



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

### REHABILITACIÓN DEL MATERIAL BASE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES CON UN PROCESO DE SOLDADURA ADITIVA

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

**GUADALUPE MONSERRATE FREIRE MORALES**  
guadalupe.freire@epn.edu.ec

**DIRECTOR:**  
**ING. HIDALGO DIAZ VÍCTOR HUGO, D.Sc**  
victor.hidalgo@epn.edu.ec

**CO-DIRECTOR:**  
**ING. GRANJA RAMÍREZ MARIO GERMAN M.Sc**  
mario.granja@epn.edu.ec

QUITO, enero 2022

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **GUADALUPE MONSERRATE FREIRE MORALES**, bajo mi supervisión.

---

Ing. Víctor Hidalgo D.Sc

**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

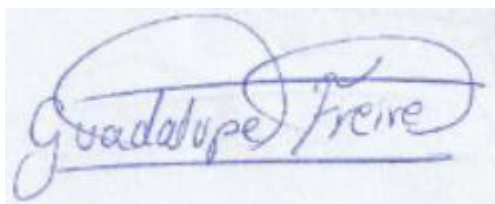
Inge. Mario Granja M.Sc

**CO-DIRECTOR DE PROYECTO**

## DECLARACIÓN

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

A través de la presente declaración 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.

A handwritten signature in blue ink that reads "Guadalupe Freire". The signature is written in a cursive style with a horizontal line underneath the text.

Guadalupe Monserrate Freire Morales

## DEDICATORIA

A Dios por permitir que este sueño se ha cumplido, por guiarme en cada uno de mis pasos a seguir sin desmayar, esto no fue fácil, pero tampoco imposible.

A mis papitos Milton y Elsa, han sido mi pilar fundamental en el trayecto de mi vida, al fomentar el camino hacia la superación con ejemplo de trabajo y sacrificio.

A mi hermano Raúl que ha sido como un padre, el ayudarme desde pequeña a ser mejor, a pesar de las pruebas que la vida le puso siempre me ha dado su apoyo incondicional.

A mis hermanos Jaime, Carlos, Diego, Álvaro, Viviana y Fernanda que son mi apoyo de mi vivir, que siempre están ahí brindándome su apoyo, para no rendirme jamás.

A mis sobrinos Jos, Alex, Alice y a mi pequeño Mathias que llego a nuestras vidas dando mucho amor y unión, quien con sus locuras y travesuras en mi último semestre me acompañaba las noches de desvelo. Familia gracias por ese respaldo incondicional para seguir adelante en todo lo que me proponga a pesar de cualquier adversidad que pueda presentarse en cualquier momento de mi vivir.

***Lupita.***

## AGRADECIMIENTO

A Dios por ser mi padre celestial y cuidarme siempre, gracias, por tanto.

A mis padres quienes me han dado esa fortaleza, confianza en uno mismo que cuando se tiene sueños y metas se cumplen, cuando te entregas con sacrificio, esfuerzo y dedicación; gracias por ser mis héroes por siempre. A mi ñaño Raúl por ser el ejemplo a seguir, por ser el motor de la familia, por ser mi héroe, por ser el mejor y quererme tanto, protegerme a su manera, por verme brillar, por estar a nuestro lado dando todo su apoyo incondicional desde siempre. A mis hermanos y hermanas por ser quienes me motivan para seguir de pie, a mis sobrinos por brindar esas alegrías en mis momentos tristes.

A la EPN por darme la oportunidad de estudiar y seguir cumpliendo mis sueños, a mi amada FIM llevarte en mi corazón, a mis profesores de toda mi carrera universitaria, el darme el apoyo y el conocimiento para llegar a esta meta.

A mi director y codirector D.Sc. Víctor Hidalgo e Ing. Mario Granja por ser mis tutores en este proyecto y al Ing Carlos Diaz, brindando su apoyo incondicional, para poder cumplirlo con satisfacción.

A KUBIEC, por abrirme las puertas dando la oportunidad de realizar mis pasantías, asignando el tema de titulación, a todos quienes son parte de esa linda empresa que me hicieron sentir como en casa, especialmente al área de calidad que me brindaron su apoyo incondicional, al Ing. Luis Reyes por ser un jefe impresionante, a Nicolás por brindar su amistad y sus conocimientos en el área de la materia prima, a Raúl por ser un compañero de trabajo admirable y al Ing. Jorge Macas más que ser un jefe me brindo su amistad, sus conocimientos, el enseñarme muchas cosas en el ámbito laboral de la empresa, por ser un amigo más y tenerme paciencia esos 4 meses de aprendizaje y conocimiento.

