



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

### ANÁLISIS DE LA SOLDABILIDAD Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA PLANCHA DE ACERO ANTI ABRASIVO GRADO 450 MEDIANTE EL PROCESO GMAW

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO

**HERNÁNDEZ ALVAREZ VALERIA STEPHANIA**

valeria.hernandez01@epn.edu.ec

**DIRECTOR:**

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

mario.granja@epn.edu.ec

**COLABORADOR:**

**ING. VELASTEGUÍ BALDA GABRIEL EDMUNDO, M.Sc.**

gabriel.velastegui@epn.edu.ec

Quito, abril 2019

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **VALERIA STEPHANIA HERNÁNDEZ ALVAREZ**, bajo nuestra certificación.

---

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

---

**ING. GABRIEL VELASTEGUÍ**  
**COLABORADOR DEL PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Yo, **VALERIA STEPHANIA HERNÁNDEZ ALVAREZ**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mí 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 cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Valeria Stephania Hernández Alvarez

## **DEDICATORIA**

A mi familia que siempre me apoya

A mis profesores, que me ayudaron a llevar adelante este proyecto y que aportaron con su conocimiento a mi crecimiento profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres Antonio y Guillermina pilares fundamentales en mi vida y carrera.

A mi hermano José Enrique por cada aventura vivida.

A mis amigos que siempre me apoyaron y creyeron en mí.

Al Ing. Mario Granja por apoyar y guiar este proyecto.

Al Ing. Gabriel Velasteguí por apoyar y colaborar en este proyecto.

## CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	I
DECLARACIÓN.....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
CONTENIDO .....	V
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT .....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	1
Pregunta de investigación.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos .....	2
1.MARCO TEÓRICO .....	3
1.1.Material Pétreo .....	3
1.1.1.Material Pétreo Natural .....	3
1.1.2.Material Pétreo Sintético .....	3
1.2.Metalurgia de acero anti abrasivo .....	3
1.2.1.Composición Química.....	3
1.2.2.Microestructuras del acero anti abrasivo .....	4
1.3.Principales aleantes en aceros resistente a la abrasión.....	7
1.3.1.Manganeso (Mn).....	7
1.3.2.Fósforo (P).....	7
1.3.3.Azufre(S).....	7
1.3.4.Cromo (Cr).....	7
1.3.5.Níquel (Ni).....	7
1.3.6.Molibdeno (Mo).....	7
1.3.7.Boro (B) .....	7
1.3.8.Vanadio (V).....	8
1.3.9.Titanio (Ti).....	8
1.4.Propiedades y aplicaciones del acero anti abrasivo .....	8
1.4.1.Dureza .....	9
1.4.2.Conformado en frío .....	11
1.4.3.Mecanizado .....	11
1.4.4.Corte térmico .....	11

1.4.5.Soldabilidad .....	11
1.5.Análisis de costos entre acero negro y acero anti abrasivo.....	11
1.6.Proceso de soldadura GMAW.....	13
1.6.1.Tipos de transferencia.....	13
1.6.1.1.Transferencia en spray .....	13
1.6.1.2.Transferencia globular. ....	14
1.6.1.3.Transferencia por corto circuito.....	15
1.7.Alambre MIG ER70S-6 .....	16
1.8.Pre-Calentamiento.....	17
1.8.1.Carbono equivalente.....	17
1.8.2.Temperatura de precalentamiento .....	18
1.7.2.1.Método de Seferián.....	18
1.7.2.2.Criterio de Ito Y Bessyo .....	18
1.7.2.3.Método de la BWRA.....	19
2.METODOLOGÍA.....	20
2.1.Caracterización del metal base .....	20
2.1.1.Ensayo de espectrometría por chispa .....	20
2.1.2.Ensayo de tensión .....	21
2.1.3.Ensayo de dureza .....	22
2.2.Análisis de soldabilidad.....	23
2.2.1.Ensayo de Houldcroft.....	23
2.2.1.1. Criterio de soldabilidad.....	25
2.2.2. Procedimiento para la realización de la soldadura junta con proceso GMAW ...	25
2.2.2.1. Variables principales .....	26
2.2.2.1.1.Intensidad de Corriente .....	26
2.2.2.1.2.Voltaje .....	26
2.2.2.1.3.Velocidad de avance .....	27
2.2.2.2. Variables pre-seleccionadas .....	27
2.2.2.2.1.Diámetro de electrodo.....	27
2.2.2.2.2.Protección Gaseosa .....	27
2.2.2.2.3.Caudal .....	27
2.2.2.3. Variables secundarias.....	27
2.2.2.3.1.Stick out .....	28
2.2.2.3.2.Velocidad de alimentación del alambre .....	28
2.2.2.3.3.Ángulo de inclinación de la pistola .....	28

2.3.Corte y preparación de los cupones de prueba .....	29
2.3.1.Obtención de Placas .....	29
2.3.2.Preparación de la junta soldada .....	29
2.4.Soldadura de placas .....	29
2.4.1.Precalentamiento .....	30
2.5.Preparación de las probetas .....	31
2.5.1.Codificación de placas .....	32
2.5.2.Corte y preparación de probetas .....	32
2.6.Requerimientos de la norma AWS D1.1 .....	33
2.6.1.Criterios de aceptación de los ensayos no destructivos .....	34
2.6.1.1.Ensayos no destructivos .....	34
2.6.2.Criterios de aceptación de los ensayos destructivos .....	35
2.6.2.1.Tensión de sección reducida.....	35
2.6.2.2.Doblado de cara y raíz .....	35
2.7.Realización de ensayos .....	36
2.7.1.Ensayos no destructivos .....	36
2.7.1.1.Inspección Visual .....	36
2.7.1.2.Tintas penetrantes .....	36
2.7.1.2.Radiografías .....	37
2.7.2.Ensayos destructivos .....	40
2.7.2.1.Ensayo de tensión de sección reducida .....	40
2.7.2.2.Ensayos de doblados de cara y raíz .....	41
2.7.2.3.Análisis metalográfico de la junta soldada.....	44
2.7.2.4.Barrido de dureza .....	46
3.RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	48
3.1.Caracterización del metal base .....	48
3.2.Ensayo de soldabilidad .....	50
3.2.1.Ensayo de Houldcroft.....	50
3.3.Ensayos no destructivos .....	53
3.3.1.Inspección Visual .....	53
3.3.2.Tintas penetrantes .....	54
3.3.3.Radiografías .....	54
3.4.Ensayos destructivos .....	55
3.4.1.Ensayos de tracción de sección reducida .....	55
3.4.1.1.Muestras de placa uno .....	56



3.4.1.2.Muestras de placa dos .....	57
3.4.1.3.Muestras de placa tres.....	59
3.4.1.4.Muestra de la placa cuatro.....	60
3.4.2.Ensayos de doblados de cara y raíz .....	61
3.5.Barrido de dureza .....	62
3.5.1.Muestra de la placa uno.....	62
3.5.2.Muestra de la placa dos.....	63
3.5.3.Muestra de la placa tres.....	64
3.5.4.Muestra de la placa cuatro.....	64
3.6.Análisis metalográfico de la junta soldada .....	66
3.6.1.Muestra de la placa uno.....	66
3.6.2.Muestra de la placa dos.....	66
3.6.3.Muestra de la placa tres.....	67
3.6.4.Muestra de la placa cuatro.....	68
4.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	73
4.1.Conclusiones .....	73
4.2.Recomendaciones .....	74
BIBLIOGRAFÍA.....	75
ANEXO.....	77
A. CATÁLOGO DEL METAL BASE.....	77
B. CATÁLOGO DEL ALAMBRE ER70S-6.....	78
C. WPS PLACA 1.....	79
D. WPS PLACA 2.....	80
E. WPS PLACA 3.....	81
F. WPS PLACA 4.....	82
G. ENSAYO DE ESPECTROMETRÍA.....	83
H. ENSAYO DE TENSIÓN Y DUREZA DEL METAL BASE .....	85
I. ENSAYO DE RADIOGRAFÍA .....	87
J. ENSAYO DE TENSIÓN REDUCIDA DE LAS MUESTRAS SOLDADAS .....	91
K. COTIZACIÓN DE VOLQUETAS .....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Fase Hierro-Carbono. ....	4
Figura 1.2. Diagramas de transformación isotérmica de la austenita (a) Sin elementos formadores de carburos (b) Con elementos formadores de carburos. ....	4
Figura 1.3. Presentaciones de la martensita. (a) Placas (b) Listones. ....	5
Figura 1.4. Martensita templada. ....	5
Figura 1.5. Presentaciones de la bainita. ....	6
Figura 1.6. Bainita templada. ....	6
Figura 1.7. Microestructura combinada martensita y bainita. ....	6
Figura 1.8. Aplicaciones del acero anti abrasivo. ....	8
Figura 1.9. Bañera fabricada en acero anti abrasivo. ....	9
Figura 1.10. Cucharón de excavadora fabricado de acero anti abrasivo. ....	9
Figura 1.11. Esquema del ensayo de dureza Brinell. ....	10
Figura 1.12. Ensayo del ensayo de dureza Vickers. ....	10
Figura 1.13. Relación de costos totales ....	12
Figura 1.14. Esquema del proceso GMAW. ....	13
Figura 1.15. Esquema de transferencia en spray. ....	14
Figura 1.16. Esquema de transferencia globular. ....	15
Figura 1.17. Esquema de transferencia por corto circuito. ....	16
Figura 1.18. Microestructura del alambre ER70S-6. ....	16
Figura 2.1. Dimensiones para el ensayo de espectrometría. ....	20
Figura 2.2. Espectrómetro Bruker Q2-ION. ....	21
Figura 2.3. Probetas para ensayo de tensión. ....	21
Figura 2.4. Especificaciones para la probeta de material base. ....	21
Figura 2.5. Máquina de ensayos universal del LAEV. ....	22
Figura 2.6. Dimensionamiento de la probeta para el ensayo de dureza. ....	22
Figura 2.7. Durómetro Brinell LAEV. ....	22
Figura 2.8. Esquema del ensayo de Houldcroft. ....	24
Figura 2.9. Diseño de ranuras en placa para ensayo Houldcroft. ....	24
Figura 2.10. Placa después del ensayo Houldcroft. ....	25
Figura 2.11. Equipo de soldadura GMAW. ....	26
Figura 2.12. Esquema del efecto del stick out del alambre. ....	28
Figura 2.13. Realización del corte de la plancha de acero anti abrasivo grado 450. ...	29
Figura 2.14. Diseño de la junta soldada. ....	29
Figura 2.15. Control de temperatura (a) Temperatura ambiente (b) Temperatura de precalentamiento. ....	31
Figura 2.16. Diagrama de realización de ensayos no destructivos (END). ....	31
Figura 2.17. Diagrama de procedimiento la realización de Ensayos Destructivos. ....	32
Figura 2.18. Codificación de muestras para los ensayos no destructivos. ....	32
Figura 2.19. Dimensionamiento para las muestras. ....	33
Figura 2.20. Máquina de corte por enfriamiento. ....	33
Figura 2.21. Ubicación de las muestras en la placa soldada. ....	34
Figura 2.22. Procedimiento en el ensayo de tintas penetrantes. ....	37
Figura 2.23. Ábaco de exposición en la película STRUCTURIX D7. ....	38
Figura 2.24. Diagrama de operación de la máquina de rayos X. ....	38
Figura 2.25. Dimensiones de probetas para el ensayo de tracción en junta soldada. ....	40
Figura 2.26. Equipo para realizar los ensayos de doblados. ....	41

Figura 2.27. Dimensiones para los ensayo de doblados de cara y raiz .....	42
Figura 2.28. Desbaste grueso.....	44
Figura 2.29. Desbaste fino.....	45
Figura 2.30. Pulido.....	45
Figura 2.31. Sustancia para ataque químico.....	45
Figura 2.32. Equipo para macrografía.....	46
Figura 2.33. Equipo para micrografía.....	46
Figura 2.34. Durómetro.....	46
Figura 2.35. Diagrama TTT de acero al 0.2% C.....	47
Figura 3.1. Dureza del acero anti abrasivo grado 450.....	49
Figura 3.2. Resistencia a la tracción del acero anti abrasivo grado 450.....	49
Figura 3.3. Límite de fluencia del acero anti abrasivo grado 450.....	50
Figura 3.4. Probetas después del ensayo de tracción.....	55
Figura 3.5. Diagrama esfuerzo vs deformación P 1.2.....	56
Figura 3.6. Diagrama esfuerzo vs deformación P 1.6.....	56
Figura 3.7. Diagrama comparativo de las muestras de la placa uno.....	57
Figura 3.8. Diagrama esfuerzo vs deformación P2.2.....	57
Figura 3.9. Diagrama esfuerzo vs deformación P 2.6.....	58
Figura 3.10. Diagrama comparativo de las muestras de la placa dos.....	58
Figura 3.11. Diagrama esfuerzo vs deformación P 3.2.....	59
Figura 3.12. Diagrama esfuerzo vs deformación P3.6.....	59
Figura 3.13. Diagrama comparativo de las muestras de la placa tres.....	60
Figura 3.14. Diagrama esfuerzo vs deformación P 4.2.....	60
Figura 3.15. Diagrama esfuerzo vs deformación P 4.6.....	61
Figura 3.16. Diagrama comparativo de las muestras de la placa cuatro.....	61
Figura 3.17. Barrido de dureza muestra P1.4.....	63
Figura 3.18. Barrido de dureza muestra P2.4.....	63
Figura 3.19. Barrido de dureza muestra P 3.4.....	64
Figura 3.20. Barrido de dureza muestra P4.4.....	65
Figura 3.21. Cuadro comparativo de las durezas según la zona estudiada.....	65
Figura 3.22. Macrografía de la muestra P1.4.....	66
Figura 3.23. Macrografía de la muestra P2.4.....	67
Figura 3.24. Macrografía muestra P3.4.....	67
Figura 3.25. Macrografía de la muestra P4.4.....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Composición química. (Análisis en colada, datos % en masa).....	4
Tabla 1.2. Especificación de penetrador y carga en los distintos ensayos de dureza Rockwell.....	9
Tabla 1.3. Costos de fabricación y total de tolva de 12 m3 .....	12
Tabla 1.4. Especificaciones técnicas del alambre ER70S-6.....	17
Tabla 1.5. Fórmulas para el cálculo del carbono equivalente.....	17
Tabla 2.1. Ensayos de soldabilidad y proceso de aplicación.....	23
Tabla 2.2. Cuantificación de la soldabilidad .....	25
Tabla 2.3. Especificaciones para la soldadura de cupones.....	30
Tabla 2.4. Composición química real del metal base .....	30
Tabla 2.5. Ensayos requeridos por la AWS D1.1 .....	34
Tabla 2.6. Especificaciones para la toma de radiografías.....	37
Tabla 2.7. Factores de corrección.....	39
Tabla 2.8. Condiciones de trabajo.....	40
Tabla 2.9. Comparación de resistencia a la tracción del metal base y material de aporte.....	41
Tabla 2.10. Doblado de cara y raíz de las muestras de la placa uno.....	42
Tabla 2.11. Doblado de cara y raíz de las muestras de la placa dos.....	43
Tabla 2.12. Doblado de cara y raíz de las muestras de la placa tres.....	43
Tabla 2.13. Doblado de cara y raíz de las muestras de la placa cuatro.....	44
Tabla 3.1. Cuadro comparativo de resultados obtenidos espectrometría por chispa...	48
Tabla 3.2. Informe de soldabilidad placa con precalentamiento.....	51
Tabla 3.3. Informe de soldabilidad placa sin precalentamiento.....	52
Tabla 3.4. Resultados de la inspección visual.....	53
Tabla 3.5. Resultados de tintas penetrantes.....	54
Tabla 3.6. Resultados del ensayo de radiografías.....	54
Tabla 3.7. Resultados del ensayo de tensión reducida.....	55
Tabla 3.8. Resultados del ensayo de doblado de cara y raíz.....	62
Tabla 3.9. Resultados del barrido de dureza muestra P1.4.....	63
Tabla 3.10. Resultados del barrido de dureza muestra P 2.4.....	64
Tabla 3.11. Resultados del barrido de dureza muestra P 3.4.....	64
Tabla 3.12. Resultados del barrido de dureza muestra P 4.4.....	65
Tabla 3.13. Análisis micrográfico de la muestra P1.4.....	69
Tabla 3.14. Análisis micrográfico muestra P2.4.....	70
Tabla 3.15. Análisis micrográfico muestra P3.4.....	71
Tabla 3.16. Análisis micrográfico muestra P4.4.....	72

## RESUMEN

El presente trabajo trata sobre el análisis de la soldabilidad de aceros anti abrasivo mediante el proceso GMAW utilizando transferencia por corto circuito. El trabajo se realiza desde el punto de vista estructural y metalúrgico para la etapa experimental se consideran diferentes variables de intensidad de corriente y la consideración del precalentamiento, estos parámetros se consideran para obtener un buen cordón de soldadura, la verificación de los mejores parámetros se realiza con ensayos no destructivos como: Inspección visual, tintas penetrantes y radiografías, así como también con ensayos destructivos: Análisis metalográficos, barrido de dureza , ensayos de tracción, doblado de cara y raíz.

En aceros anti abrasivos los fabricantes consideran el precalentamiento en función de la composición química y el espesor de la plancha, en este trabajo se encontró una relación en función del grado de dureza del acero anti abrasivo. Las mejores condiciones de soldadura son con precalentamiento, debido a la alta dureza del acero utilizado en este trabajo.

**Palabras clave:** Anti abrasivo, precalentamiento, dureza, GMAW.

## **ABSTRACT**

The present work deals with the analysis of the weldability of anti abrasive steels through the GMAW process using short circuit transfer. The work is carried out from the structural and metallurgical point of view for the experimental stage up to the intensity variables of the current and the preheating forecast. with non-destructive tests such as: Visual inspection, penetrating inks and radiographs, as well as with destructive tests: Metallographic analysis, hardness scanning, tensile tests, face and root bending.

In this article there is a relation in the hardness grade function of the anti abrasive steel. The best welding conditions are with preheating.

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

# **ANÁLISIS DE LA SOLDABILIDAD Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA PLANCHA DE ACERO ANTI ABRASIVO GRADO 450 MEDIANTE EL PROCESO GMAW**

## **INTRODUCCIÓN**

Al considerar la demanda de un acero que presente los requisitos para la fabricación de equipos expuestos a trabajos con material pétreo, 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 propiedades mecánicas a las que está sometido, sin embargo el desgaste debido a los materiales pétreos no está considerado, por lo que pocas empresas 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, (Bagant, 2018)

Este trabajo plantea el desarrollo experimental del análisis 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 (450 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**

Analizar la soldabilidad y propiedades mecánicas del acero anti abrasivo grado 450.

## **Objetivos específicos**

- ❖ Caracterizar las propiedades mecánicas del acero anti abrasivo grado 450 en la junta soldada.
- ❖ Analizar la soldabilidad del acero anti abrasivo grado 450.
- ❖ Realizar un análisis metalográfico en la junta soldada.



# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Material Pétreo**

Los materiales pétreos provienen de rocas y según las alteraciones que sufran pueden clasificarse en dos grupos: naturales o sintético. Los materiales pétreos tienen buenas propiedades mecánicas como: dureza, porosidad inercia química, así como su resistencia mecánica, sobre todo su resistencia a compresión siempre que las rocas sean empleadas como elementos de construcción. (Torres, 2018)

### **1.1.1. Material Pétreo Natural**

Los materiales pétreos naturales se encuentran en fragmentos de distintos tamaños (canteras y gravas). Estos se utilizan exclusivamente en el sector de la construcción.

### **1.1.2. Material Pétreo Sintético**

Los materiales pétreos sintéticos sufren transformaciones luego de ser extraídos de las canteras, para ser utilizados en diferentes sectores, en este grupo se encuentran: cerámicos, yeso y refractarios.

## **1.2. Metalurgia de acero anti abrasivo**

La colada utilizada en la producción de acero resistente a la abrasión o anti abrasivo está hecha de mineral de carbono fundido en altos hornos para eliminar sustancias indeseables, en el proceso de fabricación, además se añaden aleantes para garantizar que el acero soporte condiciones difíciles de desgaste. El acero anti abrasivo es fabricado en condición de laminado, y se distribuye en presentación de chapa de diferentes espesores, el acero resistente a la abrasión está diseñado para una larga vida útil.

### **1.2.1. 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 1.1. El cromo y el manganeso se agregan para ayudar a reducir los efectos negativos causados por el desgaste, la concentración en silicio que evita la formación de carburos.

Tabla 1.1. 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: (Arcelor Mittal, 2018).

### 1.2.2. Microestructuras del acero anti abrasivo

Las microestructuras que se pueden presentar en los aceros anti abrasivos o anti desgaste depende del tipo de enfriamiento de la colada, ver Figura 1.1 . Estas pueden ser perlita, bainita, martensita y martensita revenida, debido a los requerimientos técnicos de su dureza.

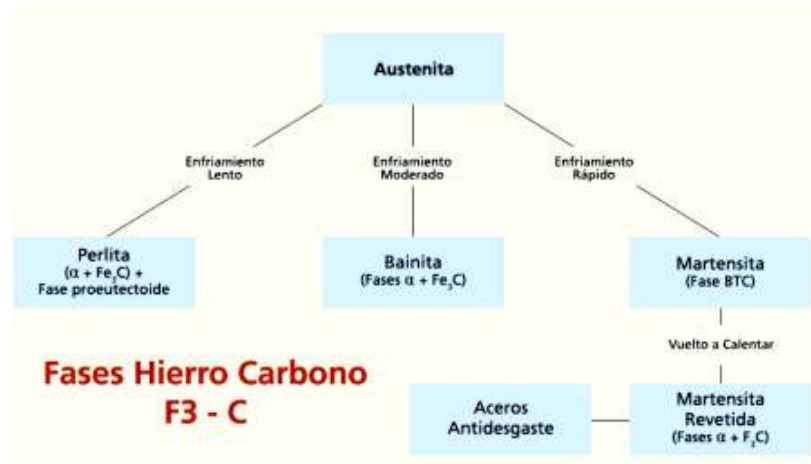


Figura 1.1. Fase Hierro-Carbono.

