedad Americana de Soldadura. (2000). *Norma Nacional Americana*. Retrieved from <http://www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/ANSI-AWS-D1.1.-2000.pdf>
- UAM. (1996). *Universidad autonoma de madrid*. Retrieved from <https://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/practicas/practica4/otros%20elementos.htm>
- Universidad autonoma de Madrid. (1998). *Biblioteca digital*. Retrieved from [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/09/htm/sec\\_8.html](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/09/htm/sec_8.html)
- Universidad Nacional de la Plata. (1995). *Departamento Aeronáutico*. Retrieved from <https://www.google.com/search?q=a+con+tilde&oq=a+con+tilde&aqs=chrome..69i57j0l5.3725j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Universidad Politécnica de Valencia . (2017). *ENSAYOS DE ROCKWELL*. Retrieved from [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/pfcm2\\_7\\_3.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/pfcm2_7_3.html)
- Universidad Politécnica de Valencia. (1993). *UBIIM*. Retrieved from <http://www.upv.es/>
- Universidad Politecnica de Valencia. (1994). *Ensayos de dureza*. Retrieved from [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/ptrb2\\_2\\_6.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/ptrb2_2_6.html)
- Universidad Politécnica de Valencia. (2017). *Fundamentos de Ciencia de Materiales*. Retrieved from [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm07/ejercicios7\\_3.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm07/ejercicios7_3.html)
- Valencia. (1993). *ENSAYO VICKERS*. Retrieved from [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/pfcm2\\_7\\_3.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/pfcm2_7_3.html)
- Valencia. (1993). *ENSAYOS DE ROCKWELL*. Retrieved from [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/pfcm2\\_7\\_3.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/pfcm2_7_3.html)
- West, E. (2013). *Proceso FCAW*. Retrieved from [https://www.westarco.com/westarco/sp/education/training/cursos/curso\\_proceso\\_fcaw.cfm](https://www.westarco.com/westarco/sp/education/training/cursos/curso_proceso_fcaw.cfm)

## ANEXOS

### A. CATALOGO DEL METAL BASE

# PLANCHA ANTIABRASIVA

## Descripción:

- Mayor resistencia a la corrosión que otros aceros al carbono.
- Disponible en presentación de Acero Negro, dureza 400HB y 500 HB.
- Formato estándar de 2000 x 6000 mm.
- Útil para elementos de movimiento de tierra, minerales y materiales abrasivos tales como tolvas de volquetes, cucharas de máquinas cargadoras, etc.

**TAMBIÉN EN CORTES  
A SU ELECCIÓN**



## Especificaciones Generales:

### Calidad:

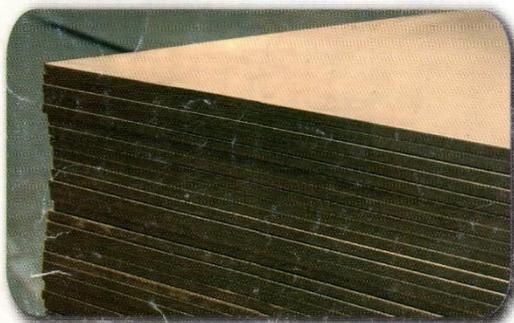
Plancha aleada de gran resistencia al desgaste por abrasión, impacto y deslizamiento.

### Espesores:

De 12 a 25 mm de espesor

### Dimensiones:

2000 x 6000,



[www.dipacmanta.com](http://www.dipacmanta.com)

 **DIPAC**<sup>®</sup>  
PRODUCTOS DE ACERO



**DIPAC**<sup>®</sup>  
PRODUCTOS DE ACERO

**Aplicaciones:**

*12mm x 204,59*

Para elementos de movimiento de tierra, minerales y materiales abrasivos tales como las tolvas de volquetes, cucharas de máquinas cargadoras, elementos de máquinas trituradoras, chancadoras y prensas de chatarra. También para construcciones soldadas que requieren alta resistencia y buena dureza a baja temperatura.



*6mm 1590,19*

Para realizar trabajos de soldadura en la misma se recomienda utilizar procesos bajo en hidrogeno, los electrodos deben estar completamente secos, la plancha libre de grasa o aceites. Precalear a 150 - 200°, remover la escoria entre cada cordón de soldadura. Se recomienda electrodos UTP 6020 UTP65.



En caso de requerir corte por oxiacetileno no presenta dificultades, en espesores de hasta 25mm se debe precalear a a 60°C y en caso de espesores mayores se debe precalear a 150°C.

**COMPOSICIÓN QUÍMICA (Max)**

DUREZA	C	Si	Mn	Cr	Ti	B
400 HB	0.26	0.55	1.6	0.4	0.02	0.004
500 HB	0.36	0.55	1.6	0.8	0.02	0.004

**PROPIEDADES MECÁNICAS (Max)**

	Resistencia Mecánica	Punto de Frecuencia
DUREZA	N/mm2	N/mm2
400 HB	1316	1163
500 HB	1449	1449

DUREZA	ESPEORES (mm)
400 HB	5,6,10, 12, 19, 20
500 HB	12, 25

[www.dipacmanta.com](http://www.dipacmanta.com)



## B. CATÁLOGO DEL ALAMBRE E81T1-GM

### THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY

#### MECHANICAL PROPERTIES<sup>1</sup> - As Required per AWS A5.29/A5.29M: 2010

	Tensile Strength <sup>2</sup> MPa (ksi)	Yield Strength <sup>2</sup> MPa (ksi)	Elongation <sup>3</sup> %	Charpy Impact <sup>4</sup> J (ft-lb)	
				0-20°C (-20°F)	0-50°C (-40°F)
<b>Requirements</b> AWS E81T1-GM	475 (68 min)	550-600 (80-100)	19 min	Not Specified	Not Specified
<b>Typical Performance<sup>5</sup></b> As-Welded with 75% Argon / 25% CO <sub>2</sub>	510 - 580 (74 - 85)	580 - 620 (85 - 90)	25 - 28	83 - 149 (61 - 110)	66 - 121 (49 - 90)

#### DEPOSIT COMPOSITION<sup>1</sup> - As Required per AWS A5.29/A5.29M: 2010

	%C	%Mn	%Si	%P
<b>Requirements</b> AWS E81T1-GM	Not Specified	0.30 <sup>6</sup>	1.00 <sup>6</sup>	0.030 max
<b>Typical Performance<sup>5</sup></b> As-Welded with 75% Argon / 25% CO <sub>2</sub>	0.06 - 0.07	1.54 - 1.68	0.38 - 0.57	0.016 - 0.018
	%Ni		%Al	
	Diffusible Hydrogen			
<b>Requirements</b> AWS E81T1-GM	0.030 max	0.03 <sup>6</sup>	Not Specified	
<b>Typical Performance<sup>5</sup></b> As-Welded with 75% Argon / 25% CO <sub>2</sub>	0.010 - 0.020	0.05	4 - 5	

#### TYPICAL OPERATING PROCEDURES

Electrode Polarity Shielding Gas	CFRP <sup>7</sup> mm (in)	Wire Feed Speed mm/min (in/min)	Voltage (volts)	Approx. Current (amps)	Weld-On Rate kg/hr (lb/hr)
1.2 mm (0.045 in) BC- 75-25% Argon / Balance CO <sub>2</sub>	19 (3/8)	4.4 - 10.2 (175 - 420)	23 - 30	130 - 275	1.8 - 4.1 (0.8 - 1.8)

<sup>1</sup>Typical test code: <sup>2</sup>Measured with 0.75 in. thick. <sup>3</sup>See footnote 6 for requirements. <sup>4</sup>For further details see requirements in AWS A5.29/A5.29M: 2010. <sup>5</sup>For additional mechanical properties please refer to the test procedures section of this document. <sup>6</sup>Percent maximum values are based on a 0.010 in. thick plate specimen unless noted. <sup>7</sup>CFRP is the acronym for Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) or Fiberglass Reinforced Polymer (FRP). <sup>8</sup>For further details see requirements in AWS A5.29/A5.29M: 2010.

Material Safety Data Sheets (MSDS) and Certificates of Conformance are available on our website at [www.lincolnelectric.com](http://www.lincolnelectric.com)

#### TEST RESULTS

Test results for mechanical properties, deposit or electrode composition and diffusible hydrogen levels were obtained from a weld produced and tested according to prescribed standards, and should not be assumed to be the expected results in a particular application or environment. Actual results will vary depending on many factors, including, but not limited to, weld procedure, plate chemistry and temperature, weldment design and fabrication methods. Users are cautioned to verify by qualification testing, or other appropriate means, the suitability of any welding consumable and procedure before use in the intended application.

#### CUSTOMER ASSISTANCE POLICY

The Lincoln Electric Company is manufacturing and selling high-quality welding equipment, consumables, and cutting equipment. Our challenge is to meet the needs of our customers and to exceed their expectations. On occasion, purchasers may wish Lincoln Electric for information or advice about their use of our products. Our employees respond to inquiries to the best of their ability based on information provided to them by the customers and the knowledge they may have concerning the application. Our employees, however, are not in a position to verify the information provided or to evaluate the engineering requirements for the particular weldment. Accordingly, Lincoln Electric does not warrant or guarantee or assume any liability with respect to such information or advice. Moreover, the provision of such information or advice does not create, expand, or alter any warranty on our products. Any express or implied warranty that might arise from the information or advice, including any implied warranty of merchantability or any warranty of fitness for any customer's particular purposes is specifically disclaimed.