A mis poliamig@s, no puedo mencionarle a cada uno pero si agradecerles por tanto, especialmente a mis amigos de mi ROJA y NEGRA por brindar sus enseñanzas, compañerismo y esa amistad verdadera, y a todos quienes me han ayudado con un granito de arena, a Fausto ser una persona excelente, maravillosa, gran amigo, un hombre que ha soportado mis berrinches como él lo dice para que no me diga NO, ha sido un apoyo en mi vida, a Verito gracias por ser alguien especial en mi vida, más que una amiga es como una hermana, quererte tanto, gracias por la ayuda incondicional que me brinda siempre.

**Lupita.**

# ÍNDICE

<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	i
<b>DECLARACIÓN</b> .....	ii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iii
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	iv
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	x
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>Objetivo general</b> .....	1
<b>Objetivos específicos</b> .....	1
<b>1 MARCO TEÓRICO</b> .....	2
1.1 Fabricación de las Vigas de Acero.....	2
1.1.1 Perfil Armado tipo O.....	2
1.1.2 Vigas armadas tipo I.....	3
1.2 Generalidades del Acero Estructural.....	5
1.2.1 Acero Estructural ASTM A572 GR 50. ....	6
1.2.2 Composición Química. ....	7
1.2.3 Acero Estructural ASTM A588 Gr A .....	8
1.2.4 Composición Química. ....	9
1.2.5 La Soldabilidad de los aceros.....	10
1.3 Proceso de Soldadura. ....	11
1.3.1 Soldadura.....	11
1.4 Soldadura por Arco con Núcleo Fundente (FCAW).....	12
1.4.1 Identificación del Electrodo.....	13
1.4.2 Aplicaciones Importantes del Proceso FCAW. ....	14
1.4.3 Alambre E71T1C.....	15
1.4.4 Propiedades Mecánicas según la AWS.....	15
1.4.5 Composición Química según la AWS.....	15
1.4.6 Usos y Aplicaciones. ....	15
1.4.7 Alambre E81T1-NiC. ....	16
1.4.8 Propiedades Mecánicas según la AWS.....	16
1.4.9 Composición Química según la AWS.....	16
1.4.10 Usos y Aplicaciones .....	16
1.5 Uniones Soldadas.....	16
1.5.1 Soldadura de recargue.....	17
1.5.2 Tolerancia Dimensional de acoplamiento de uniones a tope.....	18

1.6	Ensayos no destructivos (END).....	19
1.6.1	Definición .....	19
1.6.2	Clasificación de los ensayos no destructivos. (END).....	19
1.6.3	Inspección visual industrial.....	20
1.6.4	Partículas magnéticas.....	20
1.6.5	Ultrasonido industrial.....	21
1.7	Ensayos Destructivos.....	22
1.7.1	Ensayo de Tracción.....	22
1.7.2	Importancia del ensayo de tracción en la soldadura.....	22
1.7.3	Ensayo de dureza.....	22
1.7.4	Ensayo de doblado.....	23
1.7.5	Ensayo Metalográfico.....	23
<b>2</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>24</b>
2.1	Diseño de pruebas.....	24
2.1.1	Extracción de placas .....	25
2.1.2	Aplicación de Soldadura.....	26
2.1.3	Extracción de probetas.....	27
2.2	Ensayo Metalográfico .....	28
2.2.1	Preparación de las probetas.....	28
2.2.2	Ensayo de Micrografía .....	31
2.2.3	Ensayo de Macrografía .....	32
2.2.4	Ensayo de Dureza.....	32
2.3	Aplicación de Soldadura .....	35
2.3.1	Ensayo de Doblado .....	36
2.3.2	Criterios de aceptación bajo el código AWS D1.1 .....	37
2.3.3	Obtención de probetas .....	37
2.3.4	Procedimiento .....	38
2.3.5	Ensayo de Tracción .....	38
2.3.6	Obtención de probetas y realización del ensayo .....	40
2.3.7	Espectrometría por Chispa.....	41
2.3.8	Identificación de las probetas .....	42
<b>3</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>44</b>
<b>3.1</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>44</b>
3.1.1	Ensayo de Micrografía .....	44
3.1.2	Ensayo de Macrografía .....	47
3.1.3	Resultados del ensayo de Dureza.....	48
3.1.4	Resultados del ensayo de Doblado .....	49