Fuente: (Villar, 2009).

En función de la composición química del metal base se debe considerar si los aleantes presentes pueden formar carburos, esta consideración se realiza para realizar de manera correcta los diagramas de transformación, ver Figura 1.2

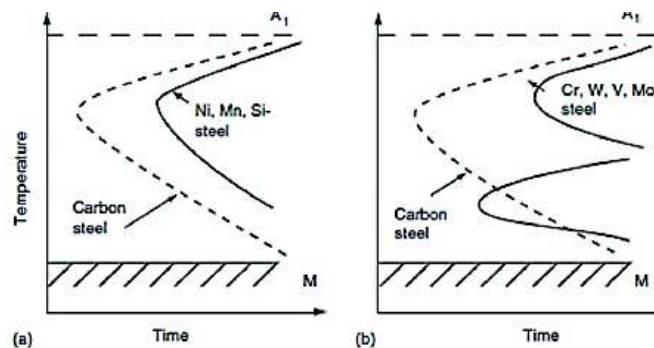


Figura 1.2. Diagramas de transformación isotérmica de la austenita (a) Sin elementos formadores de carburos (b) Con elementos formadores de carburos.

Fuente: (Krauss, 2005).

Del diagrama de transformación el carbono y el manganeso expanden la zona de austenita en el diagrama de fase de Fe-C, disminuyendo la temperatura de descomposición de la austenita. Si esta temperatura está cerca de la temperatura de inicio de martensita, se limitará la transformación de fase controlada por difusión necesaria para formar bainita superior. (Edison Welding Institute, 2018)

La martensita se forma en los aceros cuando la velocidad de enfriamiento de la austenita es lo suficientemente rápida. Es un componente muy duro, debido al carbono que se encuentra atrapado en una solución sólida. (Scott, 1991)

La martensita es una microestructura presente en aceros duros y de bajo contenido de carbono, se puede visualizar de dos maneras: listones y placas, en estado puro, ver Figura 1.3, la martensita en estado templado se puede observar en la Figura 1.4.

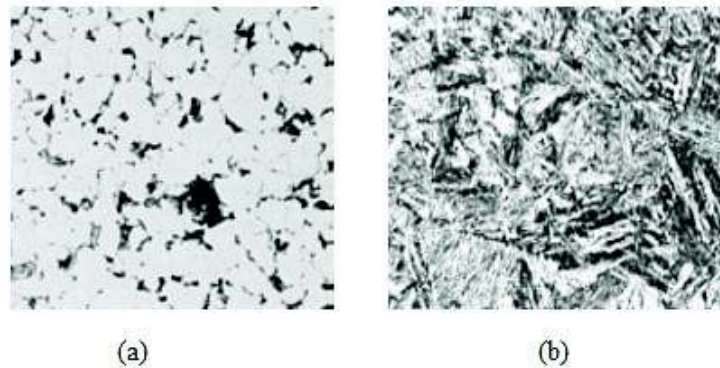


Figura 1.3. Presentaciones de la martensita. (a) Placas (b) Listones.  
Fuente: (Scott, 1991).

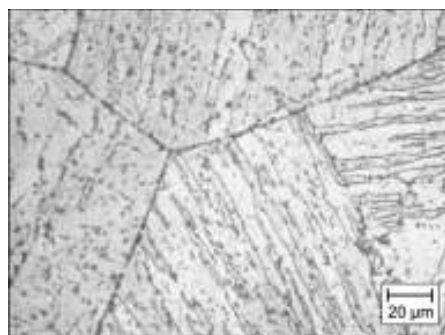
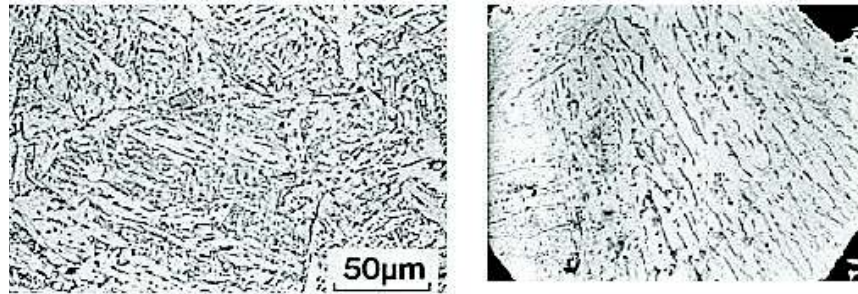


Figura 1.4 Martensita templada.  
Fuente: (ASM Handbook, 1992).

La bainita se forma a velocidades de enfriamiento más lentas que las de la formación de martensita y más rápidas que las de la formación de ferrita y perlita. Hay dos formas de bainita, conocidas como bainita superior e inferior, ver Figura 1.5.



Bainita superior

Bainita inferior

Figura 1.5. Presentaciones de la bainita.

Fuente: (TWI Ltd, 2018).

Ambas microestructuras son efectivas en el fortalecimiento de aceros; sin embargo, la martensita no tratada y la bainita superior tienen un impacto negativo en la tenacidad. En comparación, la martensita de listón templado y la bainita templada, ver Figura 1.7 impacta positivamente la tenacidad (Peet, 2010).

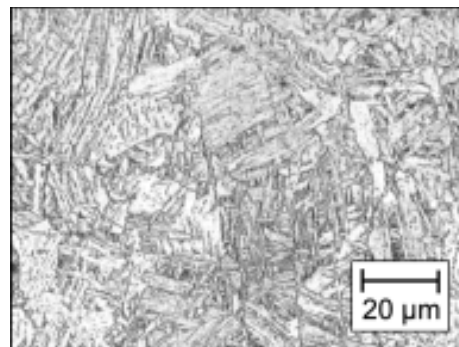


Figura 1.6. Bainita templada.

Fuente: (ASM Handbook, 1992).

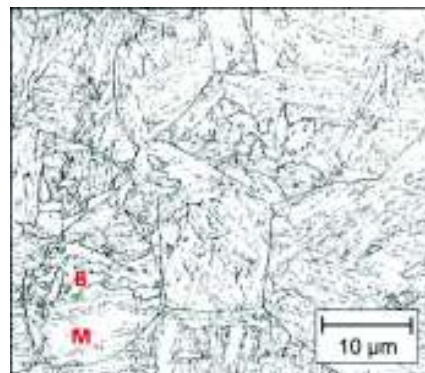


Figura 1.7. Microestructura combinada martensita y bainita.

Fuente: (ASM Handbook, 1992).

### **1.3. Principales aleantes en aceros resistente a la abrasión**

#### **1.3.1. Manganeso (Mn)**

Este elemento mejora resistencia, templabilidad, siendo interesante destacar que es un elemento de aleación relativamente barato, este aleante proporciona equilibrio entre el azufre y oxígeno (Biltra, 2018)

El manganeso actúa como desoxidante, con la ayuda del oxígeno, evitando que se desprendan gases indeseables durante la solidificación del acero

#### **1.3.2. Fósforo (P)**

Este aleantes se agrega en bajas cantidades, por debajo del 0.04%, cantidad que tiende a disolverse en ferrita, aumentando ligeramente la resistencia y la dureza. (Universidad Autónoma de Madrid, 2018)

#### **1.3.3. 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, con hierro que tiende a concentrarse en las fronteras de grano. Para contrarrestar los efectos del azufre se agrega manganeso. (Universidad Autónoma de Madrid, 2018)

#### **1.3.4. Cromo (Cr)**

Aumenta la profundidad del endurecimiento y mejora la resistencia al desgaste y corrosión.

#### **1.3.5. Níquel (Ni)**

Este elemento es el encargado de mejorar las propiedades del tratamiento térmico reduciendo la temperatura de endurecimiento y distorsión al ser templado. Al emplearse conjuntamente con el Cromo, aumenta la dureza y la resistencia al desgaste. (Morral, Jimeno, & Molera, 2004)

#### **1.3.6. Molibdeno (Mo)**

Este elemento proporciona gran resistencia a la tracción, resistencia a la fluencia y mejora la templabilidad.

#### **1.3.7. 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.

### 1.3.8. Vanadio (V)

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

### 1.3.9. Titanio (Ti)

Este elemento es utilizado en aceros de alta gama y en bajas cantidades, actúa como desoxidante y tiene la capacidad de afinar el grano.

## 1.4. 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 caracteriza por tener buenas propiedades en dureza, tenacidad, resistencia mecánica, muy buena resistencia a la deformación plástica y al desgaste por impacto. (Arcelor Mittal, 2018)

Dentro de las aplicaciones más importantes del acero anti abrasivo se encuentra en el transporte de material pétreo, cajones de volquetas, cajones de equipo pesado, ver Figura 1.8 y Figura 1.9. En la industria minera, en la fabricación de excavadoras, ver Figura 1.10 mezcladoras, transportadoras, en la industria cementera en trituradoras y cubetas.



Figura 1.8. Aplicaciones del acero anti abrasivo.  
Fuente: (Villar, 2009).



Figura 1.9. Bañera fabricada en acero anti abrasivo.  
Fuente: (Industria Zamarbú S.L, 2018).



Figura 1.10. Cucharon de excavadora fabricado de acero anti abrasivo.  
Fuente: (Project Plant Shop, 2018).

#### 1.4.1. Dureza

La dureza de los aceros se puede manifestar en tres escalas diferentes: Rockwell, Brinell y Vickers, las cuales están 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 o cónico de diamante o una esfera de acero o metal duro), como se muestra en 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.

Tabla 1.2. Especificación de penetrador y carga en los distintos ensayos de dureza Rockwell.

Indentador	Bola					Cono		
	B	E	F	G	K	A	C	D
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

Fuente: (Universidad Politécnica de Valencia, 2017).



La escala de dureza Brinell se utiliza en materiales con mayor dureza, debido a que el penetrador es una bola de acero extra duros de diámetro (D), que se apoya sobre la probeta ejerciendo sobre la misma una fuerza (P) durante un tiempo (t) dado, ver Figura 1.11, después del ensayo aparece una huella de diámetro d sobre el metal. La dureza Brinell viene definida por:

$$HB = \frac{P}{S}$$

Siendo S la superficie de la huella, casquete esférico. P se expresa en kg fuerza y S en la huella en milímetros cuadrados.

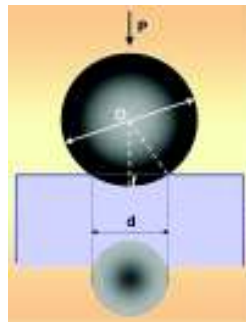


Figura 1.11. Esquema del ensayo de dureza Brinell.  
Fuente: (Universidad Politécnica de Valencia, 2017).

La escala Vickers se utiliza para micro durezas mediante la penetración en él 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° en la superficie que se ensaya, ver Figura 1.12.

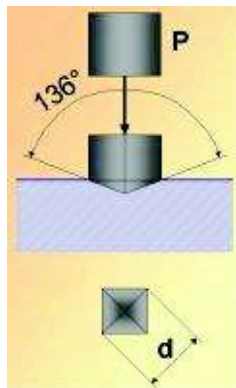


Figura 1.12. Ensayo del ensayo de dureza Vickers.  
Fuente: (Universidad Politécnica de Valencia, 2017).



#### **1.4.2. Conformado en frío**

Debido a su alta dureza, los aceros anti abrasivos tienen ciertas condiciones específicas para el conformado en frío. La deformación del acero disminuye al aumentar la dureza. Este proceso debe llevarse a cabo a baja velocidad y en forma constante, las planchas deben ser precalentadas si el caso lo amerita. Un alivio de tensiones no es necesario para este acero.

#### **1.4.3. Mecanizado**

A pesar de su alta resistencia al desgaste, el acero presenta un buen comportamiento frente al mecanizado mediante el uso de máquinas herramientas suficientemente robustas y la utilización de herramientas de corte de metal duro. La velocidad de corte y de avance se debe ajustar en concordancia a la alta dureza del material.

#### **1.4.4. Corte térmico**

Para este tipo de aceros es preferible la utilización del proceso de oxicorte. Para productos de espesores pequeños, sin embargo, se utiliza el proceso de corte por plasma con el objetivo de una mínima distorsión. Para el proceso de oxicorte normalmente el precalentamiento no es necesario si los espesores son hasta alrededor de 30 mm. Sin embargo, si la temperatura de la pieza de trabajo es inferior a 5 °C, o los bordes cortados deben ser posteriormente procesados por conformado en frío, un precalentamiento a 150 °C se debe considerar con el objetivo de evitar el agrietamiento en frío. (XAR® 450, 2018)

#### **1.4.5. Soldabilidad**

Debido a la composición química, los aceros anti abrasivos, su soldabilidad es restringida. Para prevenir el agrietamiento en frío en las uniones soldadas sólo se deben usar materiales de aporte que generan depósitos con muy bajo contenido de hidrogeno. (XAR® 450, 2018).

### **1.5. Análisis de costos entre acero negro y acero anti abrasivo**

La consideración del cambio de material se realiza debido a sus excelentes propiedades mecánicas, así como también a un análisis de costo, ver

Tabla 1.3. La relación de costo total se encuentra en la Figura 1.13, debido a las diferentes formas de mecanizado para la fabricación de tolvas de volquetas se establece que las partes más críticas para el desgaste son el piso y la compuerta, razón por la cual estas partes serán modificadas con acero anti abrasivo.

Tabla 1.3. Costos de fabricación y total de tolva de 12 m3  
 Fuente: (Bagant, 2018)

Material	Costo de fabricación	IVA (12%)	Costo total
ASTM A-36	12187,41	1462,49	13649,90
HARDOX	13374,00	1604,88	14978,88

Del costo de fabricación de la misma tolva de 12 m3, con los dos aceros se establece la siguiente relación de costos de fabricación.

$$\frac{\text{Hardox}}{\text{ASTM A - 36}} = \frac{13374,00}{12187,41} \approx 1,1$$

$$\text{Hardox} = 1,1 \text{ ASTM A - 36}$$

Con lo cual se garantiza un buen precio considerando las propiedades mecánicas del acero anti abrasivo.

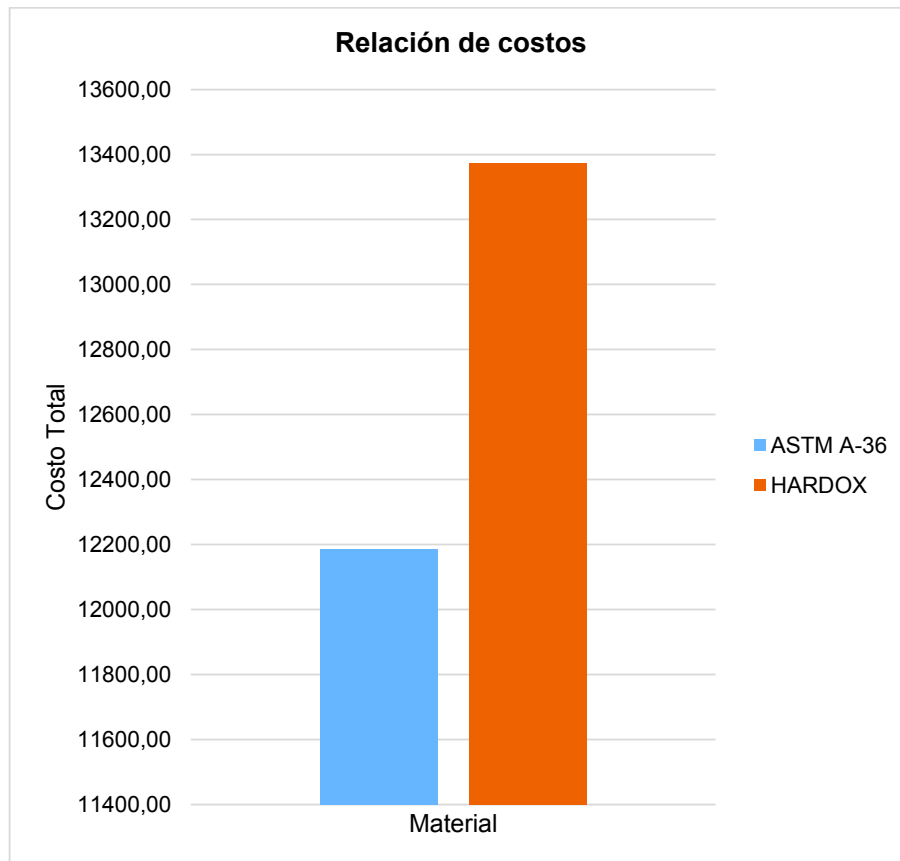


Figura 1.13. Relación de costos totales  
 Fuente: (Bagant, 2018)

## 1.6. Proceso de soldadura GMAW

El proceso de soldadura GMAW (Gas Metal Arc Welding) se define como soldadura por arco utilizando un electrodo consumible continuamente alimentado y un gas de protección, el esquema se representa en la Figura 1.14, este proceso al ser semiautomático garantiza que las soldaduras sean de alta calidad y presentan una alta productividad.

La soldadura GMAW se aplica en la mayoría de aceros, incluso en los aceros al bajo carbono y de baja aleación, los aceros de alta resistencia enfriados por inmersión y templados, los inoxidable, los hierros y aceros cromados o niquelados, súper aleaciones, los metales comerciales importantes, como aluminio, magnesio, cobre, hierro, titanio y zirconio.

La soldadura GMAW tiene dos tipos de clasificaciones, en función del gas de protección, si el gas utilizado es activo, como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), la soldadura se denomina MAG, en caso de utilizar un gas inerte como el argón (Ar) y el helio (He) la soldadura se denomina MIG. (Soldadura y Estructuras, 2018)

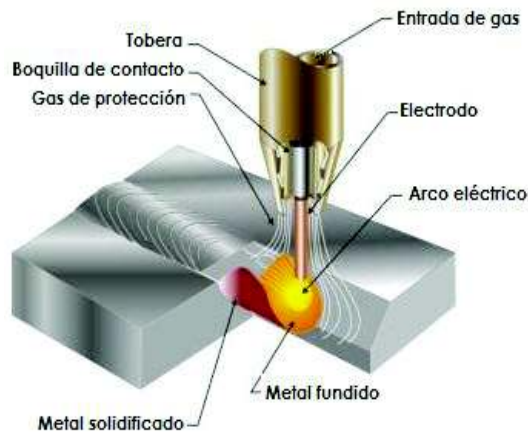


Figura 1.14. Esquema del proceso GMAW.  
Fuente: (Soldadura y Estructuras, 2018).

### 1.6.1. Tipos de transferencia

#### 1.6.1.1. Transferencia en spray

Este modo de transferencia es el de mayor energía para el proceso GMAW, se da bajo protección gaseosa de mezclas de gases ricos en argón. La característica general es la formación de gotas muy finas bajo la acción de las fuerzas electromagnéticas con

independencia de la gravedad y a altas velocidades a través del arco, estas gotas son impulsadas en la dirección del alambre a través del arco hacia el metal base, se estima que se forman entre 500 y 2.000 gotas por segundo, ver Figura 1.15.

El arco resultante es muy estable y con ausencia de salpicaduras, la necesidad de usar altas corrientes da una pileta líquida grande de fusión muy fluida, que hace difícil o imposible su aplicación fuera de la posición plana, en soldaduras de acero al carbono se aplica a espesores grandes de material base, tanto en filetes como soldadura tipo ranura y su aplicación en piezas de pequeño espesor puede producir exceso de penetración, por lo que no se recomienda para metales en presentaciones muy delgadas aunque con el uso de mezclas de gas de protección que contengan más del 10% CO<sub>2</sub> se reduce el perfil de penetración.

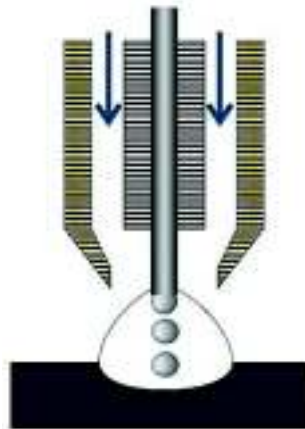


Figura 1.15. Esquema de transferencia en spray.  
Fuente: (Soldadura y Estructuras, 2018)

Se puede utilizar con todas las aleaciones comunes: aluminio, magnesio, acero al carbono, acero inoxidable, aleaciones de níquel y cobre, es aplicable a cualquier alambre sólido y para la mayoría de los diámetros y aleaciones de metal de aporte, el cambio de transferencia a spray se lleva a cabo desde una transferencia globular.

#### **1.6.1.2. Transferencia globular.**

En este modo de transferencia el alambre de aporte se deposita en gotas relativamente grandes por efecto de la gravedad. La forma irregular de las gotas fundidas no siguen un desprendimiento en el eje de alambre, sino que pueden caer fuera del eje del alambre de aporte, como lo muestra la Figura 1.15 esto debido a que desde el metal base se ejercen fuerzas de reacción que suben hacia el electrodo que

son responsables del movimiento de giro hacia arriba de las gotas de metal líquido y por ende de su deformación.

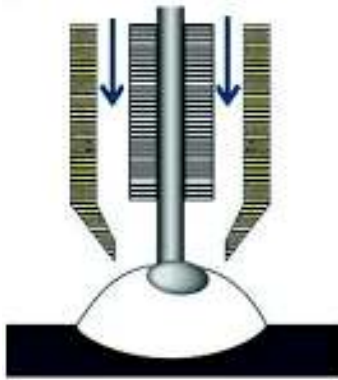


Figura 1.16. Esquema de transferencia globular.  
Fuente: (Soldadura y Estructuras, 2018).

Con gas de protección  $\text{CO}_2$  al 100%, o mezclas de argón con  $\text{CO}_2$ , produce altas corrientes que posibilitan mayor penetración de la soldadura y mayores velocidades que las que se alcanzan con la transferencia por corto circuito y spray.