Lincoln Electric is a registered manufacturer, but the selection and use of specific products sold by Lincoln Electric is solely within the control of, and remains the sole responsibility of, the customer. Many variables beyond the control of Lincoln Electric affect the results obtained in applying these types of fabrication methods and service requirements.

Subject to Change - This information is accurate to the best of our knowledge at the time of printing. Please refer to [www.lincolnelectric.com](http://www.lincolnelectric.com) for any updated information.



## C. REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE ESPECTROMETRÍA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE MATERIALES  
LABORATORIO DE FUNDICIÓN



### 3. ANTECEDENTES TÉCNICOS

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

3.2. **Método:** Fe 110 Low Alloy

### 4. VALORES OBTENIDOS

El análisis de espectrometría por chispa se realiza empleando el espectrómetro marca BRUKER modelo Q2 ION. Para el análisis se tomaron 3 mediciones en determinados puntos del espécimen y finalmente se promedió los valores.

		Muestra M1
Elemento		Valor [%]
Carbono	[C]	0,112
Silicio	[Si]	0,335
Manganeso	[Mn]	0,771
Fósforo	[P]	0,012
Cromo	[Cr]	0,271
Níquel	[Ni]	0,027
Cobre	[Cu]	0,018
Aluminio	[Al]	0,018
Niobio	[Nb]	0,010
Titanio	[Ti]	0,027
Boro	[B]	0,0035
Hierro	[Fe]	98,39
<b>Total</b>		<b>99,99</b>



Ing. Luis G. Huilca

Técnico Responsable

Ing. Oscar Sotomayor

Jefe del Laboratorio de Fundición.



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

# Bruker Analysis Report



Sample: Sample M1

Analysis Time: 24.01.2019 11:34:19

Method: Fe110

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
Ø	0,112	0,335	0,771	0,012	<0,0030
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
Ø	0,271	<0,0050	0,027	0,018	0,018
	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	W [%]
Ø	0,0039	0,010	0,027	<0,0030	<0,020
	B [%]	Sn [%]	Fe [%]		
Ø	0,0035	0,0045	98,39		

## D. REALIZACION DE ENSAYO DE TRACCION Y DUREZA DEL METAL BASE

### 4. ENSAYO DE TRACCION EN MATERIAL BASE

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de tracción

Tabla 2. Resistencia a la tracción obtenida en el ensayo.

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	ksi	MPa	
M19.010.01	13,7	6,14	20 298	90 291	146,3	1 009	155,7	1 075	13,1
M19.010.02	13,61	6,06	19 407	86 329	146,9	1 013	151,8	1 048	12,4

### 5. ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA

En la tabla 3 se presentan los resultados de las mediciones de dureza Rockwell escala C a las muestras entregadas.

Tabla 3. Medición de dureza en escala Rockwell C.

Mediciones en escala Rockwell C									Promedio*
Ptos. de Medición	1	2	3	4	5	6	7		
M19.010.03	36	38	33	34	36	40	37	36,2	

\*El promedio se calcula con los valores intermedios, excluyendo al valor mayor y menor.

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

	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:		
Nombre:	Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ph.D. Wilson Guachamin
Cargo:	TÉCNICO DOCENTE	JEFE

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

LAEV – M19.010

Página 2 de 2

Dirección: Av. Mena Caamaño e Isabel la Católica Esquina (Escuela Politécnica Nacional)  
Teléfono: 022976300 ext. 3715, 3716  
Correo: laev@epn.edu.ec

## E. ENSAYO DE TRACCION Y DUREZA DE LAS PROBETAS



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS  
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

F01-PE-LAEV-01 Rev.00

### INFORME

LAEV – M19.049

Quito, 30 de abril de 2019

**Solicitado por:** Msc. Mario Granja  
**Persona de contacto:** Fabian Sánchez  
**Teléfono:** 0988365805  
**Correo:** edison.sanchez01@epn.edu.ec  
**Fecha de recepción:** 21/04/2019  
**Fecha de ejecución:** 30/04/2019

**ORDEN DE TRABAJO N°:** N/A

1. **MUESTRAS:** Doce (12) probetas de junta soldada para ensayo de tracción, veinte y cuatro (24) probetas de junta soldada para ensayo de doblado y seis (6) probetas para barrido de dureza.

#### 2. GENERALIDADES E IDENTIFICACIÓN:

La siguiente descripción fue proporcionada por el cliente:

**Título de la tesis:** PROCEDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE SOLDADURA EN MATERIALES CON ALTO CONTENIDO DE CARBONO EQUIVALENTE (Ceq mayor 0,4%).

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

Tabla 1. Identificación de las muestras.

Id. cliente	Id. del LAEV
FCSTT1	M19.049.01
FCSTT1	M19.049.02
FCSTT2	M19.049.03
FCSTT2	M19.049.04
FCPC2 3	M19.049.05
FCPC2 3	M19.049.06
FCPWHT2 4	M19.049.07
FCPWHT2 4	M19.049.08



Dirección: Av. Mena Caamaño e Isabel la Católica Esquina (Escuela Politécnica Nacional)  
Teléfono: 022976300 ext. 3715, 3716  
Correo: laev@epn.edu.ec



Tabla 1. Continuación.

FCPWHT1 5	M19.049.09
FCPWHT1 5	M19.049.10
FCPC1 6	M19.049.11
FCPC1 6	M19.049.12

### 3. CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura:  $20,1 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$

Humedad relativa:  $48,7 \pm 1,1\%$

### 4. ENSAYO DE TRACCION EN JUNTA SOLDADA

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de tracción.

Tabla 2. Resistencia a la tracción obtenida en el ensayo.

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Obs.
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M19.049.01	20,51	6,38	18 513	82 351	91,3	629,3	FJS
M19.049.02	18,28	6,30	15 634	69 542	87,6	603,9	FJS
M19.049.03	22,83	6,52	20 246	90 061	87,8	605,0	FMB
M19.049.04	22,70	6,51	19 132	85 104	83,5	575,9	FMB
M19.049.05	21,68	6,48	19 341	86 032	88,8	612,4	FMB
M19.049.06	21,58	6,32	19 295	85 829	91,3	629,3	FMB
M19.049.07	22,12	6,65	20 563	91 468	90,2	621,8	FMB
M19.049.08	20,24	6,41	18 051	80 293	89,8	618,9	FMB
M19.049.09	20,83	6,46	17 325	77 064	83,1	572,7	FJS
M19.049.10	21,78	6,41	17 196	76 490	79,5	547,9	FJS
M19.049.11	19,38	6,46	16 580	73 752	85,4	589,1	FJS
M19.049.12	20,01	6,33	17 996	80 050	91,7	632,0	FMB

### 5. ENSAYO DE DOBLADO

En las tablas 3 y 4 se presenta los resultados del ensayo de doblado de cara y raíz de las muestras con identificación FCSTT1.



Dirección: Av. Mena Caamaño e Isabel la Católica Esquina (Escuela Politécnica Nacional)  
Teléfono: 022976300 ext. 3715, 3716  
Correo: laev@epn.edu.ec

Tabla 3. Resultados del ensayo de doblado de cara a las muestras FCSTT1.

Identificación	Observaciones
M19.049.13	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.
M19.049.14	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.

Tabla 4. Resultados del ensayo de doblado de raíz a las muestras FCSTT1.

Identificación	Observaciones
M19.049.15	Se observa una discontinuidad de 2,67 mm en el cordón de soldadura.
M19.049.16	Se observa una discontinuidad de 26,49 mm en el borde del cordón de soldadura.

En las tablas 5 y 6 se presenta los resultados del ensayo de doblado de cara y raíz de las muestras con identificación FCSTT2.

Tabla 5. Resultados del ensayo de doblado de cara a las muestras FCSTT2.

Identificación	Observaciones
M19.049.17	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.
M19.049.18	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.

Tabla 6. Resultados del ensayo de doblado de raíz a las muestras FCSTT2.

Identificación	Observaciones
M19.049.19	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.
M19.049.20	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.

En las tablas 7 y 8 se presenta los resultados del ensayo de doblado de cara y raíz de las muestras con identificación FCPC2.

Tabla 7. Resultados del ensayo de doblado de cara a las muestras FCPC2.

Identificación	Observaciones
M19.049.21	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.
M19.049.22	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.

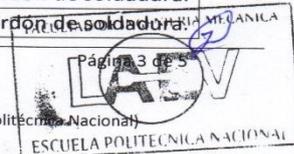
Tabla 8. Resultados del ensayo de doblado de raíz a las muestras FCPC2.

Identificación	Observaciones
M19.049.23	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.
M19.049.24	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.



MEV - M19.049

Dirección: Av. Mena Caamaño e Isabel la Católica Esquina (Escuela Politécnica Nacional)  
Teléfono: 022976300 ext. 3715, 3716  
Correo: laev@epn.edu.ec



En las tablas 9 y 10 se presenta los resultados del ensayo de doblado de cara y raíz de las muestras con identificación FCPWHT2.

Tabla 9. Resultados del ensayo de doblado de cara a las muestras FCPWHT2.

Identificación	Observaciones
M19.049.25	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.
M19.049.26	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.

Tabla 10. Resultados del ensayo de doblado de raíz a las muestras FCPWHT2.

Identificación	Observaciones
M19.049.27	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.
M19.049.28	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.

En las tablas 11 y 12 se presenta los resultados del ensayo de doblado de cara y raíz de las muestras con identificación FCPWHT1.

Tabla 11. Resultados del ensayo de doblado de cara a las muestras FCPWHT1.