3.1.5	Resultados del ensayo de Tracción.....	55
3.1.6	Resultados de la Espectrometría por Chispa .....	59
3.2	Discusión del comportamiento metalúrgico del material base .....	60
	y de la soldadura aplicada .....	60
3.2.1	Ensayo de Doblado .....	61
3.2.2	Ensayo de Tracción .....	62
3.2.3	Espectrometría por Chispa.....	64
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>65</b>
4.1	CONCLUSIONES.....	65
4.2	RECOMENDACIONES .....	65
<b>5</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>68</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>69</b>
	ANEXO 1 WPS Código llamado Welding Performace Specification (Especificación del Procedimiento de Soldadura) .....	70
	ANEXO 2 WPQ Código llamado Welding Performace Qualification (Soldadura Calificada del Soldador).....	72
	ANEXO 3 Fotografías de la microestructura del ASTM A 572 Gr50 con soldadura agragada.....	75
	ANEXO 4 Plan de ensayos metalográficos y de dureza. ....	80
	ANEXO 5 Informe de doblado, realizado en KUBIEC.....	81
	ANEXO 6 Informe del ensayo de tracción, realizado en KUBIEC .....	84
	ANEXO 7 Informe Técnico de la espectrometría por chispa.....	90



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Modelo de una viga soldada, en el ámbito laboral de la empresa. ....	2
Figura 1.2 Modelo de perfiles armados. ....	3
Figura 1.3 Modelo de una viga armada tipi I y sus partes. ....	3
Figura 1.4 Modelo de un camber, curvatura exagerada. ....	4
Figura 1.5 Diferentes tipos de uniones soldadas. ....	5
Figura 1.6 Gráfica esfuerzo-deformación de diferentes tipos de acero, especificando los dos aceros A572 y A588 estudiados en el proyecto. ....	6
Figura 1.7 Acero estructural ASTM A572 Gr 50, fotografía tomada el ámbito laboral de la empresa. ....	7
Figura 1.8 Acero estructural ASTM A588 Gr A, tomada en el ámbito laboral de la empresa. ....	9
Figura 1.9 Proceso de Soldadura. ....	12
Figura 1.10 Soldadura por arco con núcleo de fundente protegido con gas. ....	12
Figura 1.11 Pistola FCAW para electrodos gaseosa (arriba) y autoprotectidos (abajo). ....	13
Figura 1.12 Curva V-A típica de Potencial constante. ....	13
Figura 1.13 Sistemas de identificación de electrodo para proceso FCAW. ....	14
Figura 1.14 Modelo de una unión soldada. ....	17
Figura 1.15 Parte de la unión soldada a tope en V. ....	17
Figura 1.16 Soldadura de recargue tomada. ....	18
Figura 1.17 Inspección visual de soldadura. ....	20
Figura 1.18 Partículas magnéticas en el cordón de soldadura. ....	21
Figura 1.19 Ultrasonido en el proceso de rehabilitación del material. ....	21
Figura 1.20 Calibración para el ensayo de ultrasonido (longitud de onda ( $\lambda$ )). ....	22
Figura 2.1 Representación del diagrama de Flujo de la Metodología de estudio. ....	24
Figura 2.2 Probetas para ensayos metalográficos y de dureza. ....	28
Figura 2.3 Preparación de las probetas ensayos metalográficos y de dureza. ....	29
Figura 2.4 Probetas después del desbaste grueso para ser ensayadas. ....	29
Figura 2.5 Probetas listas para el ensayo metalográfico. ....	30
Figura 2.6 Reactivos para el ataque químico para las probetas a ensayar metalográficamente. ....	31
Figura 2.7 Dimensiones de las probetas para doblado lateral. ....	37
Figura 2.8 Probetas para el ensayo de doblado. ....	38