#### **1.6.1.3. Transferencia por corto circuito.**

Es la forma más usada de transferencia en la soldadura de aceros al carbono fuera de posición plana, en piezas finas y en el proceso MAG es decir con protección de  $\text{CO}_2$  o mezclas que lo contengan. Posee parámetros fundamentales a tener en cuenta para una soldadura exitosa, entre ellos incluimos el diámetro del electrodo que por lo general va desde 0,6 a 1,2 mm de diámetro, el tipo de gas de protección usado  $\text{CO}_2$  al 100%, o una mezcla de 75-80% de Argón, más 25-20% de  $\text{CO}_2$ , el procedimiento de soldadura empleado y dentro de los problemas que podemos adjudicarle estarían los altos niveles de salpicaduras y una tendencia a la falta de fusión de la junta especialmente en juntas de grandes espesores, en la práctica los gases que contienen argón aumentan la frecuencia de cortocircuitos y reducen el tamaño de las gotas líquidas además debemos saber que es fácil escuchar si estamos en este modo de transferencia, a través del ruido producido por los cortocircuitos.

En este proceso una sola gota de metal líquido procedente del alambre se produce durante la fase de cortocircuito del ciclo de transferencia, la gota toca la piletilla de fusión periódicamente aproximadamente de 20 a 200 veces por segundo, ver Figura 1.17. La corriente suministrada por la fuente de alimentación se eleva y el aumento de la corriente acompaña a un aumento de la fuerza magnética aplicada al final de la

punta del electrodo ocurriendo una transferencia de metal de aporte durante estos cortos circuitos por acción de la tensión superficial y fuerzas electromagnéticas.



Figura 1.17. Esquema de transferencia por corto circuito.  
Fuente: (Soldadura y Estructuras, 2018).

### 1.7. Alambre MIG ER70S-6

La selección del alambre para el proceso de soldadura GMAW del acero anti abrasivo grado 450, se realiza bajo la norma AWS 5.18, considerando las aplicaciones de este alambre, entre las que se encuentran: fabricación de estructuras metálicas, tolvas, industria carrocera, carpintería metálica, aceros navales A, B, C, D, E (Indura, 2018). Así como la composición química y propiedades mecánicas del alambre descritas en la Tabla 1.4. Su contenido de silicio y manganeso le confiere excelentes propiedades desoxidantes, lo que asegura una soldadura libre de porosidades en una variedad de trabajos. Está diseñado para aplicaciones en donde se requieren eficiencia y alto grado de deposición.

De la Tabla 1.4, el material de aporte tiene un bajo porcentaje de carbono por lo que presenta microestructura ferrita y perlita, ver Figura 1.18 .

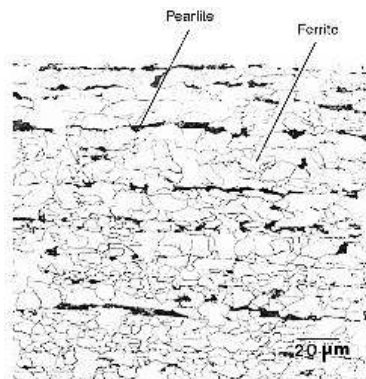


Figura 1.18. Microestructura del alambre ER70S-6.  
Fuente: (ASM Handbook, 1992).

Tabla 1.4. Especificaciones técnicas del alambre ER70S-6.

<b>Análisis típico del alambre (% en peso)</b>				
C	Mn	Si	P	S
0,08	1,44	0,86	0,012	0,014
<b>Propiedades mecánicas del metal depositado</b>				
Gas	Esf. Fluencia en 0.2% MPa	Esf. Máx. de tracción, MPa	Elongación (L=4d),%	Energía absorbida Ch-v
100% CO2	415	530	31	103 J a -30°C
<b>Propiedades de soldadura y especificaciones</b>				
Diámetro [mm]	0,8	0,9	1,2	1,6
Corriente [A]	60-160	90-230	130-340	290-400
Voltaje [V]	14-26	15-27	17-30	26-36
Flujo CO2 [lt/min]	7-12	8-12	12-14	14-16

Fuente: (Indura, 2018)

## 1.8. Pre-Calentamiento

El precalentamiento 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 adecuada de precalentamiento, está en función del carbono equivalente.

### 1.8.1. Carbono equivalente

Existen algunas fórmulas para realizar el cálculo del carbono equivalente (CE) que han sido desarrolladas experimentalmente, en la Tabla 1.5 se encuentran algunas de ellas, este cálculo se lo 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 1.5. Fórmulas para el cálculo del carbono equivalente.

<b>Autor</b>	<b>Fórmula</b>
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).

### 1.8.2. Temperatura de precalentamiento

La temperatura de precalentamiento debe ser la correcta para que el proceso de precalentamiento sea efectivo. Los métodos existentes para determinar la temperatura de precalentamiento 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. Existen algunos métodos para el cálculo de la temperatura de precalentamiento, en este trabajo se considera el método de Seferián como el principal, el criterio de Ito y Bessyo se describe como un complemento.

#### 1.7.2.1. Método de Seferián

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

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

Donde:

- $T_P$  = Temperatura de Precalentamiento Mínima
- $CE_T$  = Carbono Equivalente Total

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

Donde:

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

#### 1.7.2.2. 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).

$$Pcm = C + \frac{Si}{30} + \frac{(Mn + Cu + Cr)}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad ^1$$

$$T_p(^{\circ}C) = 1440 Pcm - 392^{\circ}C \quad ^1$$

Donde:

H representa la cantidad de hidrogeno disuelto en el metal depositado en (cm<sup>3</sup>/100g de metal depositado), se considera un valor de 5 para electrodos de extra bajo hidrógeno, un valor de 6 para electrodos de bajo hidrógeno, valores mayores de 25 para electrodos rufílicos/celulósicos.

### **1.7.2.3. 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 aspectos esenciales, los cuales son:

- 1) Composición química del acero y tipo de electrodo utilizado, lo cual brinda un Índice de la Soldabilidad del mismo (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 nos indica cuan severa 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.

---

<sup>1</sup>Olson, D., Dixon , R., & Liby, A. (1990). "Materials processing theory and practice (Vol. VIII)". USA. Elsevier Science Publishing Company, Inc. pag 381

## 2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizó un acero anti abrasivo grado 450 HB, debido a que es un acero con muy buenas características mecánicas y de fácil obtención en el mercado ecuatoriano, la utilización del proceso GMAW se debe que es un proceso semiautomático muy utilizado en la fabricación de cajones de volquetas y equipo pesado. La determinación de la soldabilidad de este acero se realizará mediante el Ensayo de Houldcroft, en diferentes condiciones 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 cajones de volquetas utilizan espesores de 4 y 6 mm, para sus laterales y el piso respectivamente, 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:

- i. Para espesores menores a 20 mm se deben biselar en V, para espesores superiores se recomienda biselar en X
- ii. Según el espesor de la plancha y el fabricante se recomienda utilizar la adecuada temperatura de precalentamiento.
- iii. El alambre recomendado es el ER70S-X ó ER80S-X

### 2.1. Caracterización del metal base

#### 2.1.1. Ensayo de espectrometría por chispa

Para el análisis de la composición química del acero anti abrasivo grado 450, se realizó 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, disponible en el laboratorio de fundición de la Escuela Politécnica Nacional.

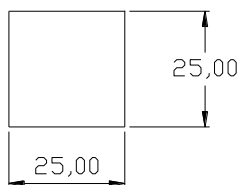


Figura 2.1. Dimensiones para el ensayo de espectrometría.  
Fuente: (Propia).



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

### 2.1.2. Ensayo de tensión

Los ensayos de tensión del metal base se realizan 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 en cualquier forma, incluyendo: placa, alambre, varilla, barra, tubería y tubo, 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).

Para cada uno de este tipo de 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.

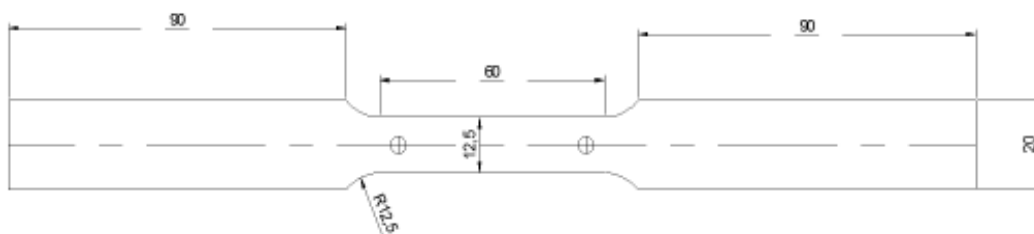


Figura 2.4. Especificaciones para la probeta de material base.  
Fuente: (ASTM E8 / E8M , 2016).



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

### 2.1.3. Ensayo de dureza

El ensayo de dureza del material base se realizó como un ensayo de comprobación de las especificaciones técnicas del acero anti abrasivo grado 450, 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.

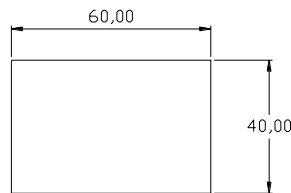


Figura 2.6. Dimensionamiento de la probeta para el ensayo de dureza.  
Fuente: (Propia).



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

## 2.2. Análisis de soldabilidad

El término de soldabilidad se define como "la capacidad de un material para ser soldado bajo las condiciones de fabricación impuestas en una estructura específica, adecuadamente diseñada y para desempeñarse satisfactoriamente en el servicio previsto" (AWS). Existen varios ensayos de soldabilidad: Lehigh Restraint Test, Keyhole Restraint Cracking Test, Houldcroft Crack Susceptibility Test, Keyhole Slotted-Plate Restraint Test. Los mismos que dependen del proceso de soldadura.

Tabla 2.1. Ensayos de soldabilidad y proceso de aplicación

Ensayo	Material Base	Proceso Aplicable	Efecto a estudiar
Finger (Agrietamiento en caliente)	Aceros de alta aleación	GMAW	Efecto transversal de agrietamiento
Houldcroft (Agrietamiento en caliente)	Aceros y aluminio	GMAW  GTAW	Rango de efecto de restricción
Battelle (Agrietamiento en caliente)	Aceros de alta resistencia	GTAW	Restricción semicuantitativa
Lehigh restraint (Agrietamiento en caliente)	Aceros	GMAW	Restricción semicuantitativa
Varestraint (Agrietamiento en caliente)	Aceros de baja y alta aleación	GTAW	Efecto de tensión
Murex (Agrietamiento en caliente)	Aceros	GMAW	Restricción cuantitativa
Root pass	Rellenos de acero	GMAW	Evaluar metal de aporte

Fuente: (Messler, 2004).

### 2.2.1. Ensayo de Houldcroft

La prueba de susceptibilidad al agrietamiento de Houldcroft utiliza un diseño de "espina de pescado" cuyas ranuras son verticales, ver Figura 2.8. Se elige este ensayo debido al agrietamiento en caliente, por su porcentaje de carbono, y debido a que algunos fabricantes consideran el precalentamiento.

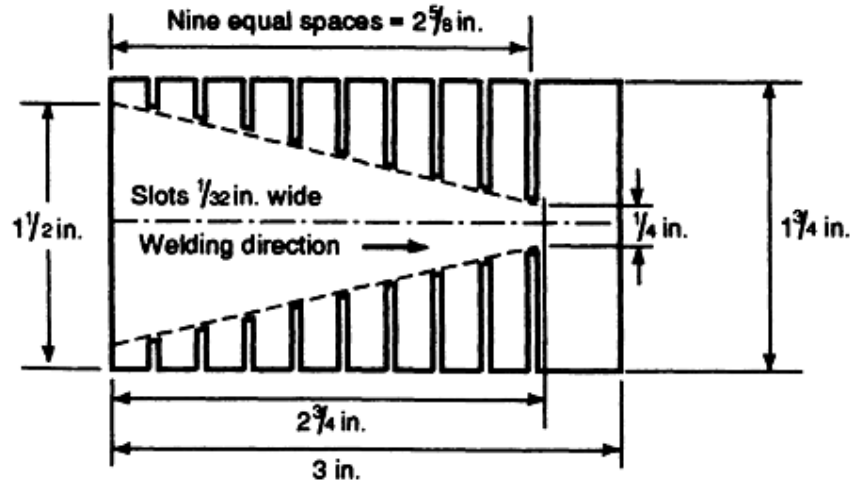


Figura 2.8. Esquema del ensayo de Houldcroft.  
Fuente: (ASM Handbook, 1993).

Se elige este ensayo por la recomendación de Tabla 2.1, así como por su factibilidad de realización. Para la realización del diseño de la “espina de pescado” se procede a dibujar y señalar con marcador, para luego realizar las ranuras, ver la Figura 2.9, los cupones son asegurados en los extremos para la realización de la soldadura.

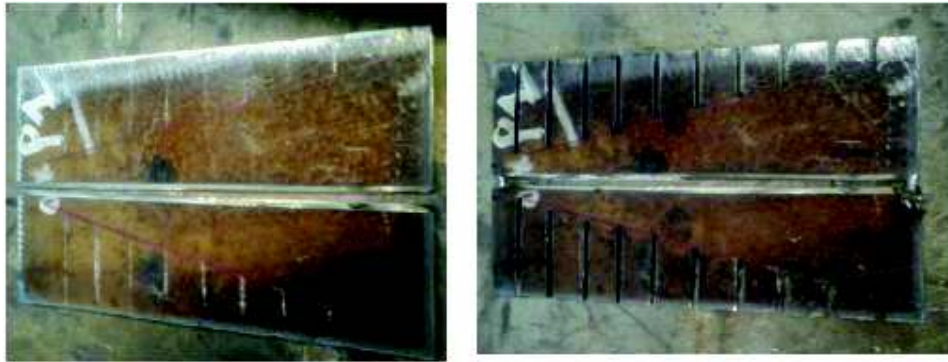


Figura 2.9. Diseño de ranuras en placa para ensayo Houldcroft.  
Fuente:(Propia).

Luego de realizar las ranuras, se procede a marcar la dirección de soldadura, para que el ensayo cumpla todos los requerimientos, ver Figura 2.10. Después se procede a realizar un informe sobre los resultados obtenidos, para determinar si presenta agrietamiento en caliente.



Figura 2.10. Placa después del ensayo Houldcroft.  
Fuente: (Propia).

### 2.2.1.1. Criterio de soldabilidad

El ensayo de soldabilidad Houldcroft se utiliza para evaluar la susceptibilidad al agrietamiento, la soldabilidad se determina en base a una evaluación de las mediciones de la longitud de la grieta.

Se cuantifica en función de la longitud de la grieta: longitud máxima de la grieta (MCL), longitud total de la grieta (TCL) o porcentaje de la longitud de la soldadura, para lo cual se considera la longitud total de la probeta, en este caso es 250 mm, y se considera los factores de longitud sin fisuras (%w), para obtener las longitudes admisibles de las grietas, ver Tabla 2.2 , para evaluar la soldabilidad. ( ASM International, 1997)

Tabla 2.2 Cuantificación de la soldabilidad

Cuantificación de la soldabilidad			
Longitud total de la probeta (250 mm)			
%w	MCL	TLC	Soldabilidad
0,8	50	80	Excelente
0,6	100	120	Buena
0,4	150	180	Mala
*MCL: Longitud máxima del agrietamiento			
*TCL: Longitud total de grietas			

Fuente: (Boellinghaus & Lippold, 2016)

### 2.2.2. Procedimiento para la realización de la soldadura junta con proceso GMAW

La selección del procedimiento de soldadura GMAW se lo realizo considerando las características que brinda, además de ser considerado un proceso semi-automático mejorando el tiempo de soldadura. El procedimiento de soldadura empieza al

seleccionar las diferentes variables, para establecer cuales presentan mejor por fusión de alambre tubular y el metal base, para este trabajo se trabaja con el equipo mostrado en Figura 2.11.



Figura 2.11. Equipo de soldadura GMAW.  
Fuente: (Propia).

### **2.2.2.1. Variables principales**

Las variables principales de un proceso de soldadura son las encargadas de controlar la profundidad de penetración y la geometría del cordón de soldadura.

#### **2.2.2.1.1. 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, 2008)

#### **2.2.2.1.2. 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. (Lincoln Electric, 2008).



### **2.2.2.1.3. Velocidad de avance**

Si se mantienen todos los demás parámetros constantes, cuanto menor sea la velocidad de soldeo mayor será la penetración. Sin embargo, una pistola se puede sobrecalentar si se suelda con intensidad alta y baja velocidad de soldeo. Una velocidad de soldeo alta producirá una soldadura muy irregular.

### **2.2.2.2. Variables pre-seleccionadas**

Estas variables se seleccionan en función del tipo de metal base, el espesor y la posición de soldadura

#### **2.2.2.2.1. Diámetro de electrodo**

Los electrodos o alambres empleados son de diámetros pequeños (0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.6, 2.0, 3.0 y 3.2 mm) y se suministran en bobinas para colocar directamente en los sistemas de alimentación. Al ser los alambres de pequeño diámetro y la intensidad de soldeo bastante elevada, la velocidad de alimentación del electrodo suele ser elevada del orden de 40 a 340 mm/s (2.4 a 20.4 m/min.) para la mayoría de los metales. (Lincoln Electric, 2008)

#### **2.2.2.2.2. Protección Gaseosa**

El gas protector empleado en soldadura MAG es un gas activo, o sea, que interviene en el arco de forma más o menos decisiva. El gas empleado en este trabajo es dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el cual es un gas incoloro, inodoro y de sabor picante, una vez y media más pesado que el aire. Se obtiene industrialmente por la combustión del carbón o compuestos del carbono, en exceso de oxígeno o de aire. (Lincoln Electric, 2008)

#### **2.2.2.2.3. Caudal**

El objetivo fundamental del gas de protección es la de proteger al metal fundido de la contaminación por atmósfera circundante. El caudal de gas, debe ser el apropiado, un caudal bajo generará una protección insuficiente, y un caudal muy alto puede generar turbulencias y formación de remolinos. Se recomienda que éste sea 15 a 20 veces mayor al diámetro del hilo. El caudal de gas dependerá en gran medida del tipo de material base y las condiciones ambientales. (Perez García, 2016)

### **2.2.2.3. Variables secundarias**

Estas variables hacen referencia a factores del equipo, determinados antes de realizar la soldadura.

### 2.2.2.3.1. 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, ver Figura 2.12. Esta variable tiene suma importancia para el soldeo y en especial para la protección del baño de fusión. (Lincoln Electric, 2008)

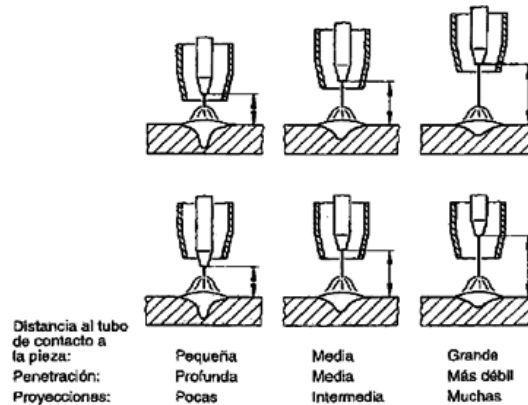


Figura 2.12. Esquema del efecto del stick out del alambre.

Fuente: (Lincoln Electric, 2008).

Cuando aumenta el extremo libre del alambre la penetración se hace más débil y aumenta la de proyecciones. Éstas pueden interferir con la salida del gas de protección y una protección insuficiente puede provocar porosidad y contaminación excesiva. La mayoría de los fabricantes recomiendan longitudes de 6 a 13 mm para transferencia por cortocircuito y de 13 a 25 mm para otros tipos de transferencia.

### 2.2.2.3.2. Velocidad de alimentación del alambre

La velocidad de alimentación del hilo viene recomendado por el fabricante del electrodo y se selecciona en metros por minuto, este número indica la velocidad a la que sale el hilo del tubo de contacto. El ajuste de la velocidad del hilo conllevará un mayor o menor flujo de fundente en la zona a soldar. Si se disminuye la velocidad de hilo y se mantienen el resto de parámetros constantes, lo que ocurre es que aumenta la penetración. Con una velocidad de soldeo alta, se produce una soldadura irregular. (Perez García, 2016)

### 2.2.2.3.3. Ángulo de inclinación de la pistola

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°. (Lincoln Electric, 2008)

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

### 2.3.1. Obtención de Placas

De la plancha de acero se extrae mediante oxicorte, ocho cupones, ver Figura 2.13, los mismos que serán utilizadas en cuatro condiciones diferentes, para analizar su soldabilidad, y determinar las condiciones óptimas para la soldadura de este tipo de acero.



Figura 2.13. Realización del corte de la plancha de acero anti abrasivo grado 450.  
Fuente: (Propia).

### 2.3.2. Preparación de la junta soldada

La preparación de la junta soldada empieza por la preparación del bisel, en este trabajo se considera que cada placa debe tener un bisel de 30°, la representación se muestra en la Figura 2.14, además se considera que el bisel tiene un talón de 1 mm

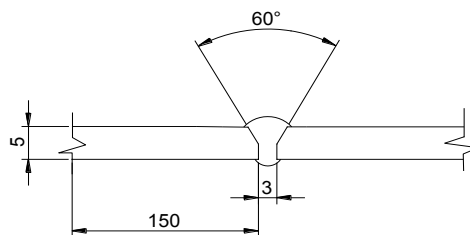


Figura 2.14. Diseño de la junta soldada.  
Fuente: (Propia).

## 2.4. Soldadura de placas

La soldadura de placas, se realiza en cuatro cupones diferentes, para establecer cual presenta mejores características en la junta soldada, ver Tabla 2.3 . En este trabajo se desarrolla la soldadura de las placas, mediante el proceso GMAW.

Tabla 2.3. Especificaciones para la soldadura de cupones.

Cupón	1	2	3	4
Corriente [A]	60	80	65	60
Voltaje [V]	18	22	20	20
Pre calentamiento	N/A	N/A	135 °C Enfriamiento en arena a temperatura ambiente	200 °C

Fuente: (Propia).