Identificación	Observaciones
M19.049.29	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.
M19.049.30	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.

Tabla 12. Resultados del ensayo de doblado de raíz a las muestras FCPWHT1.

Identificación	Observaciones
M19.049.31	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.
M19.049.32	Se observa una discontinuidad de 5,72 mm en el cordón de soldadura.

En las tablas 13 y 14 se presenta los resultados del ensayo de doblado de cara y raíz de las muestras con identificación FCPC1.

Tabla 13. Resultados del ensayo de doblado de cara a las muestras FCPC1.

Identificación	Observaciones
M19.049.33	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.
M19.049.34	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.

Tabla 14. Resultados del ensayo de doblado de raíz a las muestras FCPC1.

Identificación	Observaciones
M19.049.35	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.
M19.049.36	No se observan discontinuidades en el cordón de soldadura.



Dirección: Av. Mena Caamaño e Isabel la Católica Esquina (Escuela Politécnica Nacional)  
Teléfono: 022976300 ext. 3715, 3716  
Correo: laev@epn.edu.ec



## 6. ENSAYO DE BARIDO DE DUREZA

En la figura 1 se presenta un esquema donde se muestra la zona donde se realizó la medición.

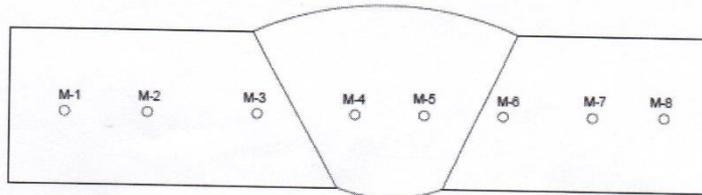


Figura1. Medición de dureza en las probetas entregadas.

En la tabla 15 se presentan los resultados del ensayo de dureza realizado a las probetas proporcionadas por el cliente.

Tabla 15. Medición de dureza en escala Rockwell B.

Mediciones en escala Rockwell B								
Ptos. de Medición	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
P-1	88	94	88	84	82	90	96	96
P-2	89	89	86	85	80	92	90	95
P-3	96	95	95	82	84	88	91	90
P-4	96	95	83	80	79	87	96	95
P-5	95	90	84	80	81	88	94	96
P-6	94	95	90	83	84	92	96	96

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

	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:		
Nombre:	Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ph.D. Wilson Guachamin
Cargo:	TÉCNICO DOCENTE	JEFE
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES		

LAEV – M19.049

Dirección: Av. Mena Caamaño e Isabel la Católica Esmeraldas (Esmeraldas) Ecuador  
 Teléfono: 022976300 ext. 3715, 3716  
 Correo: laev@epn.edu.ec

Página 5 de 5

## F. ENSAYO DE LIQUIDOS PENETRANTES

<b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b> <b>LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS</b> <b>DEPARTAMENTO DE MATERIALES</b>
---

<b>DATOS GENERALES</b>	
<b>Cientes:</b> Fabían Sánchez, estudiante de titulación	<b>Reporte N°:</b> LABEND-EPN-2019-R06-LP-03
<b>Fecha:</b> 12/03/2019	<b>Lugar:</b> Quito-Ecuador
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA PIEZA</b>	
<b>Descripción:</b>  2019-R06-LP03-001: de acero soldada de L: 400 mm y Dext: 30 mm  2019-R06-LP03-002: de acero soldada de L: 400 mm y Dext: 30 mm  2019-R06-LP03-003: de acero soldada de L: 400 mm y Dext: 30 mm  2019-R06-LP03-004: de acero soldada de L: 400 mm y Dext: 30 mm  2019-R06-LP03-005: de acero soldada de L: 400 mm y Dext: 30 mm  2019-R06-LP03-006: de acero soldada de L: 400 mm y Dext: 30 mm	<b>Identificación:</b>  2019-R06-LP03-001  2019-R06-LP03-002  2019-R06-LP03-003  2019-R06-LP03-004  2019-R06-LP03-005  2019-R06-LP03-006
<b>Material:</b>  Acero ASTM A36	<b>Estado Superficial:</b>  Rugosidad Normal del Material
<b>ESQUEMA DE LA PIEZA</b>	
2019-R6-LP3-P1	2019-R6-LP3-P2



2019-R6-LP3-P3



2019-R6-LP3-P4



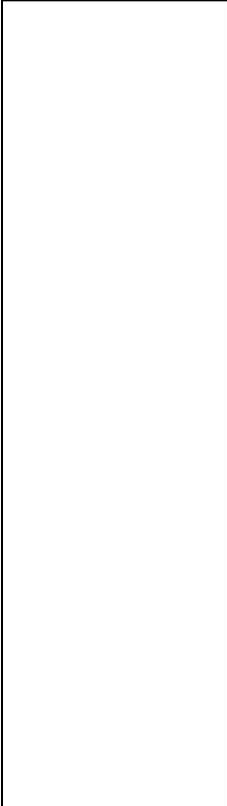
2019-R6-LP3-P5



2019-R6-LP3-P6



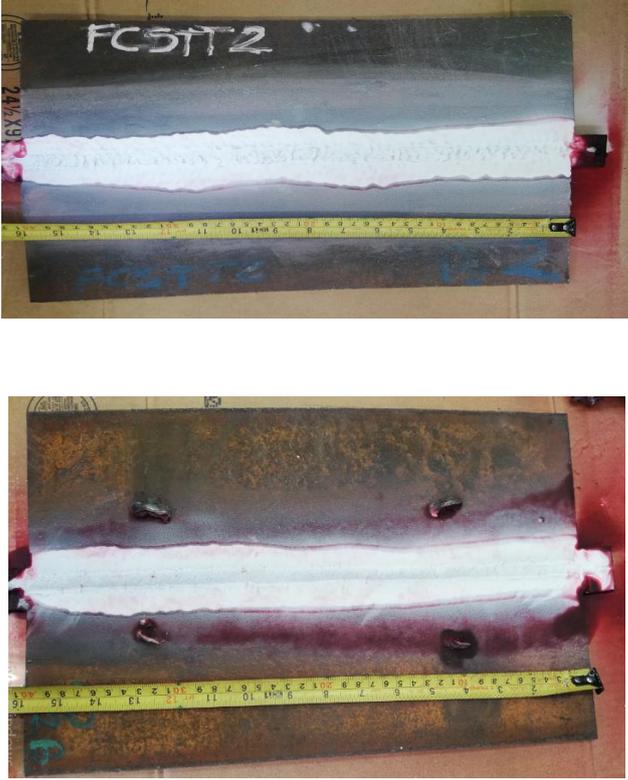
MATERIALES Y EQUIPOS		
<b>Líquidos:</b>		
<b>Limpiador / removedor:</b> Met-L-check E-59A		<b>Emulsificador:</b> N/A
<b>Penetrante</b> Met-L-check VP-30	<b>Revelador</b> Met-L-check D-70	
<b>Accesorios:</b> N/A		
CONDICIONES DE TRABAJO		
<b>Procedimiento:</b> Basado en ASTM E 165, Tipo II método A		<b>Limpieza:</b> Con solvente
<b>Tiempos:</b>		
<b>Penetrante:</b> 10 minutos	<b>Emulsificador:</b> N/A	<b>Revelador:</b> 5 minutos
<b>Luz de observación:</b> Visible (sobre los 1700 lux)		<b>Tiempo:</b>
<b>Normas de Aceptación / Rechazo</b> AWS D1.1		
RESULTADOS		
IDENTIFICACIÓN	IMAGEN	OBSERVACIONES
2019-R6-LP3-P1		No se observan indicaciones en ninguna de las dos superficies