Figura 2.9	Proceso del ensayo de doblado.....	38
Figura 2.10	Máquina Universal de ensayos.....	39
Figura 3.1	Gráfica de dureza del material ASTM A572 Gr 50 escala Rockwell B.....	49
Figura 3.2	Gráfica de flexión del material de espesores e6, e15 y e25 Flexión vs Desplazamiento. ....	62
Figura 3.3	Gráfica de tracción del material de espesores e6, e15 y e25, Tensión vs Deformación. ....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Requerimientos de la composición química del A572, según la norma ASTM.....	7
Tabla 1.2	Contenido de elementos químicos del acero A572.....	8
Tabla 1.3	Requerimientos de límite de fluencia y esfuerzo último a la tracción del acero A572. ....	8
Tabla 1.4	Requerimientos de la composición química del A588.....	9
Tabla 1.5	Rango de temperaturas para el comportamiento de cambio de fase del acero A588. ....	10
Tabla 1.6	Soldabilidad del acero en función del carbono equivalente (CE). ....	11
Tabla 1.7	Composición química de E71T1C. ....	15
Tabla 1.8	Composición química de E81T1-Ni1C.....	16
Tabla 1.9	Tolerancias dimensionales.....	19
Tabla 2.1	Diseño de pruebas del acero ASTM A572 Gr 50, con proceso de soldadura FCAW.....	25
Tabla 2.2	Obtención de las placas metálicas de acero A572, facilitadas en la empresa.....	26
Tabla 2.3	Proceso de recuperación del material bases, acero A572. ....	27
Tabla 2.4	Especificaciones de la Máquina cortadora de Hilo. ....	27
Tabla 2.5	Especificaciones técnicas de la máquina desbastadora gruesa.....	29
Tabla 2.6	Especificaciones de la pulidora automática. ....	30
Tabla 2.7	Especificaciones del microscopio electrónico.....	31
Tabla 2.8	Especificaciones del microscopio.....	32
Tabla 2.9	Parámetros para el ensayo de dureza.....	33
Tabla 2.10	Especificaciones del durómetro.....	34
Tabla 2.11	Mediciones de las probetas de prueba de dureza del material base.....	35
Tabla 2.12	Mediciones de las probetas de prueba de dureza del material de aporte. ....	35
Tabla 2.13	Recuperación del material base con el proceso de soldadura FCAW. ....	36
Tabla 2.14	Dimensiones de la probeta de Tracción.....	40
Tabla 2.15	Probetas obtenidas para el ensayo de Tracción.....	41
Tabla 2.16	Especificaciones del espectrómetro por Chispa.....	42
Tabla 2.17	Probetas para el estudio de espectrometría por chispa de espesores e6, e15 y e25 (mm), respectivamente.....	42

Tabla 3.1 Resultados de las probetas ensayadas micrográficamente del material base.....	44
Tabla 3.2 Resultados de las probetas ensayadas micrográficamente del material con soldadura. ....	46
Tabla 3.3 Resultados de las probetas del ensayo de macrografía. ....	47
Tabla 3.4 Dureza del material base y de relleno en escala Rockwell B.....	48
Tabla 3.5 Resultados de las probetas del ensayo de doblado para la aceptación o rechazo del material rehabilitado. ....	50
Tabla 3.6 Gráficas obtenidas del ensayo de doblado ANEXO 4. ....	54
Tabla 3.7 Resultados obtenidos del ensayo de tracción de las probetas de rehabilitación (soldadura).....	55
Tabla 3.8 Resultado de las probetas ensayas a tracción de espesores de e6, e15 y e25 (mm), respectivamente. ....	56
Tabla 3.9 Gráficas del ensayo de tracción aplicadas en la zona soldada. ....	58
Tabla 3.10 Composición química experimental del material base vs la rehabilitación aplicada (soldadura). ....	59
Tabla 3.11 Comparación del material base con la rehabilitación de soldadura vs la especificación del acero A572.....	62

## RESUMEN

En el presente proyecto de titulación se desarrolló la rehabilitación del material base de elementos estructurales mediante un proceso de soldadura, aplicando códigos y normas establecidos para el estudio del mismo como son: la AWS D1.1, las normas ASTM, la NEC-SE-AC, entre otras en el acero ASTM A572. Para realizar los estudios del material se prepararon placas de acuerdo con las normas mencionadas anteriormente, se aplicó el proceso de soldadura FCAW, con soldadores calificados para posteriormente realizar los ensayos no destructivos: inspección visual y ultrasonido, metalográficos y de dureza, así como los ensayos destructivos: tracción y doblado con el fin de evaluar las propiedades mecánicas y microestructurales de las placas. Finalmente se realizó el estudio de la composición química del material base como del material de relleno (soldadura).