### 2.4.1. Pre calentamiento

El pre calentamiento del metal base antes de la soldadura, ayuda a mejorar las propiedades mecánicas y a tener microestructuras homogéneas. La consideración del pre calentamiento, 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 1.5 y con este valor se procede a calcular la temperatura de pre calentamiento, la cual tiene un valor de 135°C. El procedimiento de pre calentamiento se lo realiza mediante llama oxigas y controlado mediante un pirómetro digital, ver Figura 2.15.

Tabla 2.4. Composición química real del metal base

Composición química del metal base		
Carbono	%C	0,197
Manganeso	%Mn	1,254
Cromo	%Cr	0,358
Níquel	%Ni	0,17
Molibdeno	%Mo	0,009
Cobre	%Cu	0,041
Vanadio	%V	0,002
Silicio	%Si	0,451

Fuente: (Propia).

Determinación de la temperatura de pre calentamiento, utilizando las fórmulas de Seferián.

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

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

$$CE_q = 0.386$$

$$CE_T = 0.386(1 + 0.005(5))$$

$$CE_T = 0.3995$$

$$T_p(^{\circ}\text{C}) = 350\sqrt{0.3995 - 0.25}$$

$$T_p(^{\circ}\text{C}) = 135^{\circ}\text{C}$$



Figura 2.15. Control de temperatura (a) Temperatura ambiente (b) Temperatura de precalentamiento.  
Fuente: (Propia).

## 2.5. Preparación de las probetas

Para la realización de los ensayos no destructivos y destructivos después de la realización de la soldadura de las placas, se consideran procedimientos para los ensayos no destructivos ver Figura 2.16 y para los ensayos destructivos la Figura 2.17.

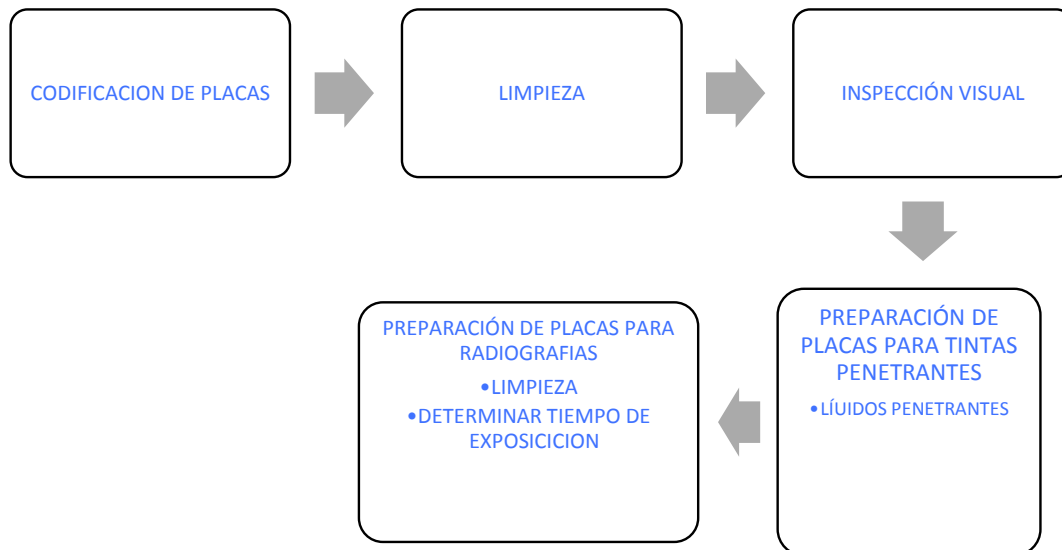


Figura 2.16 Diagrama de realización de ensayos no destructivos (END).  
Fuente: (Propia).



se encuentran en la Figura 2.19. Después de este paso se procede a maquinar las según lo requiera el ensayo.

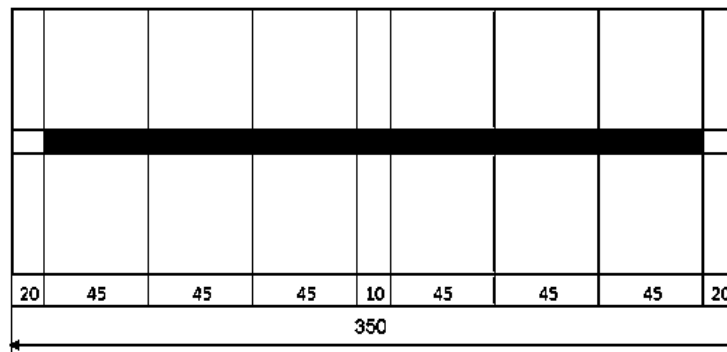


Figura 2.19. Dimensionamiento para las muestras.

Fuente: (Propia).

Los extremos son descartados, debido a que pueden interferir con los ensayos, ya que en los primeros y últimos centímetros se pueden presentar defectos de soldadura.



Figura 2.20. Máquina de corte por enfriamiento.

Fuente: (Propia).

Después del corte cada probeta tiene una diferente preparación dependiendo del ensayo a realizar.

## 2.6. Requerimientos de la norma AWS D1.1

Para la realización de los ensayos destructivos, se requiere algunos requisitos mínimos a cumplirse con la norma AWS D1.1: 2010, ver Figura 2.21 la misma que asigna una posición específica a cada muestra según el ensayo requerido, ver Tabla 2.5. La norma además 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 requeridos por la AWS D1.1

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

Fuente: (American Welding Society, 2010).

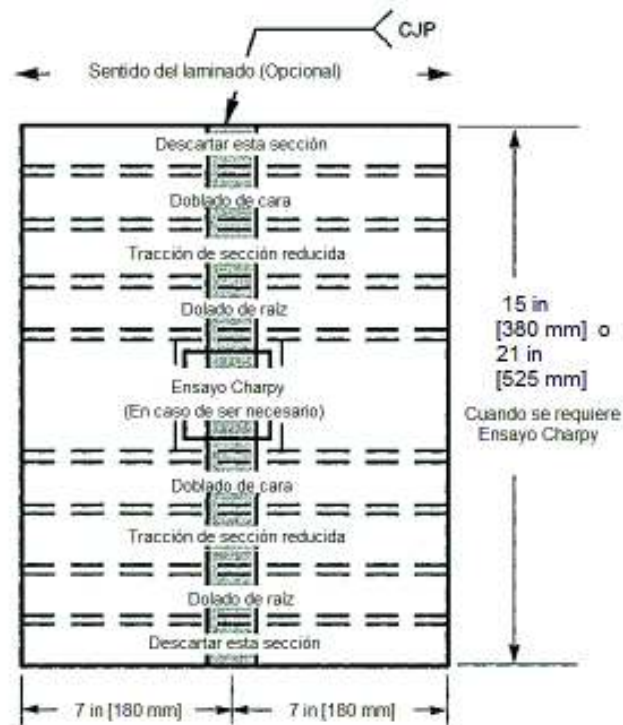


Figura 2.21. Ubicación de las muestras en la placa soldada  
Fuente: (American Welding Society, 2010).

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

### 2.6.1.1. Ensayos no destructivos

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



- (1) La soldadura deberá estar libre de grietas.
- (2) Todos los cráteres deberán llenarse en todo el corte transversal de la soldadura.
- (3) La cara de la soldadura deberá quedar rasante con la superficie del metal base, y la soldadura deberá unirse suavemente (en forma pareja) con el metal base. El socavamiento no deberá exceder 1/32 pulgada [1 mm]. El refuerzo de la soldadura no deberá exceder 1/8 pulgada [3 mm].
- (4) La raíz de la soldadura deberá ser inspeccionada, y no deberá haber evidencia de grietas, fusión incompleta o penetración inadecuada de la unión. Se permite una superficie de raíz cóncava dentro de los límites que se muestran a continuación, siempre que el espesor total de la soldadura sea igual que o mayor a la del metal base.
- (5) La concavidad máxima de la cara de la raíz deberá ser de 1/6 pulgadas [2 mm] y la fusión máxima completa deberá ser 1/8 pulgada [3 mm]. Para las conexiones tubulares en T, Y y K, la fusión total en la raíz es considerada deseable y no deberá ser causa de rechazo.

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

### **2.6.2.1. Tensión de sección reducida**

El ensayo se utiliza para determinar la resistencia a la tensión 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.

Para la aceptación de tiene el siguiente criterio:

El esfuerzo de tensión (carga límite de rotura) no deberá ser menor que el mínimo del rango de tensión especificado del metal base utilizado.

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

La superficie convexa del espécimen muestra 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) 1/8 pulgada [3 mm] medida en cualquier dirección sobre la superficie.

(2) 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].

(3) 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.

## **2.7. Realización de ensayos**

### **2.7.1. Ensayos no destructivos**

Después de realizar la soldadura y codificar las placas respectivamente, se procede a realizar los ensayos no destructivos, los cuales no dañaran o afectaran la superficie de las placas.

#### **2.7.1.1. Inspección Visual**

La inspección de soldadura se realiza con el objetivo de determinar si la soldadura tiene una calidad adecuada y se encuentran dentro de los parámetros establecidos en norma AWS D1.1. Para su aplicación objetivo. Algunos parámetros considerados durante la inspección visual son el tamaño de la soldadura, la falta de continuidad de la soldadura. El tamaño de una soldadura puede ser en extremo importante ya que, a menudo, puede relacionarse directamente con la resistencia de la soldadura y su desempeño relacionado.

#### **2.7.1.2. 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 2.22 para este trabajo se desarrolla el ensayo de tintas penetrantes como un método de respaldo a la inspección visual.

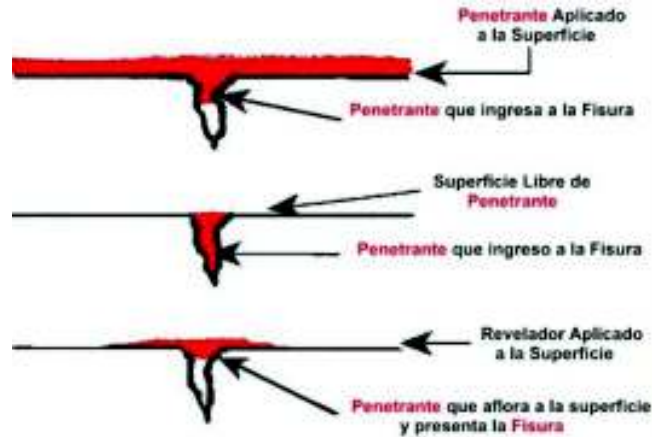


Figura 2.22. Procedimiento en el ensayo de tintas penetrantes.  
Fuente: (Amaya, 2014).

### 2.7.1.2. 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. Este ensayo se lo realiza en el Laboratorio de ensayos no destructivos de la EPN, 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. Especificaciones para la toma de radiografías.

Espesor [mm]	Distancia a la fuente [mm]
5	500

Fuente: (Propia)

La película con la que se trabaja es Structurix D7, en la Figura 2.23 se considera el espesor de la placa a radiografiar y la intensidad de corriente, para determinar el voltaje necesario. En nuestro caso nos indica que el voltaje necesario es de 140kV.

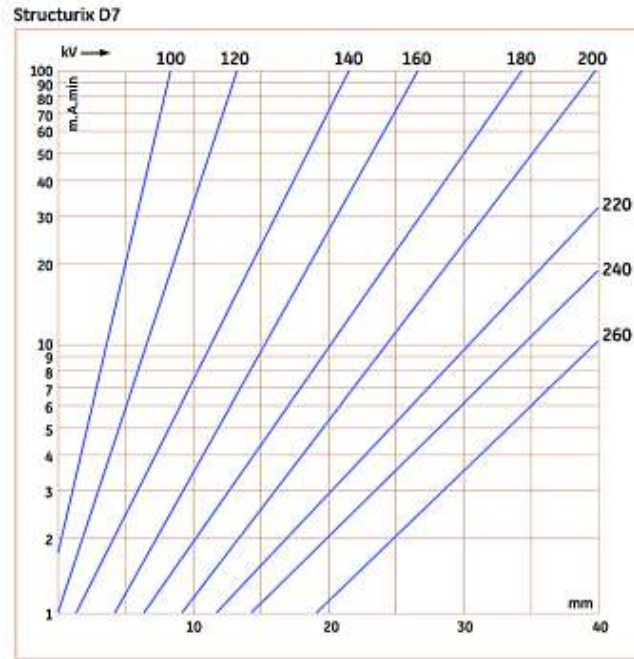


Figura 2.23. Ábaco de exposición en la película STRUCTURIX D7.  
Fuente: (Ilog, 2018).

Del diagrama de operación mostrado en la Figura 2.24 se determina el tiempo de exposición de las placas a radiografiar, en función del espesor, intensidad de corriente y el voltaje.

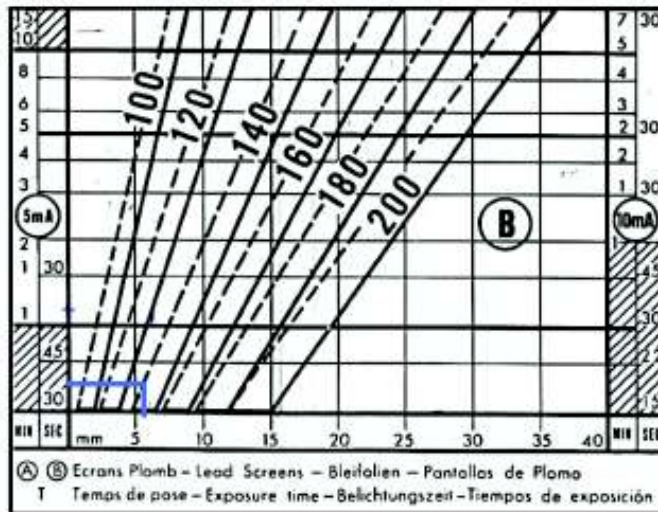


Figura 2.24. Diagrama de operación de la máquina de rayos X.  
Fuente: (Cely, Sotomayor, & Oviedo, 2016).

Pero sin considerar factores como densidad de película, distancia a la fuente y varios, por lo que el tiempo de exposición debe ser multiplicado por factores de corrección, los cuales están en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7. Factores de corrección.

Densidad		Película				Distancia	
N=1	Tx1	GEVAERT		STRUCTURIX		35 cm(14")	Tx0.25
N=1.5	Tx1.6	D10	Tx1	D7	Tx1	50 cm (20")	Tx0.5
N=2	Tx2.2	D7	Tx4	D4	Tx3.7	70 cm (27.5")	Tx1
N=2.5	Tx3	D4	Tx15	D2	Tx15	100 cm (40")	Tx2
		A		B		140 cm (55")	Tx4
						200 cm (80")	Tx8.8

Fuente: (Cely, Sotomayor, & Oviedo, 2016).

Explicación del cálculo del tiempo de exposición para la obtención de radiografías.

$$t_{exp} = t_c \times f_n \times f_p \times f_D \times f_V^2$$

Donde

$t_{exp}$ : Tiempo de exposición.

$t_c$ : Tiempo de diagrama.

$f_n$ : Factor de corrección por densidad.

$f_p$ : Factor de corrección por película.

$f_D$ : Factor de corrección por distancia.

$f_V$ : Factor de corrección por varios (mA, kV, material.)

Desarrollo de la ecuación del tiempo de exposición, con las características propias del acero anti abrasivo grado 450.

$$t_{exp} = t_c \times f_n \times f_p \times f_D \times f_V$$

$$t_{exp} = 38 \times 2.2 \times 1 \times 0.5 \times 1.8$$

$$t_{exp} = 75.24 [s] \cong 75 [s]$$

$$t_{exp} = 1 \text{ minuto y } 15 \text{ segundos}$$

Después de la evaluación de los diferentes parámetros, para el ensayo de radiografía industrial se considera trabajar con los parámetros establecidos en la Tabla 2.8.

<sup>2</sup>Cely, M., Sotomayor, V., & Oviedo, F. (2016). Guía de Prácticas Laboratorio de Ensayos No Destructivos. Ecuador:Escuela Politécnica Nacional.pág 9

Tabla 2.8. Condiciones de trabajo

<b>Voltaje</b>	140kV
<b>Amperaje</b>	5mA
$t_{exp}$	75 segundos

Fuente:(Propia).

## 2.7.2. Ensayos destructivos

Estos ensayos ser realizan después de los no destructivos, debido a que en estos ensayos se utilizaran muestras de diferente ubicación para cada ensayo, según el requerimiento.

### 2.7.2.1. Ensayo de tension de sección reducida

El ensayo de tensión de la junta soldada se realiza con la finalidad de determinar la resistencia a la tracción y el limite de fluencia, asi como garantizar la adherencia entre el metal base y el material de aporte, para ello se considera que la probeta debe cumplir con el dimensionamiento mostrado en Figura 2.25.

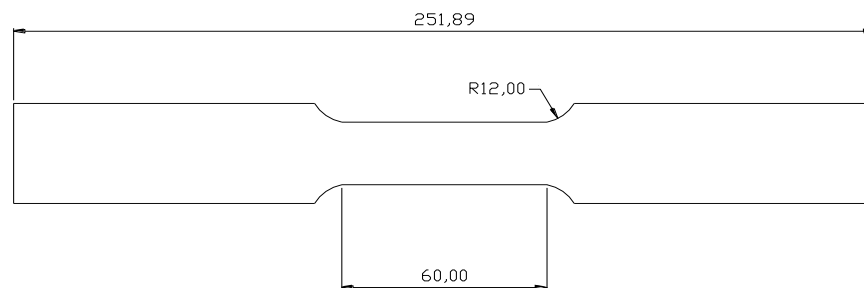


Figura 2.25. Dimensiones de probetas para el ensayo de tracción en junta soldada.

Fuente: (American Welding Society, 2010).

Para este trabajo se realiza la consideración del criterio de aceptación undermatching filler metal<sup>3</sup>, en el que se puede usar metal de relleno con un nivel de resistencia igual o menor que el metal base, esto debido a que en nuestro caso la resistencia del metal base es el doble que la resistencia del material de aporte, ver Tabla 2.9. Po lo que la resistencia a la tracción de la junta soldada deberá tener un valor mayor a 72[Ksi], para ser aprobada.

<sup>3</sup> (American Welding Society, 2010)

Tabla 2.9. Comparación de resistencia a la tracción del metal base y material de aporte.

Material	Resistencia a la tracción		Límite de fluencia	
	St		Sy	
	[MPa]	[ksi]	[MPa]	[ksi]
Metal (HB 450)	1400	203	1200	174
Alambre (ER70S-6)	500	72	410	59

Fuente: (Arcelor Mittal, 2018) (Indura, 2018).

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

Para la realización del ensayo de doblado, se realiza la consideración del lado en el que van a ser realizados, las probetas de doblado de cara deberán colocarse con la cara de la soldadura dirigida hacia la abertura. Los especímenes de doblado de lado deberán colocarse con ese lado que muestre la mayor discontinuidad, si la hubiera, dirigida hacia la abertura. El pistón tubular deberá presionar a la probeta en la plantilla hasta que el espécimen trate de tomar o tome la forma de U, ver Figura 2.26. 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 2.27.



Figura 2.26. Equipo para realizar los ensayos de doblados.  
Fuente: (Propia).

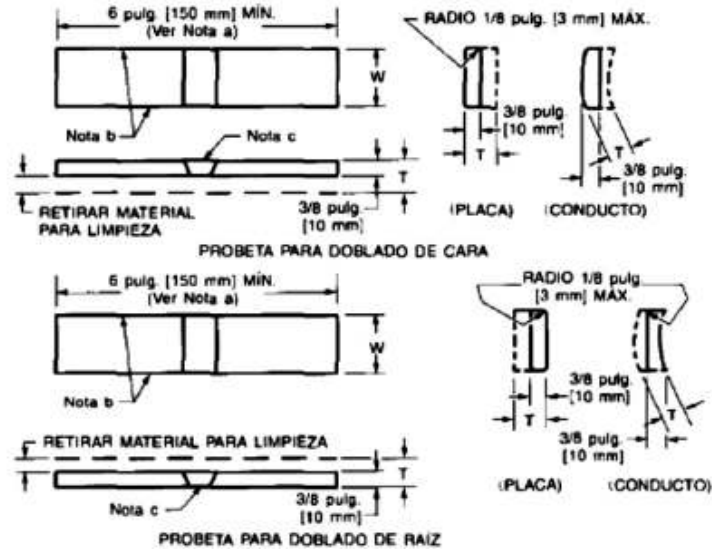


Figura 2.27. Dimensiones para los ensayo de doblados de cara y raiz .  
Fuente: (American Welding Society, 2010).

Después del ensayo de doblado se realiza la inspección de la zona doblada, para identificar defectos superficiales. La identificación de la placa uno se muestra en la Tabla 2.10, los doblados de la placa dos están en la Tabla 2.11, los de la placa tres en la Tabla 2.12 y la placa cuatro en la Tabla 2.12. Cada muestra los defectos superficiales encontrados.


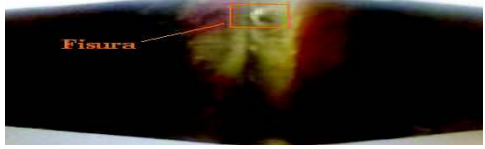


Tabla 2.10. Doblado de cara y raíz de las muestras de la placa uno.

Muestras de la placa 1	
Doblado de cara	Doblado de raíz
En la muestra P1.1 se presentan grietas	La muestra P1.3 presenta una fisura
En la muestra P1.5 se observan mordeduras en los bordes de la junta soldada	Muestra P1.7 presenta fisura en la parte superior

Fuente:(Propia).







Tabla 2.11. Doblado de cara y raíz de las muestras de la placa dos.

Muestras de la placa 2	
Doblado de cara	Doblado de raíz
	
En la muestra P2.1 no presenta discontinuidades	En la muestra P2.5 se observa una fisura
	
En la muestra P2.3 se presenta una fisura	En la muestra P2.7 se observa una separación entre el cordón de soldadura y el metal base





Fuente:(Propia).