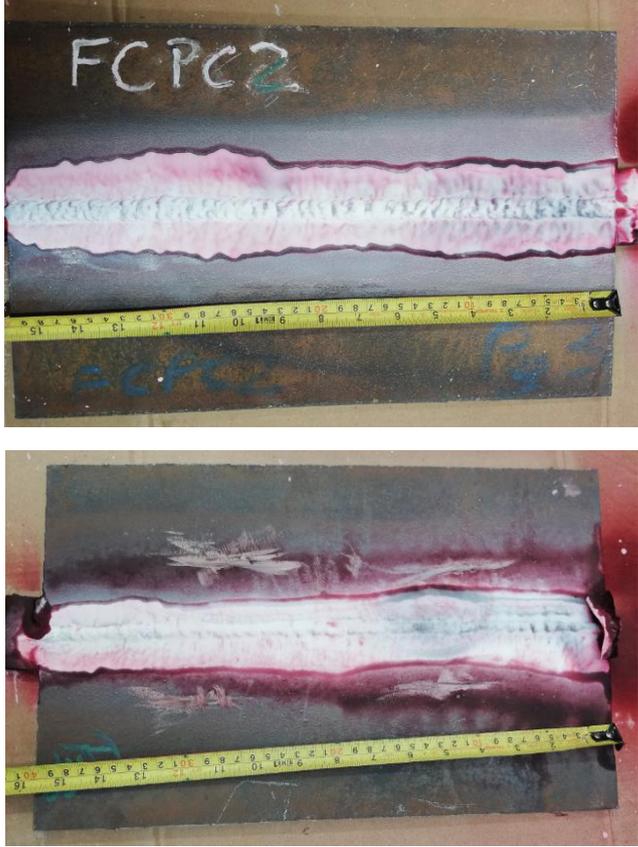


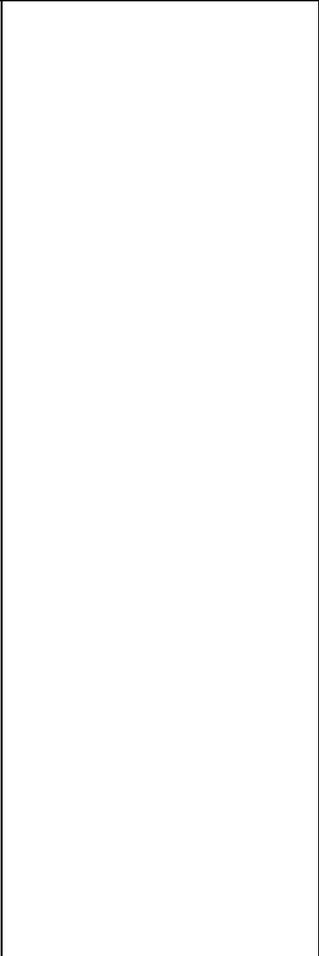
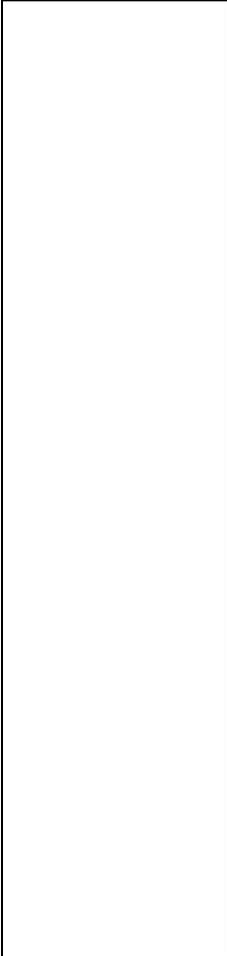
2019-R6-LP3-P2



No se observan indicaciones en ninguna de las dos superficies

		
<p>2019-R6-LP3-P4</p>		<p>No se observan indicaciones en ninguna de las dos superficies</p>

		
<p>2019-R6-LP3-P4</p>		<p>No se observan indicaciones en ninguna de las dos superficies</p>



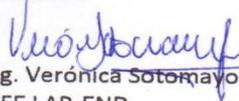
2019-R6-LP3-P5



No se observan indicaciones en ninguna de las dos superficies

		
<p>2019-R6-LP3-P6</p>		<p>No se observan indicaciones en ninguna de las dos superficies</p>

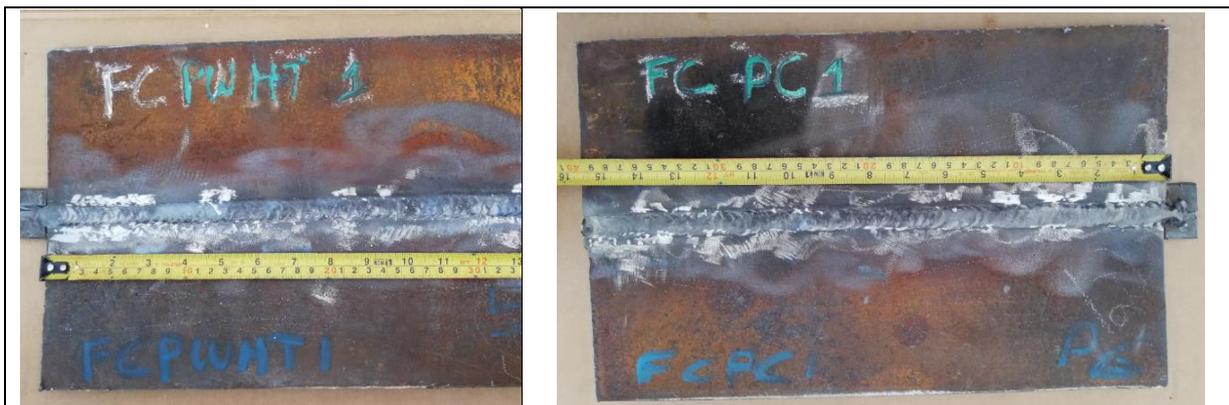


<b>OPERADOR:</b> Santiago Camacho	
<b>Nivel:</b> LÍQUIDOS PENETRANTES –ASNT NIVEL II	<b>Firma:</b>
<p align="center"><b>Laboratorio de Ensayos No Destructivos LAB-END</b></p> <p><b>Fecha:</b> 07-05-2019</p> <p><b>Firma:</b>           Ing. Santiago Camacho          ASISTENTE DE ENSAYOS LAB-END</p> <p><b>Fecha:</b> 07-05-2019</p> <p><b>Firma:</b>           Ing. Verónica Sotomayor          JEFE LAB-END</p>	<p align="center"><b>Cliente</b></p> <p><b>Fecha:</b> 08-05-2019</p> <p><b>Firma:</b>          Sr. Fabián Sánchez          Estudiante de titulación</p>



## G. ENSAYOS DE RADIOGRAFÍAS

<b>REPORTE DE INSPECCION RADIOGRÁFICA</b> <b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b> <b>LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS</b> <b>DEPARTAMENTO DE MATERIALES</b>	
<b>Información General</b>	
<b>Cliente:</b> Fabián Sánchez, Estudiante de titulación	<b>Reporte N°:</b> LABEND-EPN-2019-R07-RX-04
<b>Fecha de inspección:</b> 21 de marzo de 2019	<b>Lugar:</b> Quito – EPN
<b>Identificación de la Pieza</b>	
<b>Descripción:</b>  2019-R07-RX04-001: de acero soldada de L: 400 mm y Dext: 300 mm 2019-R07-RX04-002: de acero soldada de L: 400 mm y Dext: 300 mm 2019-R07-RX04-003: de acero soldada de L: 400 mm y Dext: 300 mm 2019-R07-RX04-004: de acero soldada de L: 400 mm y Dext: 300 mm 2019-R07-RX04-005: de acero soldada de L: 400 mm y Dext: 300 mm 2019-R07-RX04-006: de acero soldada de L: 400 mm y Dext: 300 mm	<b>Identificación:</b>  2019-R07-RX04-001 2019-R07-RX04-002 2019-R07-RX04-003 2019-R07-RX04-004 2019-R07-RX04-005 2019-R07-RX04-006
<b>Material:</b> Acero ASTM A36	<b>Estado Superficial:</b> Rugosidad Normal del Material
<b>Componente(s) a Inspeccionar</b>	
2019-R07-RX04-001	2019-R07-RX04-002
	
2019-R07-RX04-003	2019-R07-RX04-004
	
2019-R07-RX04-005	2019-R07-RX04-006



### Equipos y Materiales

#### Equipo de RX

Marca: Baltographe	Modelo: BF 200/10	kV: 200 kV	mA: 10 mA
-----------------------	-------------------	------------	-----------

#### Película

Marca: AFGA Structurix	Tipo: II – D7
------------------------	---------------

### Condiciones de Trabajo

Normas de Referencia: ASTM E 94

#### Pieza: 2019-R07-RX04-001

Tomas: 2	Kv: 140 kV	mA: 5 mA
Tiempo de Exp: 1 min 8 s	Distancia a la Fuente: 55 cm	Técnica Utilizada: Simple Pared Simple Imagen

Observaciones: IQI Tipo 1B

#### Pieza: 2019-R07-RX04-002

Tomas: 2	Kv: 120 kV	mA: 5 mA
Tiempo de Exp: 1 min 0 s	Distancia a la Fuente: 55 cm	Técnica Utilizada: Simple Pared Simple Imagen

Observaciones: IQI Tipo 1B

#### Pieza: 2019-R07-RX04-003

Tomas: 2	Kv: 120 kV	mA: 5 mA
Tiempo de Exp: 0 min 55 s	Distancia a la Fuente: 55 cm	Técnica Utilizada: Simple Pared Simple Imagen

Observaciones: IQI Tipo 1B

#### Pieza: 2019-R07-RX04-004

Tomas: 2	Kv: 120 kV	mA: 5 mA
Tiempo de Exp: 1 min 0 s	Distancia a la Fuente: 55 cm	Técnica Utilizada: Simple Pared Simple Imagen