**Palabras clave:** Soldadura, Rehabilitación, Material, Acero A572, Propiedades mecánicas, Códigos, Normas.

## **ABSTRACT**

In this degree project, the rehabilitation of the base material of structural elements was developed through a welding process, applying codes and standards established for its study such as: AWS D1.1, ASTM standards, NEC-SE-AC, among others in ASTM A572 steel. To carry out the material studies, plates were prepared in accordance with the standards, the FCAW welding process was applied, with qualified welders to later perform non-destructive tests: visual and ultrasound inspection, metallographic and hardness, as well as tests destructive: traction and bending to evaluate the mechanical and microstructural properties of the plates. Finally, the study of the chemical composition of the base material and the filler material (welding) was carried out.

**Keywords:** Welding, Rehabilitation, Material, Steel A572, Properties Mechanical, Codes, Standards.

# **REHABILITACIÓN DEL MATERIAL BASE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES CON UN PROCESO DE SOLDADURA ADITIVA**

## **INTRODUCCIÓN**

El acero en el mercado de la construcción es muy competitivo por sus propiedades mecánicas, el bajo peso, fácil montaje, pero a su vez exigente, por la seguridad de los diseños estructurales y por una soldabilidad garantizada. El acero estructural en el ámbito de la construcción es un elemento fundamental y esencial, por la elevada resistencia para la edificación, es un material indispensable en esta área. El proceso de soldadura es la unión de materiales, los mismos que se funden por calor.

En la industria metalmecánica el proceso de soldadura es fundamental, ya que, al realizar la soldadura, la unión puede llegar hacer más resistente que los mismos materiales originales como en las propiedades mecánicas, debido a una técnica al soldar. La construcción de estructuras metálicas se basa en normas que rigen parámetros adecuados sobre la calidad de juntas soldadas en las mismas, como son: la AWS D1.1, AWS D1.5, la NEC-SE-AC y la ASTM, son basadas a la aplicación de la soldadura, para evaluar las propiedades mecánicas por medio de la composición del material, la macro y micrografía de este, para garantizar calidad brindando seguridad al cliente.

## **Objetivo general**

Rehabilitar el material base de elementos estructurales con un proceso de soldadura aditiva.

## **Objetivos específicos**

- Determinar los principales parámetros involucrados para recuperar el material base acorde a una revisión bibliográfica.
- Validar el procedimiento de soldadura (WPS), acorde a los códigos de fabricación.
- Caracterizar las propiedades del material mediante pruebas mecánicas y metalográficas.
- Establecer el protocolo de procedimientos adecuados de la soldadura en el material base.

# 1 MARCO TEÓRICO

El desarrollo del proyecto se centra en la recuperación mediante soldadura de la falta de dimensión del material base en elementos fabricados para estructuras metálicas. Es necesario describir estos elementos estructurales, y estudiar las propiedades mecánicas y químicas, con el objetivo que la soldadura agregada sea de similares características.

## 1.1 Fabricación de las Vigas de Acero.

En la industria, el ámbito de los procesos de soldadura ha ido desarrollando formas de utilización a base de calor y/o presión concentrados, ocasionando efectos diferentes en las piezas de unión. La fabricación de un elemento o elementos estructurales ya sea en laminado en caliente, como por ejemplo vigas IPN, UPN, IPE o elementos a partir de flejes y su posterior soldadura, fundamentalmente en aplicaciones de todo tipo de construcción como: puentes, edificios, techos, bodegas de gran tamaño, entre otros, debido a su gran cantidad de dimensiones que existen, con más resistencia por lo cual soporta mayores esfuerzos de compresión y tracción. La fabricación de vigas de acero, las cuales son elementos muy importantes en una construcción, es un proceso ampliamente explotado. En la Figura 1.1 se puede apreciar una de las vigas más comunes fabricadas en la empresa. (AISC, 2010)

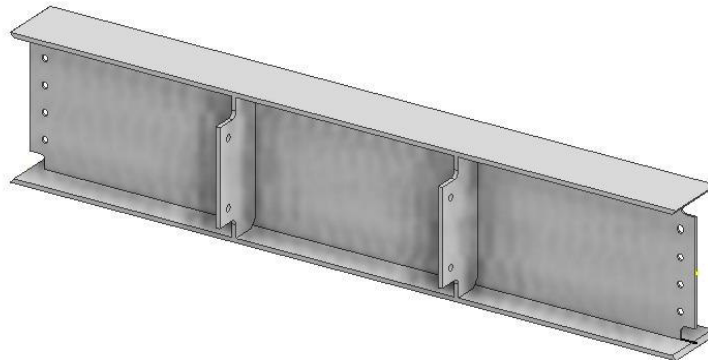


Figura 1.1 Modelo de una viga soldada, en el ámbito laboral de la empresa.