Tabla 2.12. Doblado de cara y raíz de las muestras de la placa tres.

Muestras de la placa 3	
Doblado de cara	Doblado de raíz
	
En la muestra P3.1 no presenta discontinuidades	En la muestra P3.5 no presenta discontinuidades
	
En la muestra P3.3 se presenta una fisura	En la muestra P3.7 no presenta discontinuidades

Fuente:(Propia).

Tabla 2.13. Doblado de cara y raíz de las muestras de la placa cuatro.

Muestras de la placa 4	
Doblado de cara	Doblado de raíz
	
En la muestra P4.1 no presenta discontinuidades	En la muestra P4.5 no presenta discontinuidades
	
En la muestra P4.3 no presenta discontinuidades	En la muestra P4.7 no presenta discontinuidades

Fuente:(Propia).

### 2.7.2.3. Análisis metalográfico de la junta soldada

Este ensayo consiste en el estudio de la microestructura de la junta soldada, para realizar este ensayo se sigue el siguiente procedimiento. Para obtener las probetas, se realiza un procedimiento de desbaste grueso, en el equipo mostrado en la Figura 2.28, después se realiza un desbaste fino, el cual se lo realiza mediante lijado ver Figura 2.29 y por último el pulido en el equipo mostrado en la Figura 2.30, luego se realiza un análisis de las microestructuras con la ayuda del microscopio de diferentes regiones dentro del cordón de soldadura para determinar su estructura y la región afectada por el calor, así como el cambio de fase. En el presente trabajo se considera un análisis con ataque químico a las probetas, para observar de mejor manera las características destacables de cada microestructura.



Figura 2.28. Desbaste grueso.  
Fuente:(Propia).



Figura 2.29. Desbaste fino.  
Fuente:(Propia).



Figura 2.30. Pulido.  
Fuente:(Propia).

Para el ataque químico se utiliza el compuesto Nital al 10%, mismo que presenta una solución de alcohol y ácido nítrico, con una concentración de 10 v/v, ver Figura 2.31 la solución es colocada en un pocillo, donde se introduce la cara de la muestra previamente pulida por un tiempo de exposición de 12 segundos.



Figura 2.31. Sustancia para ataque químico.  
Fuente:(Propia).

Luego de realizar el ataque químico se puede diferenciar claramente diferentes zonas en las muestras atacadas. Después de este procedimiento se observa mediante los diferentes microscopios según el caso, macrografía, ver Figura 2.32 o micrografía, ver Figura 2.33.



Figura 2.32. Equipo para macrografía.  
Fuente:(Propia).



Figura 2.33. Equipo para micrografía.  
Fuente:(Propia).

#### 2.7.2.4. Barrido de dureza

Este ensayo se realiza en un durómetro Rockwell, ver Figura 2.34 según la zona a estudiar se selecciona entre las escalas B y C. El ensayo consiste en aplicar una presión deprecara a un indentador sobre la muestra, las precargas son establecidas por la norma ASTM-E15 y con el indentador establecido. Este ensayo permite estudiar el efecto del proceso de soldadura en la dureza del metal base. Según la escala seleccionada se prepara la máquina y su indentador, luego se procede a realizar la precarga establecida en la norma.



Figura 2.34. Durómetro.  
Fuente: (Propia).

Además este ensayo permite establecer la relación de dureza y microestructura del cordón de soldadura, formada por el enfriamiento, esto se demuestra en el diagrama de la Figura 2.35.

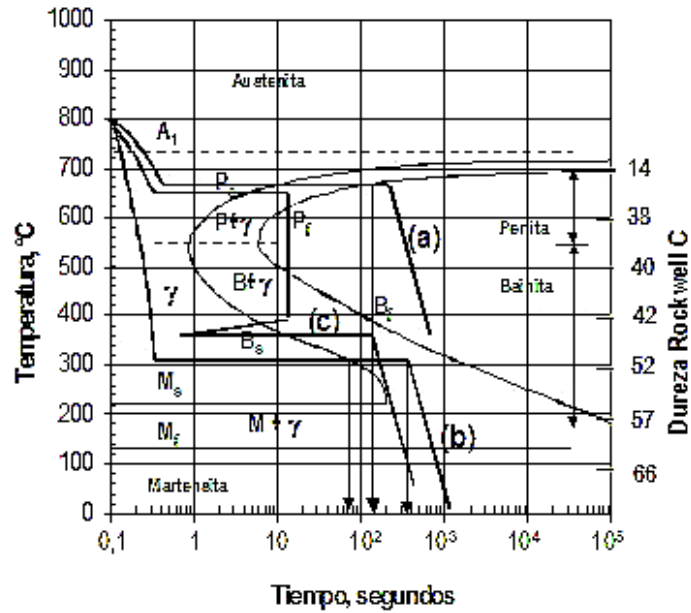


Figura 2.35. Diagrama TTT de acero al 0.2% C.  
Fuente: (Universidad Politécnica de Valencia , 2018).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Caracterización del metal base

Los ensayos realizados en el material base corresponden a la verificación de la composición química y propiedades mecánicas del acero, para garantizar que se está trabajando con un acero anti abrasivo grado 450. El grado del acero anti abrasivo viene dado por la dureza en escala Brinell

En el ensayo de espectrometría por chispa, se establece la composición química del acero anti abrasivo grado 450, ver Tabla 3.1, para su comparación con los valores establecidos por el fabricante, y evaluar la validación del acero.

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

Composición Química			
Elementos		Real	Fabricante HARDOX
<b>Carbono</b>	%C	0,197	0,18
<b>Manganeso</b>	%Mn	1,254	1,3
<b>Cromo</b>	%Cr	0,358	0,1
<b>Níquel</b>	%Ni	0,17	0,1
<b>Molibdeno</b>	%Mo	0,009	0,04
<b>Cobre</b>	%Cu	0,041	-
<b>Vanadio</b>	%V	0,002	-
<b>Silicio</b>	%Si	0,451	0,25
<b>Fosforo</b>	%P	0,012	0,015
<b>Boro</b>	%B	0,0038	0,003
<b>Niobio</b>	%Nb	<0,005	-
<b>Vanadio</b>	%V	<0,003	-
<b>Titanio</b>	%Ti	0,028	-

Fuente:(Propia).

Los valores reales de la composición química del acero anti abrasivo grado 450 se encuentran dentro de los valores establecidos por el fabricante HARDOX, por lo que se confirma que se trata de un acero anti abrasivo grado 450 HB.

En los ensayos de dureza y tracción del material base se determinó que la dureza del material se encuentra dentro del rango establecido por el fabricante, ver Figura 3.1 garantizando que se está trabajando con un acero anti abrasivo grado 450 (HB).

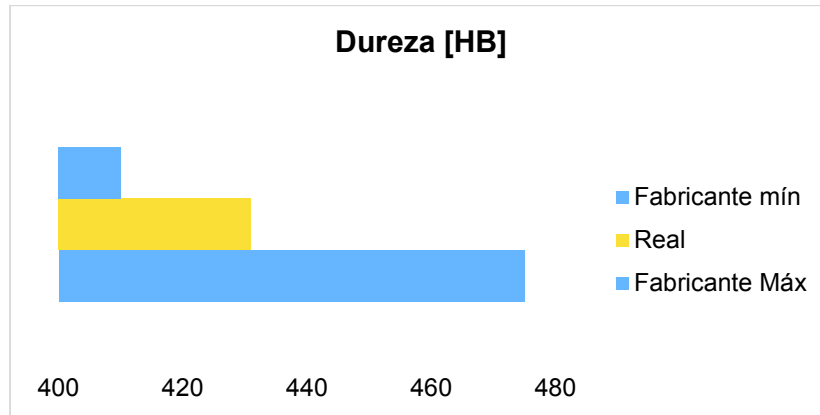


Figura 3.1. Dureza del acero anti abrasivo grado 450.  
Fuente:(Propia).

El acero anti abrasivo grado 450, tiene un rango de dureza de 410-475 [HB] establecido por el fabricante, del ensayo de dureza realizado en el Laboratorio de esfuerzos y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional se determina que la dureza del acero con el que estamos trabajando está dentro del rango establecido.

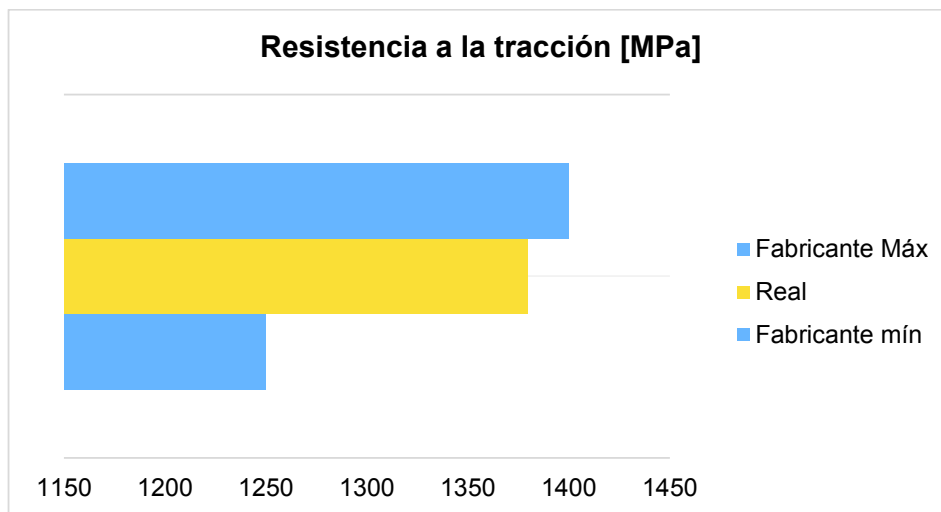


Figura 3.2. Resistencia a la tracción del acero anti abrasivo grado 450.  
Fuente:(Propia).

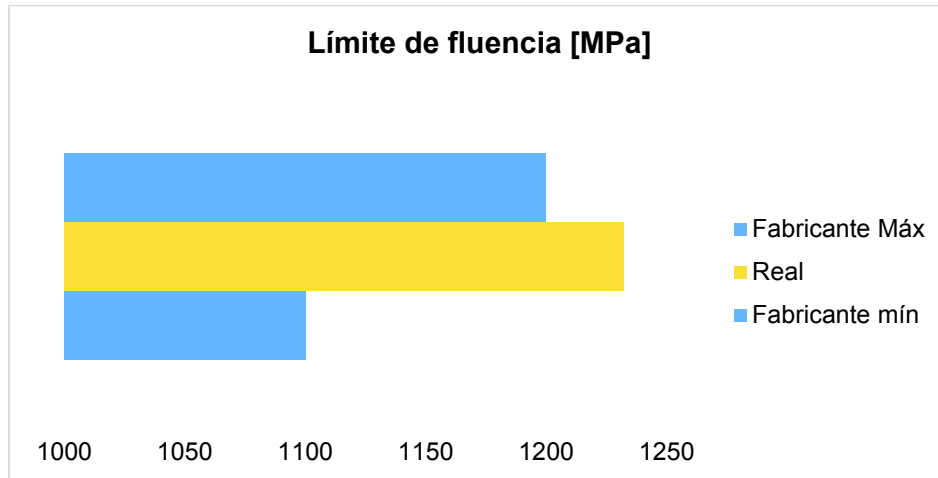


Figura 3.3. Límite de fluencia del acero anti abrasivo grado 450.  
Fuente:(Propia).

El acero anti abrasivo grado 450, tiene un rango de resistencia a la tracción de 1250 a 1400 [MPa] establecido por el fabricante, del ensayo de tracción realizado se determina que la resistencia a la tracción real del acero con el que estamos trabajando está dentro del rango establecido, ver Figura 3.2 mientras que el límite de fluencia es superior al valor máximo establecido por el fabricante, ver Figura 3.3.

## 3.2. Ensayo de soldabilidad

### 3.2.1. Ensayo de Houldcroft

El ensayo de soldabilidad fue realizado, tomando las consideraciones de precalentamiento, así como diferentes condiciones de corriente y voltaje, nos muestra que la soldabilidad es aceptable, debido a que no se observan grietas, o son muy pequeñas y no supera las dimensiones establecidas en la Tabla 2.2, para los dos casos ver Tabla 3.2, se considera una excelente soldabilidad bajo el factor del precalentamiento y en la Tabla 3.3, se considera una soldabilidad buena, debido a la presencia de costras laterales.

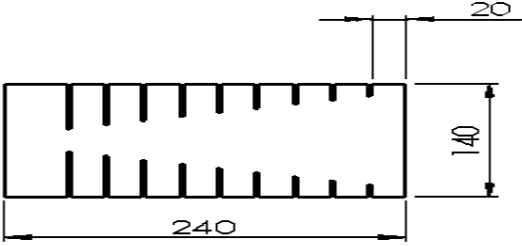




Tabla 3.2. Informe de soldabilidad placa con precalentamiento.

<b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b>			
<b>Nombre</b>		Valeria Stephania Hernández Alvarez	
<b>Lugar y fecha</b>		Quito ,25 de julio,2018	
<b>ANÁLISIS DE SOLDABILIDAD Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA PLANCHA DE ACERO ANTI ABRASIVO GRADO 450 MEDIANTE EL PROCESO GMAW</b>			
Placa de acero anti abrasivo para ensayo Houldcroft Placa con precalentamiento (Tp=135°C)			
<b>Esquema</b>			
Limpiador	Tipo A	Tiempo	N/A
Penetrante	Tipo A	Tiempo	12 minutos
Revelador	Tipo A	Tiempo	10 minutos
<b>RESULTADOS: SOLDADURA EXCELENTE</b>			
<b>Imagen</b>		<b>Zona</b>	<b>Indicaciones</b>
		Toda la probeta	No se observan, discontinuidades relevantes.  No se observan grietas a lo largo del cordón de soldadura.
Revisado por	Ing. Gabriel Velasteguí	Solicitado por	Srta. Valeria Hernández

Fuente:(Propia).

Tabla 3.3. Informe de soldabilidad placa sin precalentamiento.

<b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b>			
Nombre		Valeria Stephania Hernández Alvarez	
Lugar y fecha		Quito ,25 de julio,2018	
ANÁLISIS DE SOLDABILIDAD Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA PLANCHA DE ACERO ANTI ABRASIVO GRADO 450 MEDIANTE EL PROCESO GMAW			
Placa de acero anti abrasivo para ensayo Houldcroft Placa sin precalentamiento			
Esquema			
			
Limpiador	Tipo A	Tiempo	N/A
Penetrante	Tipo A	Tiempo	12 minutos
Revelador	Tipo A	Tiempo	10 minutos
			
<b>RESULTADOS: SOLDADURA BUENA</b>			
Imagen		Zona	Indicaciones
		Toda la probeta	<p>No se observan, discontinuidades relevantes.</p> <p>Se observan pequeñas costras laterales</p> <p>No se observan grietas a lo largo del cordón de soldadura.</p>
Revisado por	Ing. Gabriel Velasteguí	Solicitado por	Srta. Valeria Hernández


Fuente:(Propia).

### 3.3. Ensayos no destructivos

#### 3.3.1. Inspección Visual

La inspección visual es un ensayo no destructivo donde solo se pueden determinar defectos superficiales importantes para su consideración de rechazo, caso contrario se acepta, ver Tabla 3.4

Tabla 3.4. Resultados de la inspección visual.

Inspección visual		
Identificación	Observación	Calificación
 Placa uno	El cordón de soldadura de la placa uno presenta salpicaduras	Aprueba
 Placa dos	En el cordón de soldadura de la placa dos se observa salpicaduras y costras.	Aprueba
 Placa tres	El cordón de soldadura de la placa tres presenta un buen acabado, no se observa fisuramiento, grietas o salpicaduras	Aprueba







Fuente:(Propia).

De los resultados obtenidos se observan que las placas cumplen con los parámetros establecidos en el criterio de aceptación de la AWS D1.1, por lo que se considera que todas las placas tienen calificación aprobada.

### 3.3.2. Tintas penetrantes

Este ensayo mejorar la visibilidad de defectos superficiales que se pueden presentar en las placas, ver Tabla 3.5 . Las observaciones permiten determinar que las placas aprueban el ensayo de tintas penetrantes.

Tabla 3.5. Resultados de tintas penetrantes.

Id	Tintas penetrantes			
	Líquido penetrante	Revelador	Observación	Calificación
Placa Uno			La soldadura de la placa uno presenta salpicaduras, porosidades.	Aprueba
Placa Dos			La soldadura de la placa dos presenta falta de adherencia del metal base y el material de aporte.	Aprueba
Placa Tres			La soldadura de la placa tres presenta salpicaduras	Aprueba

Fuente:(Propia).

### 3.3.3. Radiografías

De las radiografías realizadas se determina que todas cumplen los requerimientos de aceptación establecidos en la norma AWS D1.1: 2015, esto se puede verificar en la Tabla 3.6. El informe radiográfico para la calificación y aceptación se encuentre en el Anexo ENSAYO DE RADIOGRAFÍA

Tabla 3.6. Resultados del ensayo de radiografías.

Identificación	Radiografía	Observación	Calificación
Placa 1	X	Ninguna	Aprueba
Placa 2	X	Fusión incompleta	No aprueba
Placa 3	X	Ninguna	Aprueba

Fuente:(Propia).

### 3.4. Ensayos destructivos

#### 3.4.1. Ensayos de tracción de sección reducida

Del ensayo de tracción se obtienen los resultados de la Tabla 3.7. Los cuales cumplen con el criterio de aceptación, establecido para este trabajo, ver página 35. Además se observa que la resistencia a la tracción es superior a la resistencia dada por el metal de aporte 70 [ksi], por lo que se espera falle en la junta soldada (FJS).

Tabla 3.7. Resultados del ensayo de tensión reducida.

Código	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Deformación	Observación	Calificación
	lbf	N	Ksi	MPa	%		
P1.2	13202	58725	85,5	589,3	15	FJS	Aprueba
P1.6	13320	59250	85,9	592,2	14	FJS	Aprueba
P2.2	13698	60933	88,2	608,4	12	FJS	Aprueba
P2.6	13224	58823	85,4	589,1	17	FJS	Aprueba
P3.2	12726	56606	81,2	560,2	18	FJS	Aprueba
P3.6	12513	55661	80,2	553	14	FJS	Aprueba
P4.2	14039	62449	88,3	608,9	14	FJS	Aprueba
P4.6	14791	65793	88,4	609,2	15	FJS	Aprueba

Fuente:(Propia).

Las probetas después del ensayo presentan diferentes tipos de fallas según el tipo de cuello de botella que tienen en la sección reducida, ver Figura 3.4.



Figura 3.4. Probetas después del ensayo de tracción  
Fuente: (Propia).

### 3.4.1.1. Muestras de placa uno

De la placa uno, se obtuvieron dos probetas para el ensayo de tensión reducida, las cuales están codificadas como P1.2 y P1.6. De las mismas se hace un análisis individual, ver Figura 3.5 y Figura 3.6 respectivamente. Del diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta P1.2, se puede observar que a partir del 10% de deformación el valor de resistencia incrementa linealmente hasta los 500 MPa para luego presentar el esfuerzo máximo de 588 MPa, con una deformación máxima de 15%.



Figura 3.5. Diagrama esfuerzo vs deformación P 1.2.  
Fuente: (Propia).

Del diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta P1.6, mostrado en la Figura 3.6, se puede observar que a partir del 9% de deformación el valor de resistencia incrementa linealmente hasta los 500 MPa para luego presentar el esfuerzo máximo de 590 MPa, con una deformación máxima de 14%.



Figura 3.6. Diagrama esfuerzo vs deformación P 1.6.  
Fuente: (Propia).

Las muestras P1.2 y P1.6 tienen valores semejantes, mientras que el diagrama comparativo se observa que la probeta P1.2 tiene mayor porcentaje de deformación, con un valor de resistencia mayor, ver Figura 3.7.

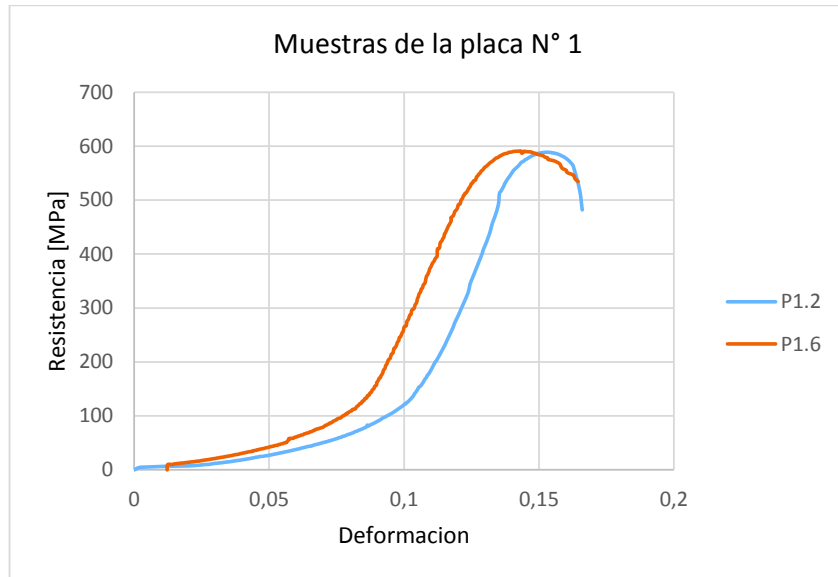


Figura 3.7. Diagrama comparativo de las muestras de la placa uno.  
Fuente:(Propia).

### 3.4.1.2. Muestras de placa dos

Del diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta P2.2, ver Figura 3.8, se puede observar que a partir del 9% se tiene un crecimiento lineal en la resistencia hasta obtener un valor máximo de 605 MPa con una deformación del 12%.



Figura 3.8. Diagrama esfuerzo vs deformación P2.2.  
Fuente:(Propia).

Del diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta P2.6, ver Figura 3.9, se puede observar que a partir del 12% se tiene un crecimiento lineal en la resistencia hasta obtener un valor máximo de 588 MPa con una deformación del 16%.