Observaciones: IQI Tipo 1B

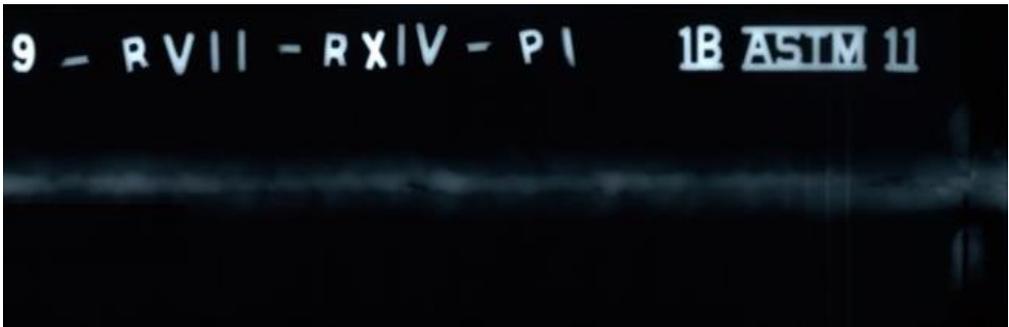
#### Pieza: 2019-R07-RX04-005

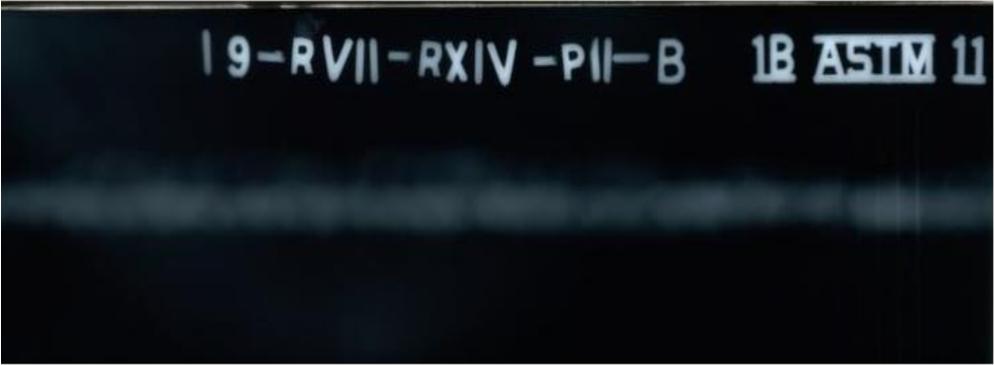
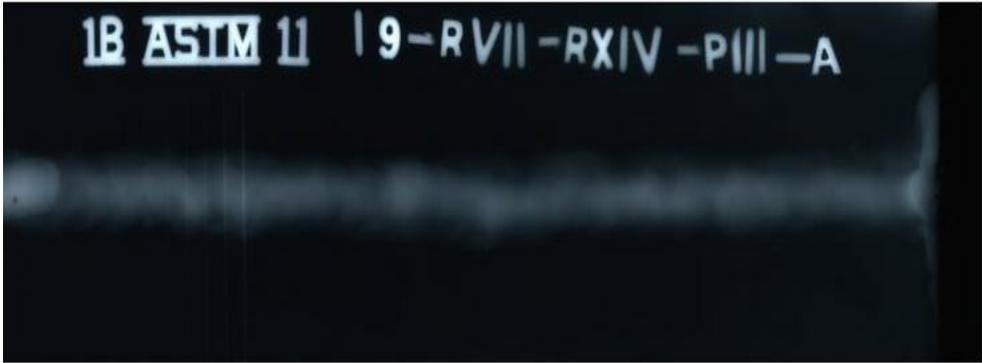
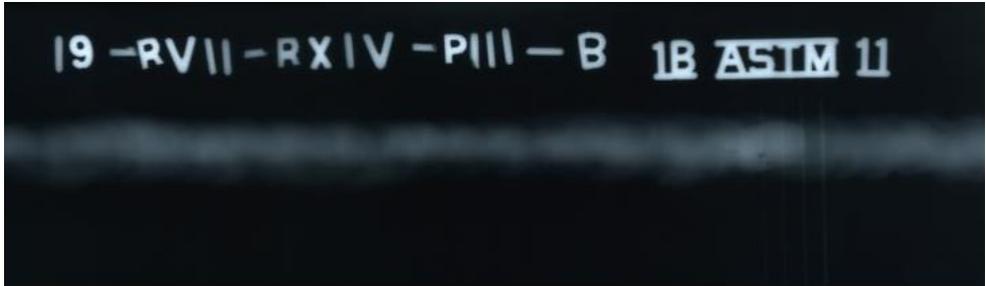
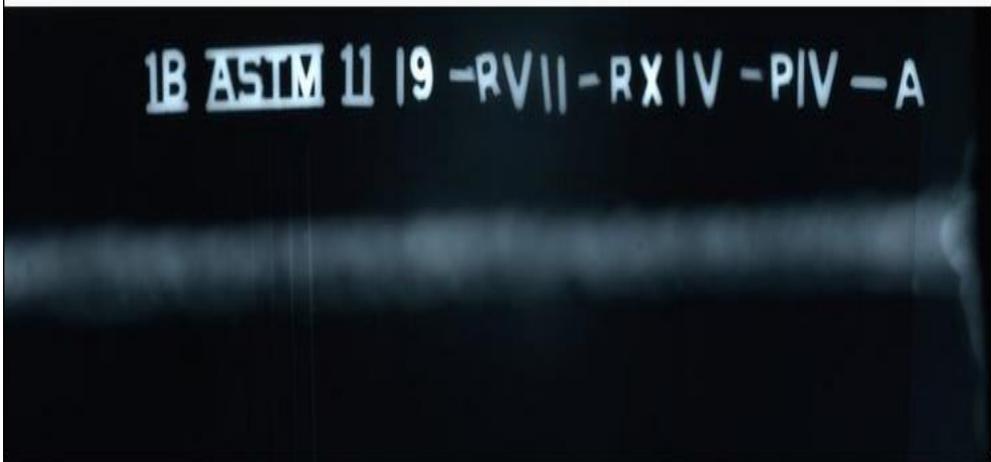
Tomas: 2	Kv: 120 kV	mA: 5 mA
Tiempo de Exp: 1 min 3 s	Distancia a la Fuente: 55 cm	Técnica Utilizada: Simple Pared Simple Imagen

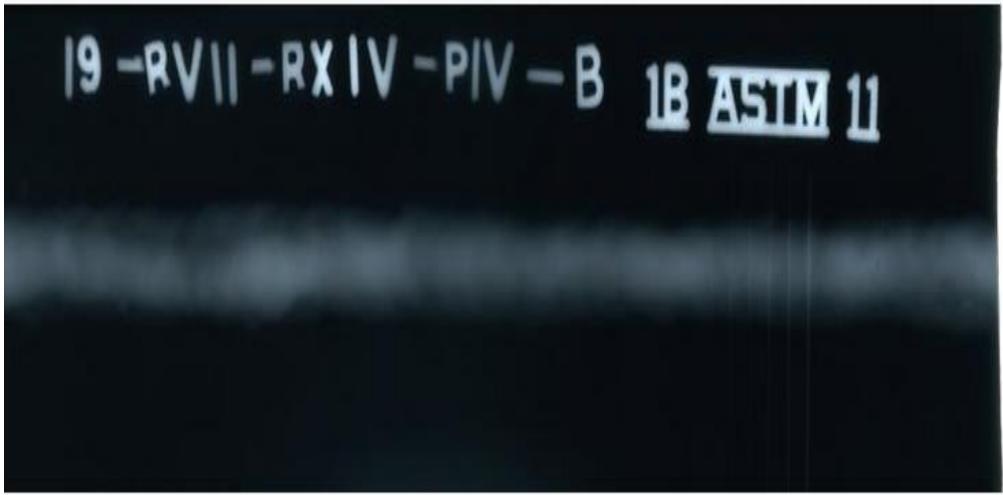
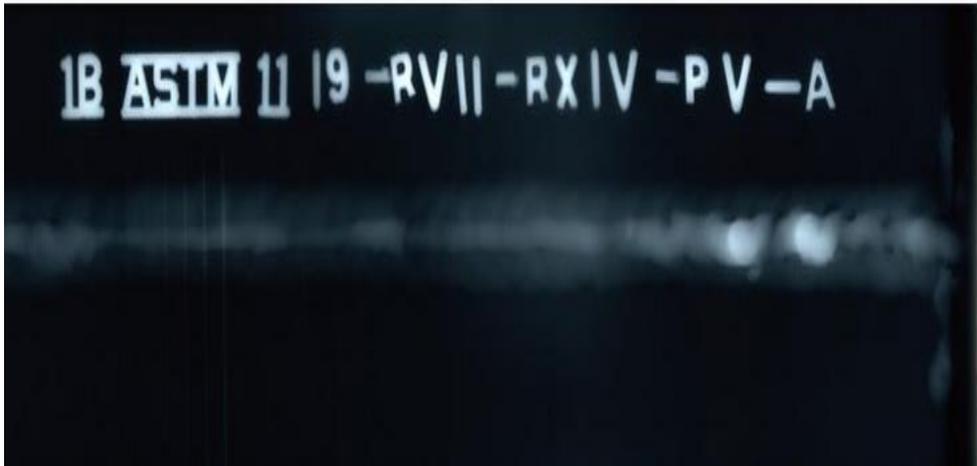
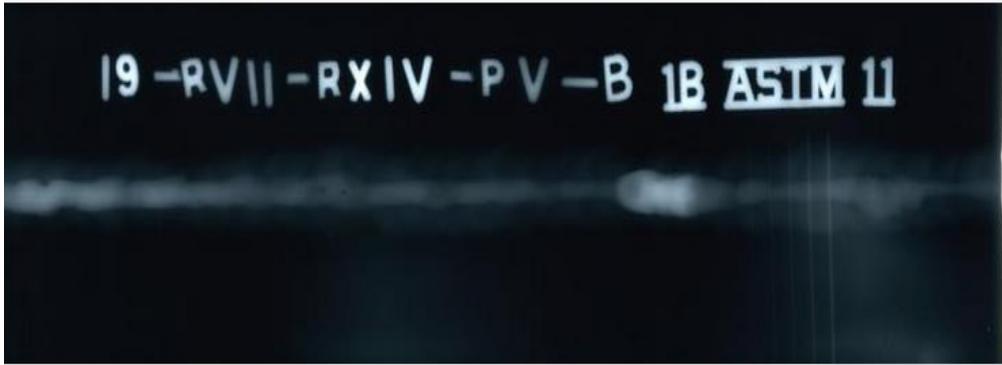
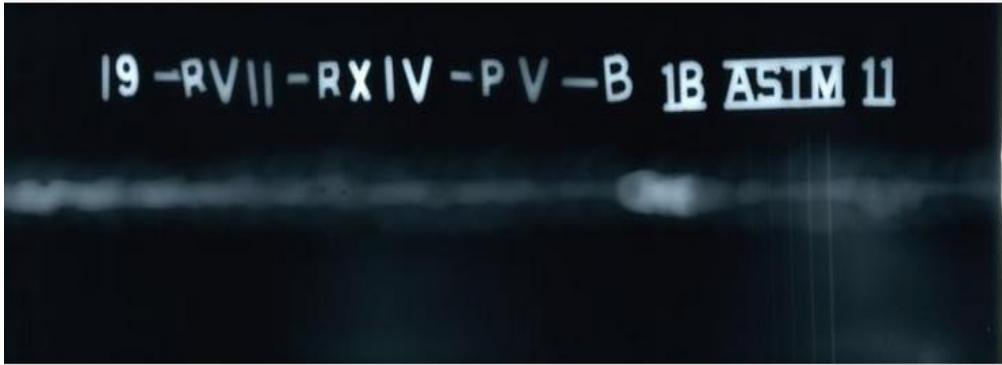
Observaciones: IQI Tipo 1B