(Fuente: Propia)

### 1.1.1 Perfil Armado tipo O.

Se denomina perfiles armados a aquellas vigas y/o columnas que se construyen uniendo placas metálicas. En cajones de hasta 12 mm de espesor se ensamblan a partir de 2 flejes plegados en forma de C unidos por una soldadura, dos costuras longitudinales. En cajones de espesor de pared mayor a 12 mm, se los forma de 4 flejes unidos por 4 soldaduras longitudinales en cada esquina. Su principal aplicación es como columna,



aunque en algunas ocasiones también son utilizados como vigas, se puede visualizar en la Figura 1.2 un perfil armado tipo cajón, que son perfiles fabricados en la empresa.



Figura 1.2 Modelo de perfiles armados.

(Fuente: Propia)

### 1.1.2 Vigas armadas tipo I.

La manera habitual acerca de la fabricación de vigas es por medio de la unión de dos patines soldados al alma, cuando sea necesario rigidizar al alma, estos vienen unidos a uno o a ambos lados según lo amerite el consumidor. Se asume que el patín resistirá todo el momento flector y el alma resistirá todo el esfuerzo cortante. Cada elemento estructural de la viga es de vital importancia en su funcionalidad, ver Figura 1.3.

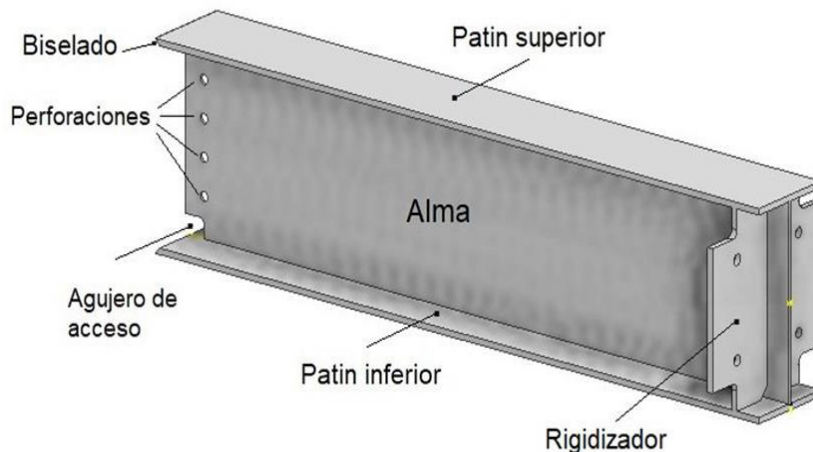


Figura 1.3 Modelo de una viga armada tipo I y sus partes.

(Fuente: Propia)

**Alma.** – Elemento metálico que trabaja como material base y está diseñado para tener suficiente resistencia, por lo que está conectada a los patines, los mismos que sufren aplastamientos.

**Patín.** - Elemento metálico que se encuentra en los extremos del alma capaz de soportar grandes cargas concentradas.

**Perforación.** – Es una acción que se realiza en la superficie mediante un taladro atravesando en su totalidad o en una parte, estas perforaciones permiten la conexión en montaje.

**Agujeros de acceso.** – Son boquetes que permiten el fácil acceso de la unión de soldadura entre conjuntos estructurales, para realizar la soldadura.

**Bisel.** – Corte inclinado que se realiza en el borde de una plancha, platina o lámina con el fin de dejar preparado lo que será una soldadura de campo.

**Camber.** – Es la curvatura determinada por diseño con el objetivo de que al momento de estar en servicio se deflacte lo necesario. En la Figura 1.4 se muestra el modelo de un camber un poco exagerado con sus partes importantes de una viga.

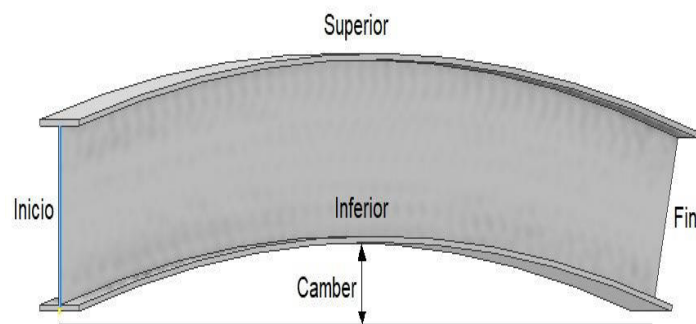


Figura 1.4 Modelo de un camber, curvatura exagerada.