Figura 3.9. Diagrama esfuerzo vs deformación P 2.6.  
Fuente: (Propia).

Del diagrama comparativo, ver Figura 3.10 se determina que la probeta P2.6 tiene mayor porcentaje de deformación, 16%, mientras que la probeta P2.2 presenta un mejor valor de resistencia 605 MPa.

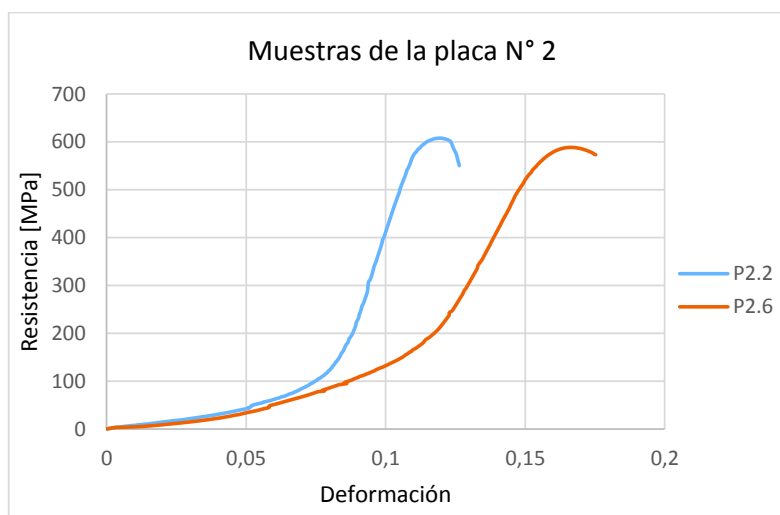


Figura 3.10. Diagrama comparativo de las muestras de la placa dos.  
Fuente: (Propia).



### 3.4.1.3. Muestras de placa tres

Del diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta P 3.2, ver Figura 3.11 se puede observar que a partir del 12% de deformación se tiene un crecimiento lineal en la resistencia hasta obtener un valor máximo de 558 MPa con una deformación final del 16%.



Figura 3.11. Diagrama esfuerzo vs deformación P 3.2.  
Fuente: (Propia).

Del diagrama de esfuerzo vs deformación de la probeta P 3.6, ver Figura 3.12 se puede observar que a partir del 9% de deformación se tiene un crecimiento lineal en la resistencia hasta obtener un valor máximo de 550 MPa con una deformación final del 14%.



Figura 3.12. Diagrama esfuerzo vs deformación P3.6.  
Fuente: (Propia).

En el diagrama de comparación de las muestras, ver Figura 3.13 se observa que la probeta P 3.2 tiene un mejor comportamiento en el porcentaje de deformación 18%, mientras que la probeta P 3.6 tiene una deformación del 14%.

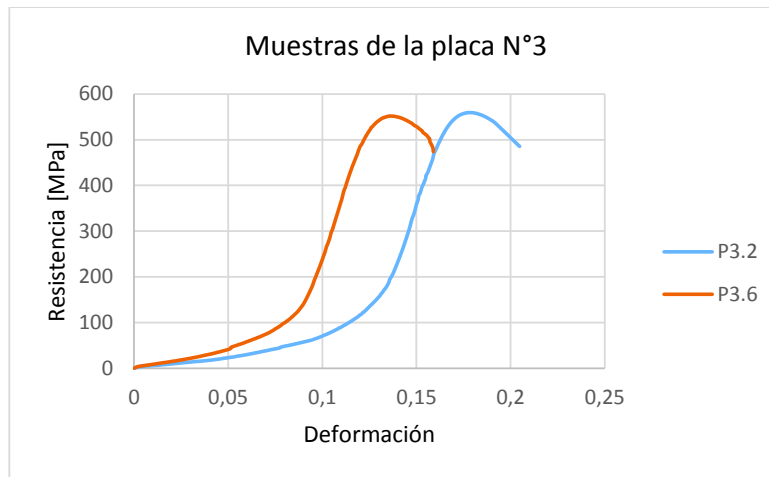


Figura 3.13. Diagrama comparativo de las muestras de la placa tres  
Fuente:(Propia).

#### 3.4.1.4. Muestra de la placa cuatro

De la placa uno, se obtuvieron dos probetas para el ensayo de tensión reducida, las cuales están codificadas con el número dos P 4.2 y seis respectivamente P 4.6. De las muestras se observa que la probeta P 4.2 y P 4.6 tiene una buena resistencia a la tracción, la primera tiene un porcentaje de deformación del 14%, ver Figura 3.14 pero la segunda tiene un mejor comportamiento en el porcentaje de deformación con 15%, ver Figura 3.15.



Figura 3.14. Diagrama esfuerzo vs deformación P 4.2  
Fuente:(Propia).

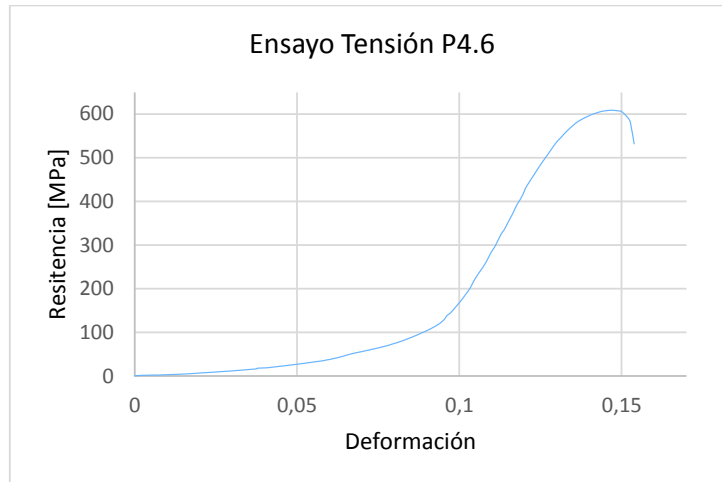


Figura 3.15. Diagrama esfuerzo vs deformación P 4.6  
Fuente:(Propia).

Del diagrama comparativo de las muestras, ver Figura 3.16 se observa que la probeta P 4.2 tiene un comportamiento en el porcentaje de deformación 14%, mientras que la probeta P 4.6 tiene una deformación del 15%.

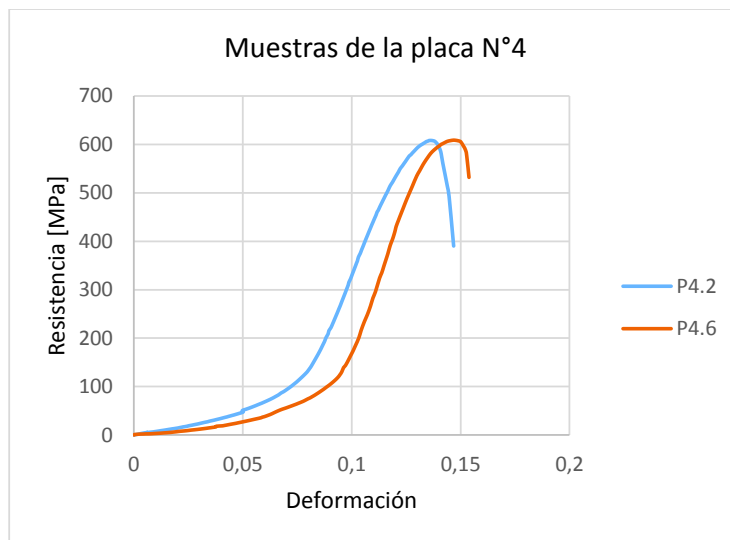


Figura 3.16. Diagrama comparativo de las muestras de la placa cuatro  
Fuente:(Propia).

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

De los ensayos de doblado de cara y raíz se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 3.8 , de la cual se realiza una calificación de probetas, de acuerdo al criterio de aceptación.

Tabla 3.8. Resultados del ensayo de doblado de cara y raíz.

Código	Doblado de cara	Doblado de raíz	Discontinuidad		Observación	Calificación
			Fisura	Otras		
P1.1	X		NO	SI	Mordeduras de 1 mm cada una	Aprueba
P1.3		X	SI	NO	Fisura de 1.8 mm	Aprueba
P1.5	X		NO	SI	Mordeduras de	Aprueba
P1.7		X	SI	NO	Fisura de 2.5 mm	Aprueba
P2.1	X		NO	NO	Ninguna	Aprueba
P2.3		X	SI	NO	Fisura de 8 mm	No Aprueba
P2.5	X		SI	NO	Fisura de 4 mm	No Aprueba
P2.7		X	NO	SI	Porosidad de 2 mm	Aprueba
P3.1	X		NO	NO	Ninguna	Aprueba
P3.3		X	SI	NO	Fisura de 1.4 mm	Aprueba
P3.5	X		NO	NO	Ninguna	Aprueba
P3.7		X	NO	NO	Ninguna	Aprueba
P4.1	X		NO	NO	Ninguna	Aprueba
P4.3		X	NO	NO	Ninguna	Aprueba
P4.5	X		NO	NO	Ninguna	Aprueba
P4.7		X	SI	NO	Fisura de 2 mm	Aprueba

Fuente:(Propia).

### 3.5. Barrido de dureza

El ensayo de barrido de dureza se realiza como un ensayo complementario para conocer la propiedad de dureza en la junta soldada, mediante la presión de un indentador, con una carga establecida en la escala Rockwell B o C, respectivamente.

Las zonas identificadas en cada una de las muestras están codificadas.

MB: Material base

ZAC: Zona afectada por el calor

MA: Material de aporte

#### 3.5.1. Muestra de la placa uno

De la muestra uno se realiza un barrido con escala Rockwell C para el material base y para la zona afectada por el calor para poder determinar el cambio en sus propiedades mecánicas, el esquema del barrido de dureza se muestra en la Figura 3.18.



Figura 3.17. Barrido de dureza muestra P1.4.  
Fuente:(Propia).

De las durezas obtenidas en la Tabla 3.9, se observa que existe un cambio de dureza entre el metal base y la zona afectada por el calor.

Tabla 3.9. Resultados del barrido de dureza muestra P1.4.

Muestra P1.4											
MB	MB	ZAC	ZAC	MA	MA	MA	MA	ZAC	ZAC	MB	MB
HRC	HRC	HRC	HRC	HRB	HRB	HRB	HRB	HRC	HRC	HRC	HRC
57	56	47	49	86	87	88	86	52	50	52	54

Fuente:(Propia)

### 3.5.2. Muestra de la placa dos

De la muestra dos se realizó un barrido con escala Rockwell C para el material base y para la zona afectada por el calor para poder determinar el cambio en sus propiedades mecánicas, el esquema del barrido de dureza se muestra en la Figura 3.19.



Figura 3.18. Barrido de dureza muestra P2.4.  
Fuente:(Propia).

De las durezas observadas en la Tabla 3.10, se determina que existe un cambio de dureza entre el metal base y la zona afectada por el calor.

Tabla 3.10. Resultados del barrido de dureza muestra P 2.4

Muestra P2.4											
MB	MB	ZAC	ZAC	MA	MA	MA	MA	ZAC	ZAC	MB	MB
HRC	HRC	HRC	HRC	HRB	HRB	HRB	HRB	HRC	HRC	HRC	HRC
58	55	41	56	85	87	88	88	56	50	45	52

Fuente:(Propia).

### 3.5.3. Muestra de la placa tres

De la muestra tres se realizó un barrido con escala Rockwell C para el material base y para la zona afectada por el calor para poder determinar el cambio en sus propiedades mecánicas, el esquema del barrido de dureza se muestra en la Figura 3.20.



Figura 3.19. Barrido de dureza muestra P 3.4.

Fuente:(Propia).

De las durezas se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 3.11 donde se observa que existe un cambio de dureza mínimo entre el metal base y la zona afectada por el calor.

Tabla 3.11. Resultados del barrido de dureza muestra P 3.4.

Muestra P3.4											
MB	MB	ZAC	ZAC	MA	MA	MA	MA	ZAC	ZAC	MB	MB
HRC	HRC	HRC	HRC	HRB	HRB	HRB	HRB	HRC	HRC	HRC	HRC
50	48	49	50	89	89	88	88	50	50	45	50

Fuente:(Propia)

### 3.5.4. Muestra de la placa cuatro

De la muestra cuatro se realizó un barrido con escala Rockwell C para el material base y para la zona afectada por el calor para poder determinar el cambio en sus propiedades mecánicas, el esquema del barrido de dureza se muestra en la Figura 3.20.



Figura 3.20. Barrido de dureza muestra P4.4.  
Fuente:(Propia).

De las durezas se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 3.12 donde se observa que existe un cambio de dureza mínimo entre el metal base y la zona afectada por el calor.

Tabla 3.12. Resultados del barrido de dureza muestra P 4.4

Muestra P4.4											
MB	MB	ZAC	ZAC	MA	MA	MA	MA	ZAC	ZAC	MB	MB
HRC	HRC	HRC	HRC	HRB	HRB	HRB	HRB	HRC	HRC	HRC	HRC
56	49	47	50	85	86	86	87	48	46	47	52

Fuente:(Propia)

Después del análisis individual de dureza de cada probeta, se realiza la comparación de las cuatro muestras para conocer cuál de ellas presenta un comportamiento homogéneo respecto a la dureza inicial del metal base, ver Figura 3.22.

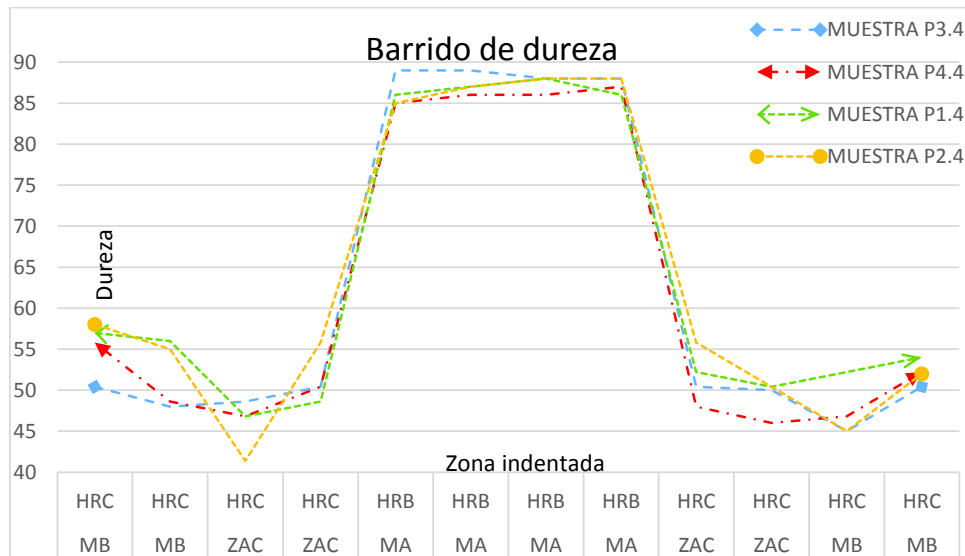


Figura 3.21. Cuadro comparativo de las durezas según la zona estudiada.  
Fuente:(Propia).

Del mismo se determina que la placa tres y cuatro tienen una buena dureza en comparación con la placa uno y dos, por lo que el precalentamiento ayuda a mejorar la dureza de la zona afectada por el calor.

### **3.6. Análisis metalográfico de la junta soldada**

El análisis metalográfico de las muestras se realiza dos ensayos, uno para ver de manera macroscópica el cordón de soldadura, y otro de manera microscópica para ver las diferentes microestructuras, así como su cambio debido a factores de calor generado por la maquina soldadora, como precalentamiento y enfriamiento. Las microestructuras más frecuentes en aceros anti abrasivos son: Bainita, martensita.

#### **3.6.1. Muestra de la placa uno**

En el análisis metalográfico de la muestra P1.4, se realiza un estudio macrográfico, donde se observa que la junta soldada tiene la diferenciación de los pases de soldadura, ver Figura 3.22, mientras que en el estudio micrográfico se observan las siguientes microestructuras: En la Tabla 3.13 se muestran las diferentes estructuras, debido a su alta dureza y fragilidad, martensita, en el material de aporte ferrita y perlita, en la zona afectada por el calor se espera una combinación de las anteriores.

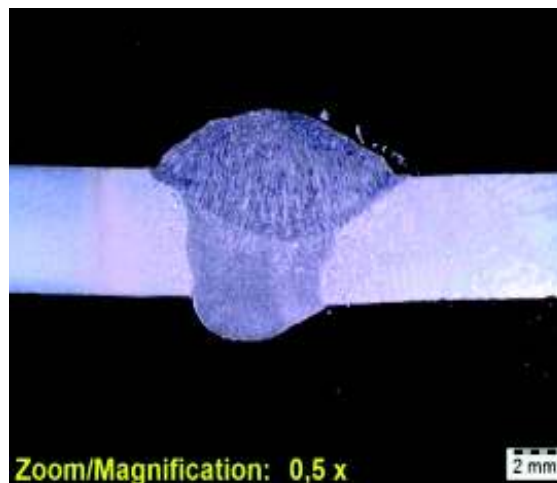


Figura 3.22. Macrografía de la muestra P1.4.  
Fuente:(Propia).

#### **3.6.2. Muestra de la placa dos**

En el análisis metalográfico de la muestra P2.4, en el estudio macrográfico se observa la diferenciación entre los pases de soldadura, así como una socavadura en el lado derecho, ver Figura 3.23 , mientras que en el estudio micrográfico se observan



microestructuras de martensita, lo cual corrobora sus propiedades de alta dureza y fragilidad, en el metal base. En la Tabla 3.14 se muestra que el material de aporte se tiene ferrita y perlita debido a la composición química base.

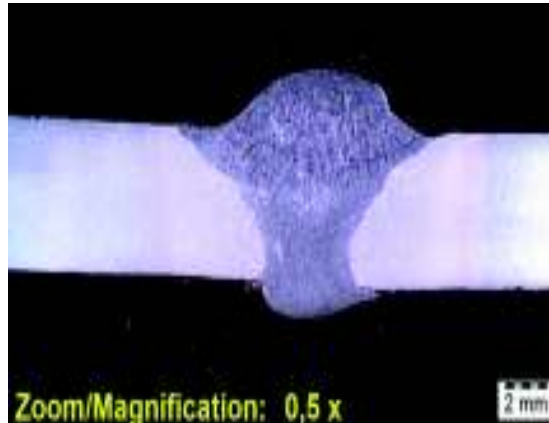


Figura 3.23. Macrografía de la muestra P2.4.  
Fuente:(Propia).

### 3.6.3. Muestra de la placa tres

En el análisis metalográfico de la muestra P3.4, a nivel macroscópico se observa la diferencia entre los pases de soldadura, y la zona afectada por el calor, a nivel microscópico se observa microestructuras de bainita, debido al enfriamiento, en la zona afectada por el calor martensita, ferrita y perlita, debido al calor entregado, así como la composición química del material de aporte, ver Tabla 3.15, para el análisis de cada zona.

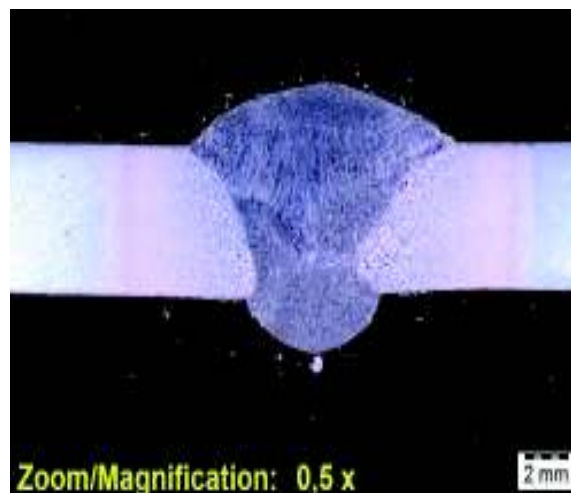


Figura 3.24. Macrografía muestra P3.4.  
Fuente:(Propia).

### 3.6.4. Muestra de la placa cuatro

En el análisis metalográfico de la muestra P4.4, en el nivel macroscópico se observa que existe un mayor nivel de penetración, la diferencia entre los pases de soldadura es imperceptible, a nivel microscópico se observa que en la zona afectada por el calor se distingue que la microestructura dominante, es martensita revenida debido al enfriamiento controlado, ver Tabla 3.16, para el análisis de cada zona estudiada.

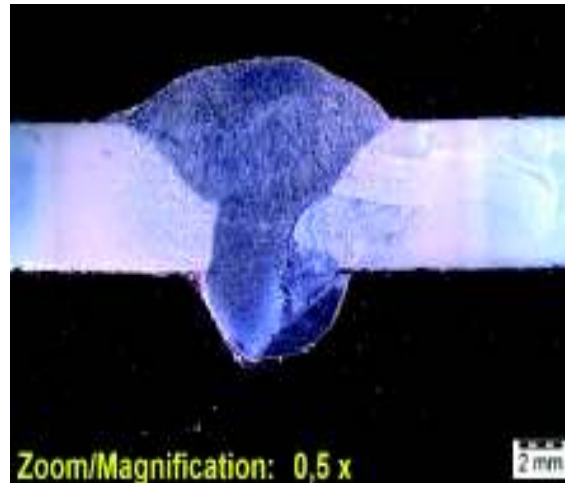



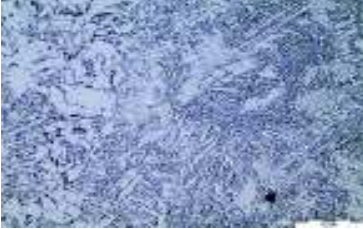







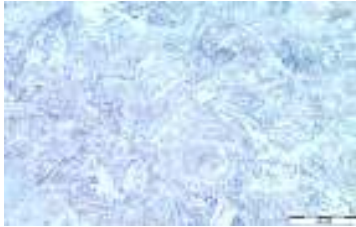

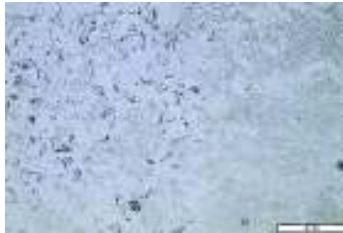




Figura 3.25. Macrografía de la muestra P4.4.  
Fuente:(Propia).