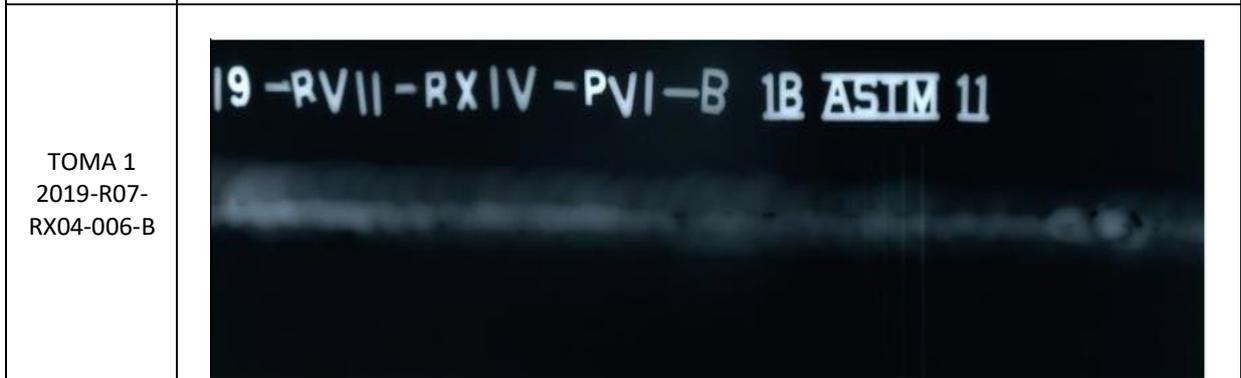
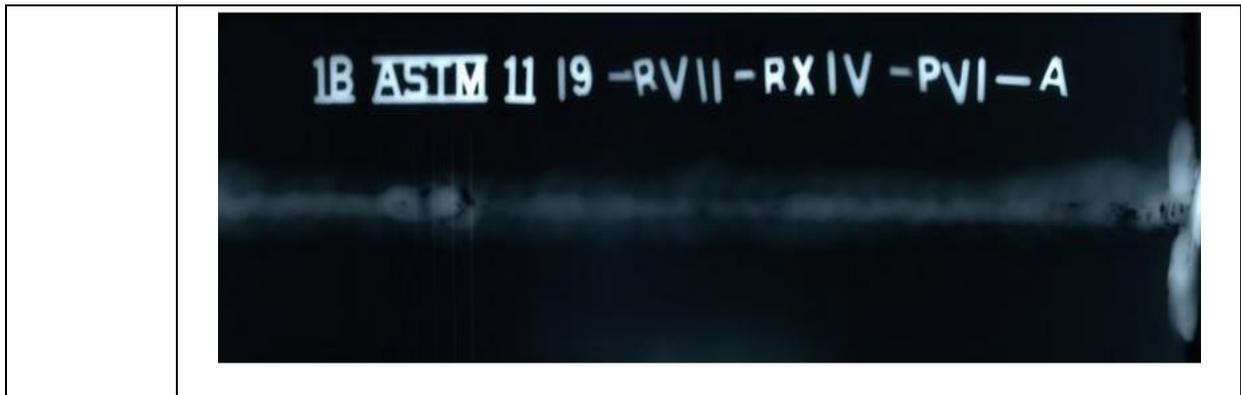
#### Pieza: 2019-R07-RX04-006

Tomas: 2	Kv: 120 kV	mA: 5 mA
----------	------------	----------

Tiempo de Exp: 1 min 3 s	Distancia a la Fuente: 55 cm	Técnica Utilizada: Simple Pared Simple Imagen	
Observaciones: IQI Tipo 1B			
<b>Procesamiento de película</b>			
Temp. Ambiente: 20 °C	T. Revelado: 5 min	T. Parada: 2 min	T. Fijado: 10 min
Baño de Parada: 10 min	T. Lavado Final: NA	T. Lav. Deshumectante: NA	T. de Secado: 30 min
<b>Imágenes Radiográficas</b>			
TOMA 1 2019-R07- RX04-001-A			
TOMA 1 2019-R07- RX04-001-B			
TOMA 1 2019-R07- RX04-002-A			
TOMA 1 2019-R07- RX04-002-B			

	
<p>TOMA 1 2019-R07- RX04-003-A</p>	
<p>TOMA 1 2019-R07- RX04-003-B</p>	
<p>TOMA 1 2019-R07- RX04-004-A</p>	
<p>TOMA 1</p>	

<p>2019-R07- RX04-004-B</p>	
<p>TOMA 1 2019-R07- RX04-005-A</p>	
<p>TOMA 1 2019-R07- RX04-005-B</p>	
<p>TOMA 1 2019-R07- RX04-006-A</p>	



**Interpretación Radiográfica**

**Identificación de Discontinuidades**

Discontinuidades	TOMA 1 2019-R07- RX4-001-A		TOMA 1 2019-R07-RX4-001-B		TOMA 1 2019-R07-RX4-002-A		TOMA 1 2019-R07-RX4- 002-B	
	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)
	Falta de Penetración	---	---	---	---	---	---	---
Fusión Incompleta	110 150	4 3	63 110 160 190	4 2 3 6	---	---	---	---
Penetración excesiva	---	---	---	---	---	---	---	---
Inclusiones de Escoria	---	---	---	---	115 35 195	1 0.5 1	18 176 220	2 0.5 1
Porosidad	---	---	---	---	---	---	---	---
Nido de poros	---	---	---	---	---	---	---	---
Grietas	---	---	---	---	---	---	---	---
Mordeduras	---	---	---	---	---	---	---	---
Escoria Alargada	---	---	---	---	---	---	---	---
Salpicadura	---	---	---	---	---	---	---	---

Observaciones: Distancia medida desde el extremo izquierdo de la placa.

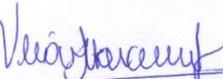
**Identificación de Discontinuidades**

Discontinuidades	TOMA 1 2019-R07- RX4-003-A		TOMA 1 2019-R07-RX4-003-B		TOMA 1 2019-R07-RX4-004-A		TOMA 1 2019-R07-RX4- 004-B	
	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)
Falta de Penetración	---	---	---	---	---	---	---	---
Fusión Incompleta	---	---	---	---	---	---	50	25
Penetración excesiva	---	---	---	---	---	---	---	---
Inclusiones de Escoria	27	0.8	9 8 193 194	1 1 2 1	23 37 158 161	1 2 1 2	212 226	1 3
Salpicadura	---	---	---	---	---	---	---	---
Porosidad	25	1	---	---	---	---	---	---
Nido de poros	---	---	---	---	---	---	---	---
Grietas	---	---	---	---	---	---	---	---
Mordeduras	---	---	---	---	---	---	---	---
Escoria Alargada	---	---	---	---	---	---	---	---
Quemón	---	---	---	---	---	---	---	---
Observaciones: Distancia medida desde el extremo izquierdo de la placa.								
<b>Identificación de Discontinuidades</b>								
Discontinuidades	TOMA 1 2019-R07- RX4-005-A		TOMA 1 2019-R07-RX4-005-B		TOMA 1 2019-R07-RX4-006-A		TOMA 1 2019-R07-RX4- 006-B	
	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)
Falta de Penetración	---	---	---	---	---	---	---	---
Fusión Incompleta	0	130	100	20	5 16 201	4 2 9	---	---
Penetración excesiva	180 195	7 10	158	24	---	---	210	20
Inclusiones de Escoria	---	---	---	---	54 138	1 2	---	---
Porosidad	---	---	98 102	1 0.5	---	---	19 219	1 1
Poros tipo gusano	---	---	---	---	65 72 67	2 2 3	224 231 233 238	2 2 3 2
Nido de Poro	---	---	---	---	213	20	---	---
Grietas	---	---	91	3	---	---	---	---
Mordeduras	170	55	35 32	4 2	---	---	10 20	2 5

			215	2			15 30 130 142 148 167 88	3 8 3 2 5 6 4
Escoria Alargada	---	---	---	---	---	---	---	---
Otros:	---	---	---	---	---	---	---	---
Falta de Penetración	---	---	---	---	---	---	---	---
Salpicaduras	---	---	---	---	---	---	---	---

Penetración excesiva	180 195	7 10	158	24	---	---	210	20
Inclusiones de Escoria	---	---	---	---	54 138	1 2	---	---
Porosidad	---	---	98 102	1 0.5	---	---	19 219	1 1
Poros tipo gusano	---	---	---	---	65 72 67	2 2 3	224 231 233 238	2 2 3 2
Nido de Poro					213	20		
Grietas	---	---	91	3	---	---	---	---
Mordeduras	170	55	35 32 215	4 2 2	---	---	10 20 15 30 130 142 148 167 88	2 5 3 8 3 2 5 6 4
Escoria Alargada	---	---	---	---	---	---	---	---
Otros:	---	---	---	---	---	---	---	---
Falta de Penetración	---	---	---	---	---	---	---	---
Salpicaduras	---	---	---	---	---	---	---	---
Concavidad interna	110	7						

Observaciones: Distancia medida desde el extremo izquierdo de la placa.