Tabla 3.13. Análisis micrográfico de la muestra P1.4.

Id	Muestra P1.4	
Material base		
	<p>Microestructura de metal base con aumento 100X.</p>	<p>Micrografía del metal base con aumento de 500X cuya microestructura es martensítica con óxidos.</p>
Interfase		
	<p>Microestructura de la interfaz, con aumento 100X.</p>	<p>Micrografía de la interfaz con aumento de 500X cuya microestructura presenta martensita de listón.</p>
Material de aporte		
	<p>Microestructura del material de aporte con aumento 100X.</p>	<p>Micrografía del material de aporte con aumento de 500X, cuya microestructura es ferrítica y perlítica.</p>
Zona afectada por el calor		
	<p>Microestructura de la ZAC con aumento 100X.</p>	<p>Micrografía de la ZAC con aumento de 500X, presenta microestructura martensítica y ferrita.</p>


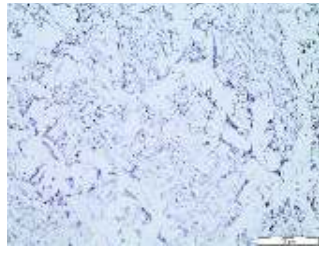



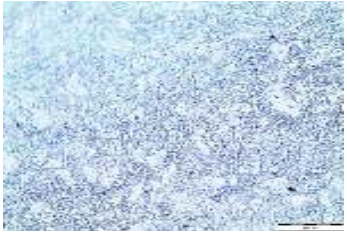

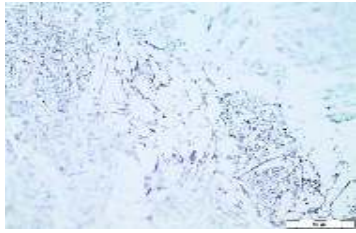
Fuente:(Propia).

Tabla 3.14. Análisis micrográfico muestra P2.4.

Id	Muestra P2.4	
Metal base		
	<p>Microestructura de metal base con aumento 100X.</p>	<p>Micrografía del metal base con aumento de 500X cuya microestructura es una combinación de martensita de listón y óxidos</p>
Interfase		
	<p>Microestructura de la interfaz, con aumento 100X.</p>	<p>Micrografía de la interfaz con aumento 500X, presenta microestructura de martensita y ferrita.</p>
Material de aporte		
	<p>Microestructura del material de aporte con aumento 100X.</p>	<p>Micrografía del material de aporte con aumento de 500X, cuya microestructura es una combinación de ferrita y perlita.</p>
Zona afectada por el calor		
	<p>Microestructura de la ZAC con aumento 100X.</p>	<p>Micrografía de la ZAC con aumento de 500X, presenta microestructura combinada de martensita y ferrita.</p>

Fuente:(Propia).









Tabla 3.15. Análisis micrográfico muestra P3.4.

Id	Muestra P3.4	
Metal base		
	<p>Microestructura de metal base precalentado, con aumento 100X.</p>	<p>Micrografía del metal base con aumento de 500X cuya microestructura es martensita revenida y bainita.</p>
Interfase		
	<p>Microestructura de la interfaz, con aumento 100X.</p>	<p>Micrografía de la interfaz con aumento 500X, presenta microestructura de martensita revenida con precipitados de bainita y ferrita.</p>
Material de aporte		
	<p>Microestructura del material de aporte con aumento 100X.</p>	<p>Micrografía del material de aporte con aumento de 500X, cuya microestructura es una combinación de ferrita y perlita.</p>
Zona afectada por el calor		
	<p>Microestructura de la ZAC con aumento 100X.</p>	<p>Micrografía de la ZAC con aumento de 500X, presenta microestructura combinada de martensita revenida y ferrita.</p>

Fuente:(Propia).



Tabla 3.16. Análisis micrográfico muestra P4.4.

Id		Muestra P4.4	
Metal base			
	Microestructura de metal base precalentado, con aumento 100X.	Micrografía del metal base con aumento de 500X cuya microestructura es bainita.	
Interfase			
	Microestructura de la interfaz, con aumento 100X.	Micrografía de la interfaz con aumento 500X, presenta microestructura de martensita de listón y ferrita.	
Material de aporte			
	Microestructura del material de aporte con aumento 100X.	Micrografía del material de aporte con aumento de 500X, cuya microestructura es una combinación de ferrita y perlita.	
Zona afectada por el calor			
	Microestructura de la ZAC con aumento 100X.	Micrografía de la ZAC con aumento de 500X, presenta microestructura de martensita de listón.	

Fuente:(Propia).

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

El análisis de soldabilidad se realizó mediante el ensayo de Houldcroft, en dos escenarios el primero sin precalentamiento y el segundo con precalentamiento, del cual se obtuvieron criterios de aceptación buenos, debido a que no presenta agrietamientos en caliente en ninguna de las dos muestras.

Los ensayos de inspección visual ver Tabla 3.4 permiten determinar que superficialmente las placas cumplen con los requerimientos establecidos, mientras que el ensayo de tintas penetrantes Tabla 3.5 determina que la placa dos tiene una indicación lineal. El ensayo de radiografía confirma que la indicación de la placa dos, es un defecto de falta de fusión, anexo ENSAYO DE RADIOGRAFÍA, por lo que esta placa queda anulada.

El ensayo de tensión de la junta soldada muestra que todas las muestras presentan un valor de deformación superior al valor establecido por el material base, y su resistencia es mayor que la resistencia del metal de aporte, por lo que debido a las aplicaciones del acero anti abrasivo debe primar el valor de deformación, por ello la placa tres tiene valores de 18% y 14%.

El barrido de dureza permite determinar que la dureza de la zona afectada por el calor, está relacionada con el precalentamiento, debido a que la probeta P2.4 tiene un cambio brusco, 41 HRC en comparación con la probeta P3.4 y probeta P 4.4 las cuales tienen un valor de 48 HRC que está más cercano al valor del metal base 50 HRC.

Las microestructuras identificadas en las diferentes placas, en las diferentes zonas, corroboran las propiedades mecánicas de la junta soldada, la muestra P1.4 tiene un comportamiento cercano al material base, debido a que presenta microestructura de martensita y ferrita en la zona afectada por el calor, mientras que la muestra P4.4 tiene mejor comportamiento en la junta soldada debido a su microestructura de bainita.

Las propiedades mecánicas de la junta soldada de cada placa, determinan que la placas tres y cuatro tienen el mejor comportamiento en la junta soldada, respecto al porcentaje de deformación y resistencia a la tensión respectivamente, por lo cual la temperatura de precalentamiento, es un parámetro determinante en las propiedades mecánicas.

Del análisis metalográfico de la junta soldada se obtiene que la placa tres y cuatro presentan una estructura homogénea entre el metal base y la zona afectada por el calor, lo cual garantiza sus propiedades mecánicas.

#### **4.2. Recomendaciones**

De los resultados obtenidos se recomienda considerar la temperatura de precalentamiento, ver WPS PLACA 3 y WPS PLACA 4, en trabajos futuros con valores desde 200°C hasta 250°C y con post-tratamiento, para poder controlar el enfriamiento y conservar las propiedades mecánicas del metal base.

Los valores establecidos de intensidad de corriente deben estar dentro del rango de 60 a 70 Amperios, debido a que en rangos superiores ocurren fallas en la soldadura, como en la placa dos cuyos valores están en el anexo WPS PLACA 2.

Los trabajos futuros podrían realizarse con otro tipo de electrodo para verificar las propiedades a tensión, así como otro proceso de soldadura semiautomático.



## BIBLIOGRAFÍA

- ASM International. (1997). Weld Integrity and Performance. USA: ASM.
- Amaya, J. P. (2014). Tintas penetrantes. Obtenido de UTEPSA: <https://dibujotecnicoutepsa.files.wordpress.com/2014/09/liquidos-penetrantes.pdf>
- American Welding Society. (2010). Structural welding code steel. USA: American Welding Society.
- Arcelor Mittal. (2018). Catálogo de fabricante del acero anti abrasivo. Obtenido de Relia@: <https://industeel.arcelormittal.com/products/wear-resistant-steels/water-quenched-grades-with-400-450-500-hb/relia/>
- ASM Handbook. (1992). Metallography and Microstructure (Vol. IX). USA: ASM International.
- ASM Handbook. (1993). Welding, brazing and soldering (Vol. VI). USA: ASM International.
- ASTM E8 / E8M . (2016). Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. (A. International, Ed.) Obtenido de Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials: <https://www.astm.org/Standards/E8>
- Bagant. (2018). Fabricacion de bañeras. Obtenido de Fabricacion de bañeras.
- Biltra. (2018). Influencia de aleantes en los aceros. Obtenido de Bilbania de tratamientos: <http://www.biltra.com/asesor/influencia-de-los-aleantes-en-los-aceros/>
- Boellinghaus, T., & Lippold, J. (2016). Cracking phenomena in welds IV. Berlin: Springer International Publishing .
- Cely, M., Sotomayor, V., & Oviedo, F. (2016). Guía de Prácticas Laboratorio de Ensayos No Destructivos. Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Edison Welding Institute. (2018). Martensite and bainite. Obtenido de Martensite and bainite: <https://ewi.org/martensite-and-bainite-in-cghaz-of-hsla-steel-welds/>
- Ilog. (2018). Película Radiográfica Structurix. Obtenido de LLOG S.A. de C.V. Pruebas No Destructivas: <https://www.llogsa.mx/radiography-film/>
- Indura. (2018). Catálogo de alambre ER70S-6. Obtenido de Indura: [http://www.indura.cl/Descargar/INDURA%20Alambre%2070S-6%20\(versi%C3%B3n%20espa%C3%B1ol\)?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fcl%2Fbiblioteca%2F958871aae46c486ea85edcd944dc1694.pdf](http://www.indura.cl/Descargar/INDURA%20Alambre%2070S-6%20(versi%C3%B3n%20espa%C3%B1ol)?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fcl%2Fbiblioteca%2F958871aae46c486ea85edcd944dc1694.pdf)
- Industria colombo-ecuatoriana de carrocerías. (2018). Fabricacion de bañeras y volquetas. Obtenido de Fabricacion de bañeras y volquetas: <http://icedca.com>
- Industria Zamarbú S.L. (2018). Industria de acero antidesgaste. Obtenido de Industrias Zamarbú S.L.: <https://www.zamarbu.com/semirremolques-basculantes/banera-obras-acero-antidegaste/>
- Krauss, G. (2005). Steels, Processing, Structure, and Performance. USA: ASM International.
- Lincoln Electric. (2008). Soldadura MIG| MAG. Obtenido de Lincoln Electric: <https://www.solysol.com.es/data/documents/SoldaduraMIGMAG.pdf>

- Messler, R. J. (2004). Principles of Welding. Alemania: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA,.
- Morrall, F., Jimeno, E., & Molera, P. (2004). Metaurgia general (Vol. II). España: Reverté.
- Olson, D., Dixon, R., & Liby, A. (1990). Materials processing theory and practice (Vol. VIII). USA: Elsevier Science Publishing Company, Inc.
- Peet, M. (2010). Transformation and tempering of low-temperature bainite. Obtenido de Transformation and tempering of low-temperature bainite: <http://mathewpeet.org/thesis/>
- Perez García, M. C. (2016). Ajustes y preparación en soldadura MIG/MAG. Carrocería y pintura .
- Project Plant Shop. (2018). Excavadora en acero Hardox. Obtenido de Project Plant Shop: <https://www.projectplant.co.uk/2015/03/hardox-web-shop-will-be-one-of-a-kind/>
- Scott, D. A. (1991). Metallography and microstructure of ancient and historic metals. Singapore: The J. Paul Getty Trust.
- Soldadura y Estructuras. (20 de Mayo de 2018). Soldadura y Estructuras. Obtenido de <http://soldadurayestructuras.com/proceso-gmaw.html>
- TWI Ltd. (2018). What are the microstructural constituents austenite, martensite, bainite, pearlite and ferrite? Obtenido de What are the microstructural constituents austenite, martensite, bainite, pearlite and ferrite?: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-are-the-microstructural-constituents-austenite-martensite-bainite-pearlite-and-ferrite>
- Universidad Autónoma de Madrid. (2018). Efecto de aleantes en los aceros. Obtenido de UAM: <https://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/practicas/practica4/otros%20elementos.htm>
- Universidad Politécnica de Valencia . (2018). Ciencia de materiales: Aleaciones con transformación . Obtenido de Ciencia de materiales: Aleaciones con transformación : [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm07/ejercicios7\\_3.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm07/ejercicios7_3.html)
- Universidad Politécnica de Valencia. (2017). Ensayo de dureza. Obtenido de UPV: [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. (2017). Ensayos de dureza. Obtenido de [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/ptrb2\\_2\\_6.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/ptrb2_2_6.html)
- Villar, C. M. (2009). Aceros Especiales Antiabrasivos. Metal Actual, 20-26.
- XAR® 450. (18 de Mayo de 2018). ThyssenKrupp. Obtenido de ThyssenKrupp: [https://www.thyssenkrupp.cl/media/media/aceros/aceros\\_antiabrasivos/aceros\\_antiabrasivos\\_xar/xar\\_plus/xar\\_450\\_es.pdf](https://www.thyssenkrupp.cl/media/media/aceros/aceros_antiabrasivos/aceros_antiabrasivos_xar/xar_plus/xar_450_es.pdf)

## ANEXO

### A. CATÁLOGO DEL METAL BASE



Data sheet 168es Hardox® 450 2018-02-12

## Hardox® 450

#### Propiedades mecánicas

Calidad	Espesor (mm)	Dureza <sup>1)</sup> (HBW)	Límite de elasticidad típico (MPa), no garantizado
Hardox® 450 Chapa CR	0.7 - 2.10	425 - 475 <sup>2)</sup>	1250
Hardox® 450 Chapa	2.0 - 8.0	425 - 475	1250
Hardox® 450 Chapa gruesa	3.2 - 80.0	425 - 475	1250
Hardox® 450 Chapa gruesa	80.1 - 103.0	410 - 475	1250
Hardox® 450 Chapa gruesa	103.1 - 150.0	390 - 475	1250

<sup>1)</sup>Dureza Brinell, HBW, de conformidad con la norma EN ISO 6506-1, en una superficie fresada de entre 0.5 y 3 mm bajo la superficie. Al menos una muestra por cada calidad y cada 40 toneladas.

<sup>2)</sup>Las chapas laminadas en frío (CR) Hardox 450 se miden en Vickers (VH<sub>0.05</sub>). El ensayo de dureza Vickers se lleva a cabo de conformidad con la norma EN ISO 6507-1. El espesor nominal de las chapas suministradas no se desviará más de +/- 15 mm del espesor de la muestra del ensayo empleada para los ensayos de dureza.

La chapa Hardox® está templada. La dureza mínima del núcleo es del 90 % respecto a la dureza de superficie mínima garantizada.

#### Composición química (análisis de colada)


Calidad	C <sup>1)</sup> (max %)	Si <sup>1)</sup> (max %)	Mn <sup>1)</sup> (max %)	P (max %)	S (max %)	Cr <sup>1)</sup> (max %)	Ni <sup>1)</sup> (max %)	Mo <sup>1)</sup> (max %)	B <sup>1)</sup> (max %)
Chapa CR	0.18	0.25	1.30	0.015	0.004	0.10	0.10	0.04	0.003
Chapa y chapa gruesa	0.26	0.70	1.60	0.025	0.010	1.40	1.50	0.60	0.005

El acero es de grano refinado<sup>1)</sup>. Sustancias de aleación intencionadas.

#### Contenido en carbono equivalente CET (CEV)


Espesor	chapa CR 0.7 - 2.10	chapa 2.0 - 8.0	chapa gruesa 3.2 - 4.9	chapa gruesa 5.0 - 9.9	chapa gruesa 10.0 - 19.9	chapa gruesa 20.0 - 39.9	chapa gruesa 40.0 - 80.0	chapa gruesa 80.1 - 130.0
Máx	0.33 (0.44)	0.35 (0.48)	0.37 (0.48)	0.38 (0.49)	0.39 (0.52)	0.41 (0.60)	0.43 (0.74)	0.41 (0.67)
típ.	0.31 (0.39)	0.26 (0.39)	0.29 (0.39)	0.33 (0.45)	0.36 (0.48)	0.38 (0.56)	0.38 (0.61)	0.39 (0.64)

## B. CATÁLOGO DEL ALAMBRE ER70S-6



**INDURA**  
Tecnología a su Servicio

**INDURA 70S-6**  
Rev.01-010412



- Alambre sólido para proceso de soldadura con protección gaseosa.
- Certificado por CWB, ABS, LRS, GL, NKK.
- Revestimiento: cobrizado.

**Clasificación:**

ASME IIC SFA 5.18/AWS A5.18  
ER 70S-6 / ER 48S-6

**Características y Campos de usos:**

- Alambre de acero al carbono de excelente soldabilidad y tolerancia a superficies oxidadas.
- Usado principalmente con gas CO<sub>2</sub> y otras muestras comerciales como el Indurmig.
- Su contenido de Silicio y Manganeso le confieren excelentes propiedades desoxidantes, lo que asegura una soldadura libre de porosidades sobre una amplia gama de trabajos.
- Se recomienda para ser usado en aceros corrientes de baja aleación.
- Se utiliza en construcción recipientes a presión, soldadura de cañerías, estructuras, etc.

**Análisis Típico del metal alambre (% en peso)**

C	Mn	Si	P	S
0.08	1.44	0.86	0.012	0.014


**Propiedades Mecánicas Típicas del Metal Depositado:**

Gas	Esf. Fluencia en 0.2%, MPa	Esf. Máx. de Tracción, MPa	Elongación (L=4d), %	E. Absorbida Ch-v
100% CO <sub>2</sub>	415	530	31	103J a -30°C

**Parámetros de Soldadura y Datos**

Diámetro, mm	0.80	0.9	1.2	1.6
Int. de Corr., A	60-160	90-230	130-340	290-400
Voltaje, Volts	14-26	15-27	17-30	26-36
Flujo CO <sub>2</sub> , (lt/min)	7-12	8-12	12-14	14-16

Posición de Soldadura




CCEP

INDURA 70S-6



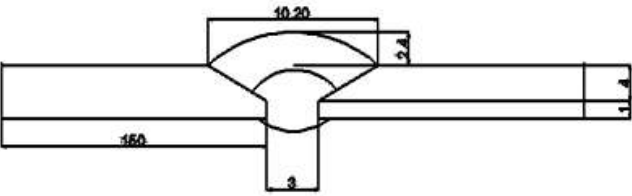
---

INDURA S.A. – Centro de Servicio al Cliente 600 600 3030 – [www.indura.net](http://www.indura.net)







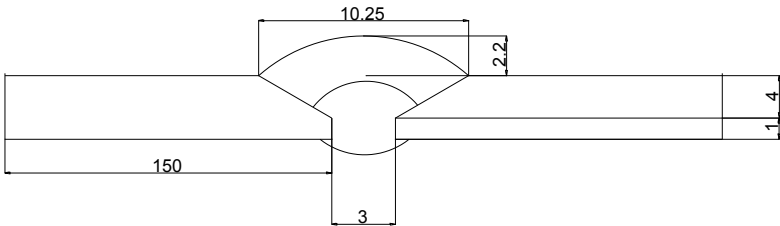
## D. WPS PLACA 2

		<b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b>				
NOMBRE DE LA EMPRESA		E.P.N/VSHA	WPS	E.P.N-LDS-02		
PQR N°		E.P.N-LDS-02	FECHA	27 de julio del 2018		
NORMA		AWS D1.1	Realizado por	Valeria Hernandez		
<b>JUNTA SOLDADA</b>			<b>POSICION DE SOLDADURA</b>			
Tipo de junta	A tope		Posición	1G		
Abertura de raíz	3.0 [mm]		Progresion	RECTA		
Talón	1.0[mm]		Pases	2		
Ángulo de ranura	30°		<b>PRECALENTAMIENTO</b>			
Placa de respaldo	Si	No <u>X</u>	Temperatura de precalentamiento	N/A		
Preparar bisel	Si <u>X</u>	No	Temperatura entre pases	N/A		
<b>METAL BASE</b>			<b>TECNICA DE SOLDADURA</b>			
Especificacion	450HB		Proceso	GMAW		
Espesor	5 [mm]		Tipo de soldadura	Semiautomática		
<b>METAL DE APORTE</b>			Soldadura a	Un lado		
Proceso	GMAW		Cordon de respaldo	No		
Diámetro	0.9 [mm]		Pases	Multiples		
Denominacion AWS	ER70S-6		Transferencia	Corto circuito		
Marca	LINDE		<b>NOTA</b>			
Stick out	15 [mm]					
<b>GAS DE PROTECCION</b>						
Tipo	CO2					
Caudal	20 L/min					
						
<b>VARIABLES DE OPERACION</b>						
N°	METAL DE APORTE	CORRIENTE [A]	TENSION [V]	VELOCIDAD [mm/s]	VEL. ALIMENT A [in/min]	TECNICA DE SOLDADURA
1	ER70S6	90	22	1,32	130	OSCILANTE
2	ER70S6	85	20	1,43	175	OSCILANTE