Laboratorio de E.N.D		Cliente
Firma: 		Firma:
Elaborado por: Ing. Santiago Camacho Asistente de Ensayos LAB-END		Nombre: Fabián Sanchez. Cargo: Estudiante titulación FIM Contacto: Correo: fabian.sanchez@epn.edu.ec Fecha: 07/05/2019
Firma: 		
Revisado por: Ing. Verónica Sotomayor, Jefe de Laboratorio de Ensayos No Destructivos		
Fecha: 06 de mayo de 2019		

## H. WPS DE LAS PLACAS SOLDADAS

 <b>ESPECIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS)</b> 								
<b>Nombre de la Compañía:</b> EPN <b>PQR No:</b> # <b>Según Norma:</b> AWS D1.1		<b>No. Identificación:</b> Probeta N° 1 FCSTT1 <b>Fecha:</b> 06/01/2020 <b>Realizado por:</b> Sánchez M Edison Fabián <b>Organización:</b> EPN						
<b>ARTICULO I: Junta Utilizada</b>		<b>ARTICULO II: Técnica de Soldadura</b>						
Tipo de Junta: En Tope Tipo de Bisel: N/A Abertura de Raíz: 3 mm Talón: 1 mm Ángulo de Ranura: N/A Placa de Respaldo: Si:        No: X Preparar Bisel: Si: X        No: Método: Cizalla		Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual:    Semiautomática: X    Automática: Soldadura a: Un lado: X                    Dos lados: Cordón de respaldo: Si:        No: X Limpieza: -Pase de raíz:                    Grata metálica -Pases siguientes:                    Grata metálica						
<b>ARTICULO III: Metal Base</b>		<b>ARTICULO V: Posición de Soldadura</b>						
Especificación: Acero Antiabrasivo-400HB Grado 400HB Espesor: 5 mm Longitud: 450 mm Ancho: 150 mm		Posición: 1 G Progresión: Ascendente Técnica: Un pase:                    Varios pases: X Oscilado:                    Recto: X						
<b>ARTICULO IV: Metal de Aporte</b>		<b>ARTICULO VI: Características Eléctricas</b>						
Diámetro: 0,9 mm Denominación AWS: E81T1-GM Casa Comercial: LINCOLN ELECTRIC Denominación Comercial: 81M		Temperatura: N/A Temperatura entre pases: N/A Tiempo entre pases: N/A						
<b>ARTICULO VII: Gas Protector</b>		<b>ARTICULO VIII: Notas</b>						
Tipo: 100% CO <sub>2</sub> Caudal: 20 – 30 lt/min.		- Comprobar alineación de la junta. -Asegurar una correcta limpieza.						
<b>DETALLE DE LA JUNTA</b>		<b>UNIDADES: mm</b>						
								
<b>ARTICULO X: Variables de Operación</b>								
N° de pases	Metal de Aporte		Corriente		Tensión de Trabajo (voltios)	Velocidad de Avance (mm/min)	Técnica	
	Clase	Diámetro	Tipo y (+/-)	Intensidad (amperios)			Recto	Oscilado
1	E81T1	0,9 mm	DC+	170 A	22,5V	125 mm/min	-----	X
2	E81T1	0,9 mm	DC+	176 A	22,3 V	225 mm/min	-----	X
3	E81T1	0,9 mm	DC+	183A	22,3 V	225 mm/min	-----	X



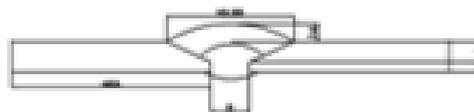
## ESPECIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS)



<b>Nombre de la Compañía:</b> EPN <b>PQR No:</b> # <b>Según Norma:</b> AWS D1.1		<b>No. Identificación:</b> Probeta N° 2 FCSTT2 <b>Fecha:</b> 06/01/2020 <b>Realizado por:</b> Sánchez M Edison Fabián <b>Organización:</b> EPN	
<b>ARTICULO I: Junta Utilizada</b>		<b>ARTICULO II: Técnica de Soldadura</b>	
Tipo de Junta: En Tope Tipo de Bisel: N/A Abertura de Raíz: 3 mm Talón: 1 mm Ángulo de Ramas: N/A Placa de Respaldo: Sí: No: X Preparar Bisel: Sí: X No: Método: Cizalla		Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual: Semiautomática: <b>X</b> Automática: Soldadura a: Un lado: <b>X</b> Dos lados: Cordón de respaldo: Sí: X No: Limpieza: -Pase de raíz: Grata metálica -Pases siguientes: Grata metálica	
<b>ARTICULO III: Metal Base</b>		<b>ARTICULO V: Posición de Soldadura</b>	
Especificación: Acero Antiabrasivo 400HB Grado 400HB Espesor: 5 mm Longitud: 450 mm Ancho: 150 mm		Posición: 1 G Progresión: Ascendente Técnica: Un pase: Varios pases: X Oscilado: Recto: X	
<b>ARTICULO IV: Metal de Aporte</b>		<b>ARTICULO VI: Características Eléctricas</b>	
Diámetro: 0,9 mm Denominación AWS: E81T1-GM Casa Comercial: LINCOLN ELECTRIC Denominación Comercial: 81M		Temperatura: N/A Temperatura entre pases: N/A Tiempo entre pases: N/A	
<b>ARTICULO VII: Gas Protector</b>		<b>ARTICULO VIII: Notas</b>	
Tipo: 100% CO <sub>2</sub> Caudal: 20 – 30 l/min.		- Comprobar alineación de la junta. - Asegurar una correcta limpieza.	

DETALLE DE LA JUNTA

UNIDADES: mm.



### ARTICULO X: Variables de Operación

N° de pases	Metal de Aporte		Corriente		Tensión de Trabajo (voltios)	Velocidad de Avance mm/min	Técnica	
	Clase	Diámetro	Tipo y (+/-)	Intensidad (amperios)			Recto	Oscilado
1	E81T1	0,9 mm	DC+	181A	22,5V	125 mm/min	-----	<b>X</b>
2	E81T1	0,9 mm	DC+	183 A	22,5 V	225 mm/min	-----	<b>X</b>
3	E81T1	0,9 mm	DC+	185A	22,5 V	225 mm/min	-----	<b>X</b>



## ESPECIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS)



<b>Nombre de la Compañía:</b> EPN <b>PQR No: #</b> <b>Según Norma:</b> AWS D1.1		<b>No. Identificación:</b> Probeta N° 3-FCFC1 <b>Fecha:</b> 06/01/2020 <b>Realizado por:</b> Sánchez M Edison Fabián <b>Organización:</b> EPN	
<b>ARTICULO I: Junta Utilizada</b>		<b>ARTICULO II: Técnica de Soldadura</b>	
Tipo de Junta: En Tope Tipo de Bisel: N/A Abertura de Raíz: 3 mm Talón: 1 mm Ángulo de Ramura: N/A Placa de Respaldo: Si: No: X Preparar Bisel: Si: X No: Método: Cizalla		Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual: Semiautomática: <b>X</b> Automática: Soldadura a: Un lado: <b>X</b> Dos lados: Cordon de respaldo: Si: No: X Limpieza -Pase de raíz: Grata metálica -Pases siguientes: Grata metálica	
<b>ARTICULO III: Metal Base</b>			
Especificación: Acero Antiabrasivo 400HB Grado 400HB Espesor: 5 mm Longitud: 450 mm Ancho: 150 mm			
<b>ARTICULO IV: Metal de Aporte</b>		<b>ARTICULO V: Posición de Soldadura</b>	
Diámetro: 0,9 mm Denominación AWS: E81T1-GM Casa Comercial: LINCOLN ELECTRIC Denominación Comercial: 81M		Posición: 1 G Progresión: Ascendente Técnica: Un pase: Varios pases: X Oscilado: Recto: X	
<b>ARTICULO VI: Características Eléctricas</b>		<b>ARTICULO VII: Pre calentamiento</b>	
Tipo de corriente: DC+ Amperaje: 90-190 A Voltaje: 15-27 V		Temperatura: 200°C Temperatura entre pases: N/A Tiempo entre pases: 2.35	
<b>ARTICULO VIII: Gas Protector</b>		<b>ARTICULO IX: Notas</b>	
Tipo: 100% CO <sub>2</sub> Caudal: 20 – 30 lt/min.		- El enfriamiento se realizó en arena a temperatura ambiente -Asegurar una correcta limpieza.	

DETALLE DE LA JUNTA

UNIDADES: mm



### ARTICULO X: Variables de Operación

N° de pases	Metal de Aporte		Corriente		Tensión de Trabajo (volts)	Velocidad de Avance (mm/min)	Técnica	
	Clase	Diámetro	Tipo y (+/-)	Intensidad (amperios)			Recto	Oscilado
1	E81T1	0,9 mm	DC+	99 A	19,1V	125 mm/min	-----	<b>X</b>
2	E81T1	0,9 mm	DC+	200A	23,6V	225 mm/min	-----	<b>X</b>
3	E81T1	0,9 mm	DC+	200A	23,6V	225 mm/min	-----	<b>X</b>



## ESPECIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS)



<b>Nombre de la Compañía:</b> EPN <b>PQR No: #</b> <b>Según Normas:</b> AWS D1.1	<b>No. Identificación:</b> Probeta N° 4 FCPC2 <b>Fecha:</b> 06/01/2020 <b>Realizado por:</b> Sánchez M Edison Fabián <b>Organización:</b> EPN
--	--

<b>ARTICULO I: Junta Utilizada</b>	<b>ARTICULO II: Técnica de Soldadura</b>
------------------------------------	--

Tipo de Junta: En Tope	Proceso de Soldadura: FCAW
Tipo de Bisel: N/A	Tipo de soldadura:
Abertura de Raíz: 3 mm	Manual: Semiautomática: <b>X</b> Automática:
Talón: 1 mm	Soldadura a:
Ángulo de Ranura: N/A	Un lado: <b>X</b> Dos lados:
Placa de Respaldo: Si:           No: <b>X</b>	Cordón de respaldo: Si: <b>X</b> No:
Preparar Bisel: Si: <b>X</b> No:	Limpieza
Método: Cizalla	-Pase de raíz: Grata metálica
	-Pases siguientes: Grata metálica

<b>ARTICULO III: Metal Base</b>	
---------------------------------	--

Especificación: Acero Antiabrasivo 400HB Grado 400HB	
Espesor: 5 mm	
Longitud: 450 mm	
Ancho: 150 mm	

<b>ARTICULO IV: Metal de Aporte</b>	<b>ARTICULO V: Posición de Soldadura</b>
-------------------------------------	--

Diámetro: 0,9 mm	Posición: 1 G
Denominación AWS: E81T1-GM	Progresión: Ascendente
Casa Comercial: LINCOLN ELECTRIC	Técnica: Un pase:           Varios pases: <b>X</b>
Denominación Comercial: 81M	Oscilado:           Recto: <b>X</b>

<b>ARTICULO VI: Características Eléctricas</b>	<b>ARTICULO VII: Precalentamiento</b>
--	---------------------------------------

Tipo de corriente: DC+	Temperatura: 200°C
Amperaje: 90-190 A	Temperatura entre pases: N/A
Voltaje: 15-27 V	Tiempo entre pases: 2.10

<b>ARTICULO VIII: Gas Protector</b>	<b>ARTICULO IX: Notas</b>
-------------------------------------	---------------------------

Tipo: 100% CO <sub>2</sub>	- El enfriamiento se hizo en arena a temperatura ambiente
Caudal: 20 – 30 lt/min.	-Asegurar una correcta limpieza.

DETALLE DE LA JUNTA

UNIDADES: mm



### ARTICULO X: Variables de Operación

N° de pases	Metal de Aporte		Corriente		Tensión de Trabajo (voltios)	Velocidad de Avance	Técnica	
	Clase	Diámetro	Tipo y (+/-)	Intensidad (amperios)			Recto	Oscilado
1	E81T1	0,9 mm	DC+	170 A	22,5V	125 mm/min	-----	<b>X</b>
2	E81T1	0,9 mm	DC+	176 A	22,5 V	225 mm/min	-----	<b>X</b>
3	E81T1	0,9 mm	DC+	183A	22,5 V	225 mm/min	-----	<b>X</b>



## ESPECIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS)



<b>Nombre de la Compañía:</b> EPN <b>PQR. No. #</b> <b>Según Norma:</b> AWS D1.1		<b>No. Identificación:</b> Probeta N° 5 ECPWH11 <b>Fecha:</b> 06/01/2020 <b>Realizado por:</b> Sánchez M Edison Fabián <b>Organización:</b> EPN	
<b>ARTICULO I: Junta Utilizada</b>		<b>ARTICULO II: Técnica de Soldadura</b>	
Tipo de Junta: En Tope Tipo de Bisel: N/A Abertura de Raíz: 3 mm Talón: 1 mm Ángulo de Rampa: N/A Placa de Respaldo: Si: No: X Preparar Bisel: Si: X No: Método: Cizalla		Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual: Semiautomática: <b>X</b> Automática: Soldadura a: Un lado: <b>X</b> Dos lados: Cordón de respaldo: Si: No: X Limpieza: -Pase de raíz: Grata metálica -Pasos siguientes: Grata metálica	
<b>ARTICULO III: Metal Base</b>		<b>ARTICULO V: Posición de Soldadura</b>	
Especificación: Acero Antiabrasivo 400HB Grado 400HB Espesor: 5 mm Longitud: 450 mm Ancho: 150 mm		Posición: 1 G Progresión: Ascendente Técnica: Un pase: Varios pases: X Oscilador: Recto: X	
<b>ARTICULO IV: Metal de Aporte</b>		<b>ARTICULO VII: Pre calentamiento</b>	
Diámetro: 0,9 mm Denominación AWS: E81T1-GM Casa Comercial: LINCOLN ELECTRIC Denominación Comercial: 81M		Temperatura: 200°C Temperatura entre pases: N/A Tiempo entre pases: 2.5	
<b>ARTICULO VI: Características Eléctricas</b>		<b>ARTICULO IX: Notas</b>	
Tipo de corriente: DC+ Amperaje: 90-190 A Voltaje: 15-27 V		- El enfriamiento se hizo en arena a temperatura ambiente	
<b>ARTICULO VIII: Gas Protector</b>			
Tipo: 100% CO <sub>2</sub> Caudal: 20 – 30 lt/min.			

**DETALLE DE LA JUNTA**

**UNIDADES: mm**



### ARTICULO X: Variables de Operación

N° de pases	Metal de Aporte		Corriente		Tensión de Trabajo (voltios)	Velocidad de Avance (mm/min)	Técnica	
	Clase	Diámetro	Tipo y (+/-)	Intensidad (amperios)			Recto	Oscilado
1	E81T1	0,9 mm	DC+	135A	19,2 V	125 mm/min	-----	<b>X</b>
2	E81T1	0,9 mm	DC+	185 A	22,5 V	225 mm/min	-----	<b>X</b>
3	E81T1	0,9 mm	DC+	170A	22,5 V	225 mm/min	-----	<b>X</b>



## ESPECIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS)



<b>Nombre de la Compañía:</b> EPN <b>PQR No:</b> # <b>Según Norma:</b> AWS D1.1	<b>No. Identificación:</b> Probeta N° 6 FCPWHT2 <b>Fecha:</b> 06/01/2020 <b>Realizado por:</b> Sánchez M Edison Fabián <b>Organización:</b> EPN
---	--

<b>ARTICULO I: Junta Utilizada</b>	<b>ARTICULO II: Técnica de Soldadura</b>
Tipo de Junta: En Tope Tipo de Bisel: N/A Abertura de Raíz: 3 mm Talón: 1 mm Ángulo de Ramura: N/A Placa de Respaldo: Sí: No: X Preparar Bisel: Sí: X No: Método: Cizalla	Proceso de Soldadura: FCAW Tipo de soldadura: Manual: Semiautomática: X Automática: Soldadura a: Un lado: X Dos lados: Cordón de respaldo: Sí: X No: Limpieza -Pase de raíz: Grata metálica -Pases siguientes: Grata metálica
<b>ARTICULO III: Metal Base</b>	
Especificación: Acero Antiabrasivo 400HB Grado 400HB Espesor: 5 mm Longitud: 450 mm Ancho: 150 mm	

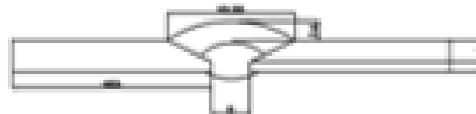
<b>ARTICULO IV: Metal de Aporte</b>	<b>ARTICULO V: Posición de Soldadura</b>
Diámetro: 0,9 mm Denominación AWS: E81T1-GM Casa Comercial: LINCOLN ELECTRIC Denominación Comercial: SIM	Posición: 1 G Progresión: Ascendente Técnica: Un pase: Varios pases: X Oscilado: Recto: X

<b>ARTICULO VI: Características Eléctricas</b>	<b>ARTICULO VII: Pre calentamiento</b>
Tipo de corriente: DC+ Amperaje: 90-190 A Voltaje: 15-27 V	Temperatura: 200°C Temperatura entre pases: N/A Tiempo entre pases: 2.23

<b>ARTICULO VIII: Gas Protector</b>	<b>ARTICULO IX: Notas</b>
Tipo: 100% CO <sub>2</sub> Caudal: 20 – 30 lt/min.	- El enfriamiento se realizó en arena a temperatura ambiente -Asegurar una correcta limpieza.

DETALLE DE LA JUNTA

UNIDADES: mm



### ARTICULO X: Variables de Operación

N° de pases	Metal de Aporte		Corriente		Tensión de Trabajo (voltios)	Velocidad de Avance (mm/min)	Técnica	
	Clase	Diámetro	Tipo y (+/-)	Intensidad (amperios)			Recto	Oscilado
1	E81T1	0,9 mm	DC+	110A	18,5 V	125 mm/min	-----	X
2	E81T1	0,9 mm	DC+	169A	22,5 V	225 mm/min	-----	X
3	E81T1	0,9 mm	DC+	185A	23,56V	225 mm/min	-----	X