### E. WPS PLACA 3

 <b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b> 						
NOMBRE DE LA EMPRESA	E.P.N/VSHA	WPS	E.P.N-LDS-03			
PQR N°	E.P.N-LDS-03	FECHA	27 de julio del 2018			
NORMA	AWS D1.1	Realizado por	Valeria Hernandez			
<b>JUNTA SOLDADA</b>		<b>POSICION DE SOLDADURA</b>				
Tipo de junta	A tope	Posición	1G			
Abertura de raíz	3.0 [mm]	Progresion	RECTA			
Talón	1.0[mm]	Pases	2			
Ángulo de ranura	30°	<b>PRECALENTAMIENTO</b>				
Placa de respaldo	Si      No <input checked="" type="checkbox"/>	Temperatura de precalentamiento	135°C			
Preparar bisel	Si <input checked="" type="checkbox"/> No	Temperatura entre pases:	N/A			
<b>METAL BASE</b>		<b>TECNICA DE SOLDADURA</b>				
Especificacion	450HB	Proceso	GMAW			
Espesor	5 [mm]	Tipo de soldadura	Semiamomatica			
<b>METAL DE APORTE</b>		Soldadura a	Un lado			
Proceso	GMAW	Cordon de respaldo	No			
Diametro	0.9 [mm]	Pases	Multiples			
Denominacion AWS	ER70S-6	Transferencia	Corto circuito			
Marca	LINDE	<b>NOTA</b>				
Stick out	15 [ mm]	El enfriamiento se realizó en arena a temperatura ambiente				
<b>GAS DE PROTECCION</b>						
Tipo	CO2					
Caudal	20 L/min					
						
<b>VARIABLES DE OPERACION</b>						
N°	METAL DE APORTE	CORRIENTE [A]	TENSION [V]	VELOCIDAD [mm/s]	VEL. ALIMENTA [in/min]	TECNICA DE SOLDADURA
1	ER70S6	65	22	1,13	130	OSCILANTE
2	ER70S6	60	18	2,59	175	OSCILANTE

## F. WPS PLACA 4

 <b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b> 						
NOMBRE DE LA EMPRESA	E.P.N/VSHA	WPS	E.P.N-LDS-04			
PQR N°	E.P.N-LDS-04	FECHA	27 de julio del 2018			
NORMA	AWS D1.1	Realizado por	Valeria Hernandez			
<b>JUNTA SOLDADA</b>		<b>POSICION DE SOLDADURA</b>				
Tipo de junta	A tope	Posición	1G			
Abertura de raíz	3.0 [mm]	Progresion	RECTA			
Talón	1.0[mm]	Pases	2			
Ángulo de ranura	30°	<b>PRECALENTAMIENTO</b>				
Placa de respaldo	Si No <u>X</u>	Temperatura :	200°C			
Preparar bisel	Si <u>X</u> No	Temperatura entre pases:	135°C			
<b>METAL BASE</b>		<b>TECNICA DE SOLDADURA</b>				
Especificacion	450HB	Proceso	GMAW			
Espesor	5 [mm]	Tipo de soldadura	Semiautomatica			
<b>METAL DE APORTE</b>		Soldadura a	Un lado			
Proceso	GMAW	Cordon de respaldo	No			
Diametro	0.9 [mm]	Pases	Multiples			
Denominacion AWS	ER70S-6	Transferencia	Corto circuito			
Marca	LINDE	<b>NOTA</b>				
Stick out	15 [mm]	El enfriamiento se realiza en arena,precaletada a 200°C, para tener un enfriamiento controlado				
<b>GAS DE PROTECCION</b>						
Tipo	CO2					
Caudal	20 L/min					
						
<b>VARIABLES DE OPERACION</b>						
N°	METAL DE APORTE	CORRIENTE [A]	TENSION [V]	VELOCIDAD [mm/s]	VEL. ALIMENTA [in/min]	TECNICA DE SOLDADURA
1	ER70S6	65	22	1,17	150	OSCILANTE
2	ER70S6	60	18	2,69	200	OSCILANTE



## G. ENSAYO DE ESPECTROMETRÍA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

DEPARTAMENTO DE MATERIALES

LABORATORIO DE FUNDICIÓN



### INFORME TÉCNICO

**Solicitado por:** Ing. Mario G. Granja

**Tipo de Trabajo:** Espectrometría por chispa

**Fecha:** 09 de julio del 2018

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

**Descripción:** Muestra de acero antiabrasivo.


#### 1. ANTECEDENTES.

Se recibe en el Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional una probeta de material acero.

Se solicita realizar la prueba de espectrometría con la finalidad de determinar los componentes presentes en la muestra entregada.

#### 2. IDENTIFICACIÓN DE LA PROBETA.

La probeta para el análisis correspondiente es identificada como se muestra a continuación:

Nombre	Identificación de la probeta	Identificación Gráfica
Muestra de acero	Muestra M Acero antiabrasivo	

#### 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 Base 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 5 mediciones en distintos puntos del espécimen y finalmente se promedió su valor.

		Muestra Acero antiabrasivo
Elemento		Valor [%]
Carbono	[C]	0,197
Silicio	[Si]	0,451
Manganeso	[Mn]	1,254
Fósforo	[P]	0,012
Cromo	[Cr]	0,358
Niquel	[Ni]	0,170
Cobre	[Cu]	0,041
Aluminio	[Al]	0,036
Cobalto	[Co]	0,012
Titanio	[Ti]	0,028
Hierro	[Fe]	97,42
<b>Total</b>		<b>99,97</b>

Ing. Luis G. Huilca

Técnico Responsable

Ing. Óscar Sotomayor

Jefe del Laboratorio de  
Fundición.

## H. ENSAYO DE TENSIÓN Y DUREZA DEL METAL BASE



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS  
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

### INFORME TÉCNICO

LAEV – JUL.18.23.1

Quito, 17 de agosto de 2018

TRABAJO SOLICITADO POR: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
M.Sc. Mario German Granja Ramírez

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden únicamente a los ensayos realizados en probetas de acero anti abrasivo proporcionadas por la Srta. VALERIA HERNANDEZ para el proyecto de titulación "ANÁLISIS DE SOLDABILIDAD Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA PLANCHA DE ACERO ANTI ABRASIVO GRADO 450 MEDIANTE EL PROCESO GMAW". Dichas probetas fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

#### RESULTADOS

1. **MUESTRAS:** Dos (2) probetas de acero anti abrasivo para ensayo de tracción a material base y una (1) muestra de acero anti abrasivo para ensayo de barrido de dureza.

#### 2. ENSAYO DE TRACCIÓN A MATERIAL BASE

En la tabla 1 se presentan los resultados de los ensayos de tracción realizados.

Tabla 1. Resultados de los ensayos de tracción.

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	
T1	12,50	5,27	20.341	90.481	178,1	1.228	199,2	1.374	13,2
T2	12,44	5,27	20.411	90.793	179,3	1.236	200,9	1.385	11,5

#### 3. ENSAYO DE DUREZA

En la tabla 2 se presentan los resultados del barrido de dureza en escala Brinell.

Tabla 2. Barrido de dureza Brinell realizado en la muestra.

Muestra	Dureza Brinell			Promedio
	1	2	3	
D2	420	437	437	431

	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:		
Nombre:	Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ing. Mariana Guerra, M.Sc.
Cargo:	TÉCNICO DOCENTE	JEFE
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL		

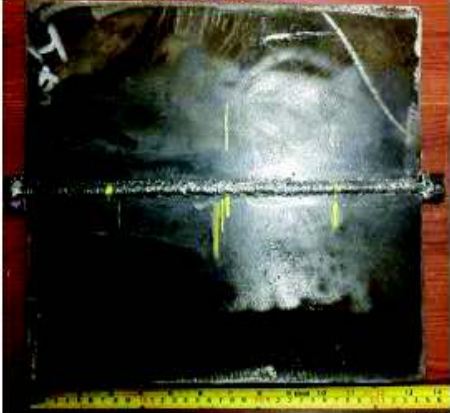
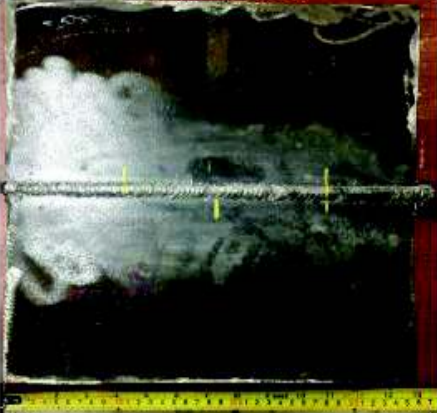
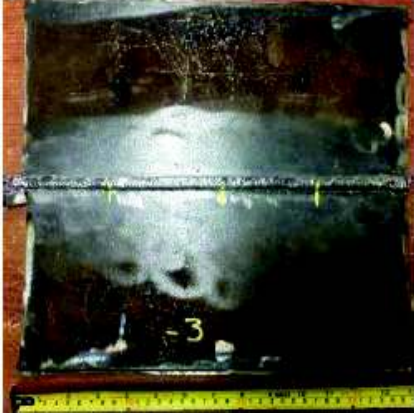


LAEV-EPN



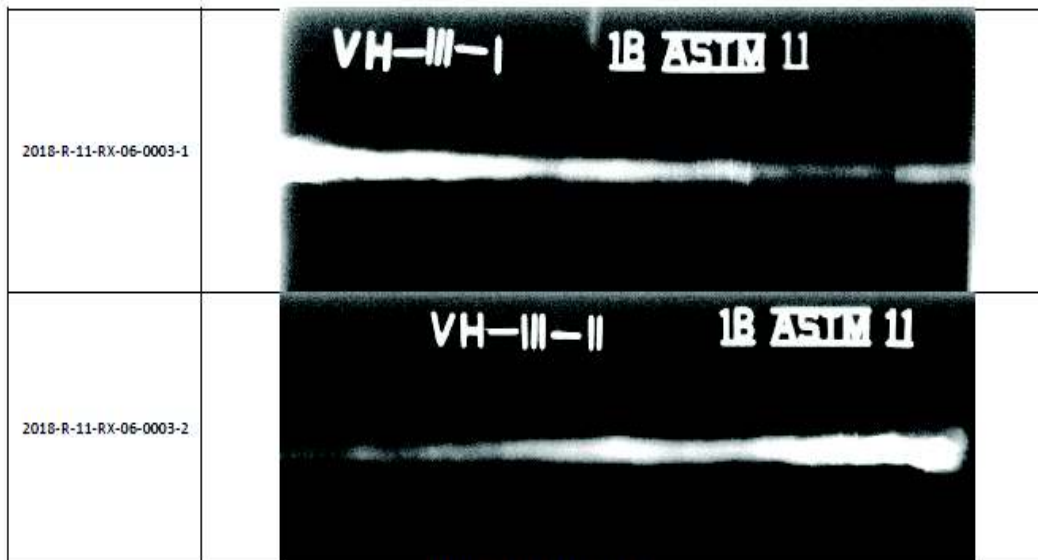
Página 2 de 2

# I. ENSAYO DE RADIOGRAFÍA

REPORTE DE INSPECCION RADIOGRÁFICA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DEPARTAMENTO DE MATERIALES			
Información General			
Cliente: Valeria Hernández		Reporte N°: LABEND-EPN-2018-R11-RX-06	
Fecha de inspección: 03 de agosto de 2018		Lugar: Quito - EPN	
Identificación de la Pieza			
Descripción: Placa soldada de Acero de 350x340x5 mm		Identificación: 2018-R-11-RX-06-0001 2018-R-11-RX-06-0002 2018-R-11-RX-06-0003	
Material: Acero antiabrasivo grado 450		Estado Superficial: Rugosidad Normal del Material	
Componente a Inspeccionar			
2018-R-11-RX-06-0001		2018-R-11-RX-06-0002	
			
2018-R-11-RX-06-0003			
			
Equipos y Materiales			
Equipo de RX			
Marca: Baltographe	Modelo: BF 200/10	kV: 200 kV	mA: 10 mA
Película			
Marca: Structurix	Tipo: II - D7		
Condiciones de Trabajo			
Normas de Referencia: AWS D1.1			
Pieza: 2018-R-11-RX-06-0001			



Tomas: 2	Kv: 140 Kv	mA: 5 mA	
Tiempo de Exp: 1 min 15 s	Distancia a la Fuente: 50 cm	Técnica Utilizada: Simple Pared Simple Imagen	
Observaciones: IQI Tipo 1B			
Pieza: 2018-R-11-RX-06-0002			
Tomas: 2	Kv: 140 Kv	mA: 5 mA	
Tiempo de Exp: 1 min 15 s	Distancia a la Fuente: 50 cm	Técnica Utilizada: Simple Pared Simple Imagen	
Observaciones: IQI Tipo 1B			
Pieza: 2018-R-11-RX-06-0003			
Tomas: 2	Kv: 140 Kv	mA: 5 mA	
Tiempo de Exp: 1 min 15 s	Distancia a la Fuente: 50 cm	Técnica Utilizada: Simple Pared Simple Imagen	
Observaciones: IQI Tipo 1B			
<b>Procesamiento de Películas</b>			
Temp. Ambiente: 20 °C	T. Revelado: 5 min	T. Parada: 2 min	T. Fijado: 10 min
Baño de Parada: 5 min	T. Lavado Final: NA	T. Lav. Deshumectante: NA	T. de Secado: 30 min
<b>Imágenes Radiográficas</b>			
2018-R-11-RX-06-0001-1			
2018-R-11-RX-06-0001-2			
2018-R-11-RX-06-0002-1			
2018-R-11-RX-06-0002-2			



**Interpretación Radiográfica**

**Pieza: 2018-R-11-RX-06-0001**

Discontinuidades	Identificación de Discontinuidades									
	Toma 1		Toma 2		//		//		//	
	2018-R-11-RX-06-0001-1		2018-R-11-RX-06-0001-2							
	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	//	//	//	//	//	//
Falta de Penetración	---	---	---	---	//	//	//	//	//	//
Fusión Incompleta	---	---	---	---	//	//	//	//	//	//
Penetración excesiva	---	---	---	---	//	//	//	//	//	//
Inclusiones de Escoria	---	---	---	---	//	//	//	//	//	//
Porosidad	---	---	---	---	//	//	//	//	//	//
Grietas	---	---	---	---	//	//	//	//	//	//
Mordeduras	---	---	---	---	//	//	//	//	//	//
Escoria Alargada	---	---	---	---	//	//	//	//	//	//
Otros:	---	---	---	---	//	//	//	//	//	//

Observaciones: Distancia medida desde el extremo izquierdo de la placa

**Pieza: 2018-R-11-RX-06-0002**

Discontinuidades	Identificación de Discontinuidades									
	Toma 1		Toma 2		//		//		//	
	2018-R-11-RX-06-0002-1		2018-R-11-RX-06-0002-2							
	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	//	//	//	//	//	//
Falta de Penetración	---	---	---	---	//	//	//	//	//	//
Fusión Incompleta	---	---	145	1,29						
			147	1,5						
			155	0,94	//	//	//	//	//	//
			160	1,18						
			164	1,04						
Penetración excesiva	---	---	---	---	//	//	//	//	//	//
Inclusiones de Escoria	---	---	---	---	//	//	//	//	//	//
Porosidad	---	---	---	---	//	//	//	//	//	//
Grietas	---	---	---	---	//	//	//	//	//	//
Mordeduras	---	---	---	---	//	//	//	//	//	//
Escoria Alargada	---	---	---	---	//	//	//	//	//	//
Otros:	---	---	---	---	//	//	//	//	//	//

Observaciones: Distancia X medida desde el extremo izquierdo de la placa									
Pieza: 2018-R-11-RX-06-0003									
Discontinuidades	Identificación de Discontinuidades								
	Toma 1 2018-R-11-RX-06-0003-1		Toma 2 2018-R-11-RX-06-0003-2		//		//		//
	X (mm)	Dim. (mm)	X (mm)	Dim. (mm)	//	//	//	//	//
Falta de Penetración	---	---	---	---	//	//	//	//	//
Fusión Incompleta	---	---	---	---	//	//	//	//	//
Penetración excesiva	---	---	---	---	//	//	//	//	//
Inclusiones de Escoria	---	---	---	---	//	//	//	//	//
Porosidad	---	---	---	---	//	//	//	//	//
Grietas	---	---	---	---	//	//	//	//	//
Mordeduras	---	---	---	---	//	//	//	//	//
Escoria Alargada	---	---	---	---	//	//	//	//	//
Otros:	---	---	---	---	//	//	//	//	//
Observaciones: Distancia medida desde el extremo izquierdo de la placa									
<b>Laboratorio de E.N.D</b>					<b>Cliente</b>				
Firma:					Firma:				
Ing. Verónica Sotomayor Jefe de Laboratorio de Ensayos No Destructivos					Nombre: Valeria Hernández Cargo: Estudiante titulación FIM Contacto: 0939061927 Correo: valeria.hernandez01@epn.edu.ec Fecha: 23/08/2018				
Fecha: 23 de agosto de 2018									



## J. ENSAYO DE TENSIÓN REDUCIDA DE LAS MUESTRAS SOLDADAS



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS  
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

F01-PE-LAEV-01 Rev.00

### INFORME

LAEV – M18.003

Quito, 12 de octubre de 2018

Solicitado por: M.Sc. Mario Granja  
Persona de contacto: Valeria Hernández  
Teléfono: 0939061927/2976016  
Correo: valeria.hernandez01@epn.edu.ec  
Fecha de recepción: 05/10/2018  
Fecha de ejecución: 12/10/2018

ORDEN DE TRABAJO Nº: N/A

1. **MUESTRAS:** Ocho (8) probetas de junta soldada para ensayo de tracción.

#### 2. GENERALIDADES E IDENTIFICACIÓN:

La siguiente descripción fue proporcionada por el cliente:

**Título de la tesis:** ANÁLISIS DE SOLDABILIDAD Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA PLANCHA DE ACERO ANTI ABRASIVO GRADO 450

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
P1.2	M18.003.01
P1.6	M18.003.02
P2.2	M18.003.03
P2.6	M18.003.04
P3.2	M18.003.05
P3.6	M18.003.06
P4.2	M18.003.07
P4.6	M18.003.08



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

### 3. CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura:  $20,2 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$

Humedad relativa:  $36,9 \pm 2,0\%$

### 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	
M18.003.01	19,89	5,01	13.202	58.725	85,5	589,3	FJS
M18.003.02	19,99	5,01	13.320	59.250	85,9	592,2	FJS
M18.003.03	20,11	4,98	13.698	60.933	88,2	608,4	FJS
M18.003.04	20,05	4,98	13.224	58.823	85,4	589,1	FJS
M18.003.05	20,09	5,03	12.726	56.606	81,2	560,2	FJS
M18.003.06	19,95	5,05	12.513	55.661	80,2	553,0	FJS
M18.003.07	20,19	5,08	14.039	62.449	88,3	608,9	FJS
M18.003.08	20,15	5,36	14.791	65.793	88,4	609,2	FJS

\*FJS: Falla en la junta soldada.

**Nota.-** Los resultados contenidos en el presente informe corresponden únicamente a las muestras ensayadas por el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV).

	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		





## K. COTIZACIÓN DE VOLQUETAS



ENCOFRADOS - ANDAMIAJE - MAQUINARIA - CARROCERÍAS DE CARGA

FECHA	Quito, 12 de Marzo de 2019	ASESOR TÉCNICO	DIEGO CRIOLLO
OFERTA	DC-19-2372	TELEF. CONTACTO	0969629009
NOMBRE DEL CLIENTE	VALERIA STEPHANIA HERNÁNDEZ		
NOMBRE DEL PROYECTO			
DIRECCIÓN DEL PROYECTO			
ATENCIÓN A	VALERIA STEPHANIA HERNÁNDEZ		
TELÉFONO	0939061927		
E-MAIL	stephania.h.alvarez@hotmail.es		

### OBSERVACIONES

Camiones de Referencia para instalación de Tolva:  
Hino FS; Isuzu CYZ; Mercedes  
2628; Freightliner: M2-112; International 7-800 6x4.

### VENTAS

TOLVA DE 12 METROS CUBICOS LARGA CON ÁNGULOS (ACCESORIOS HARDOX)

CODIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	PAGO DE CONTADO	
				% DESCUENTO	SUBTOTAL
VDTV12-03	TOLVA DE 12 METROS CUBICOS LARGA CON ÁNGULOS	1.00	12,828.85	5.00	12,187.41
ACCTOLCHARD10-12	COMPUERTA HARDOX PARA TOLVAS DE 10 Y 12 M3	1.00	150.00	5.00	142.50
ACCTOLPHARD10-12	PISO HARDOX PARA TOLVAS DE 10 Y 12 M3	1.00	1,099.00	5.00	1,044.05

SUBTOTAL		\$ 14,077.85
DESCUENTO	5.00 %	\$ 703.89
SUBTOTAL - DESCUENTO		\$ 13,373.96
IVA 12 %		\$ 1,604.88
TOTAL OFERTA		\$ 14,978.84



ENCOFRADOS - ANDAMIAJE - MAQUINARIA - CARROCERÍAS DE CARGA

FECHA	Quito, 12 de Marzo de 2019	ASESOR TÉCNICO	DIEGO CRIOLLO
OFERTA	DC-19-2371	TELEF. CONTACTO	0969629009
NOMBRE DEL CLIENTE	VALERIA STEPHANIA HERNÁNDEZ		
NOMBRE DEL PROYECTO			
DIRECCIÓN DEL PROYECTO			
ATENCIÓN A	VALERIA STEPHANIA HERNÁNDEZ		
TELÉFONO	0939061927		
E-MAIL	stephania.h.alvarez@hotmail.es		

### OBSERVACIONES

Camiones de Referencia para instalación de Tolva:  
Hino FS; Isuzu CYZ; Mercedes  
2628; Freightliner: M2-112; International 7-800 6x4.

### VENTAS

TOLVA DE 12 METROS CUBICOS LARGA CON ÁNGULOS

CODIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	PAGO DE CONTADO	
				% DESCUENTO	SUBTOTAL
VDTV12-03	TOLVA DE 12 METROS CUBICOS LARGA CON ÁNGULOS	1.00	12,828.85	5.00	12,187.41

SUBTOTAL		\$ 12,828.85
DESCUENTO	5.00 %	\$ 641.44
SUBTOTAL - DESCUENTO		\$ 12,187.41
IVA 12 %		\$ 1,462.49
TOTAL OFERTA		\$ 13,649.90