(Fuente: Propia)

Los biseles en patines, y los inicios y finales en el alma en el caso de las vigas tipo I y H, serán a priori en campo parte de una unión soldada, al igual que en el caso de los cajones la boca y la cola biselada. Nuestro principal problema se centra en la disminución de la longitud de los elementos, lo que conlleva a tener un exceso de separación de raíz en la unión soldada de campo. En la sección 1.5 describiremos las partes importantes de una unión soldada. Dependiendo del uso de la soldadura o pernos, se presenta los tipos de uniones soldadas, como se muestra en la Figura 1.5.

Cuando existen condiciones que favorezcan la soldadura, es más económico y rápido realizar la unión. Para efectos de este estudio determinaremos la unión soldada a tope. Una unión soldada a tope es la forma de unión donde las piezas a soldar están colocadas una frente a la otra en un mismo plano, ver Figura 1. 5.

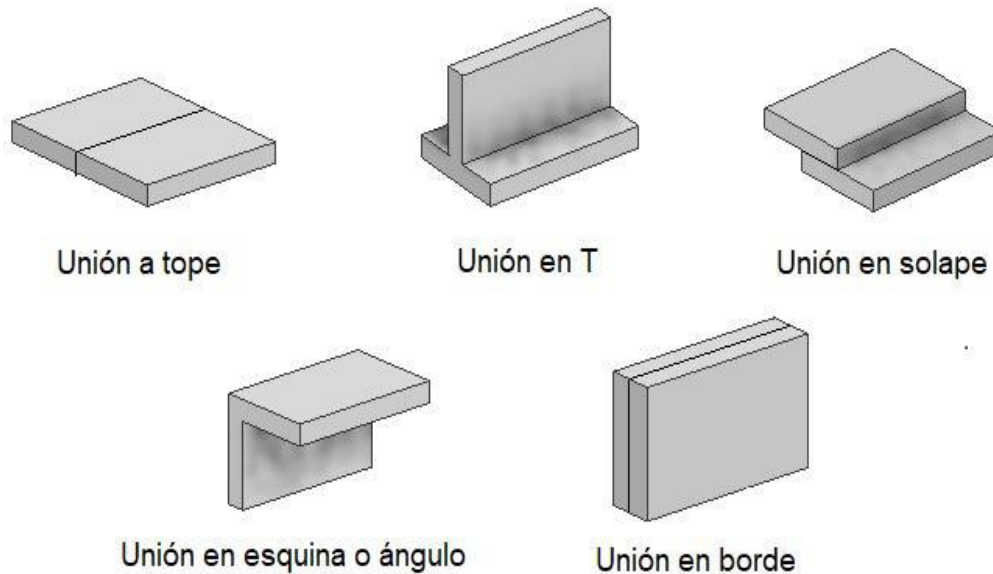


Figura 1.5 Diferentes tipos de uniones soldadas.

(Fuente: Propia)

## 1.2 Generalidades del Acero Estructural.

El acero, material de gran importancia en el área de la construcción por su alta resistencia, en tensión y compresión, su alta rigidez y su facilidad de fabricación. Gracias a sus propiedades mecánicas el acero está influenciado al proceso de laminación, velocidad de enfriamiento tratamiento térmico, temperatura, etc., gracias a estos factores se puede seleccionar la calidad y el tipo de material según la aplicación. (AHMSA, 2013)

Los aceros estructurales por lo general son usados para la producción y construcción estructural de proyectos como son: puentes, edificios, herrajes eléctricos, entre otros; los mismos que son especificados por la ASTM, la misma que establece requerimientos para este tipo de aceros. El material con el que trabaja la empresa en sus proyectos para este tipo de construcción es el ASTM A588 Gr A y el ASTM A572 Gr 50, así mismo como el uso del A36 son aceros con las mismas propiedades mecánicas, pero su composición química varía en pocos porcentajes, están normalizados bajo la norma ASTM. (NEC, 2015). Pero el estudio de este proyecto se centra más en el acero ASTM A572. En la Figura 1.6 se observa la gráfica de esfuerzo en función de la deformación para varios grados de acero, como los mencionados anteriormente el A588, A572 y el A36.

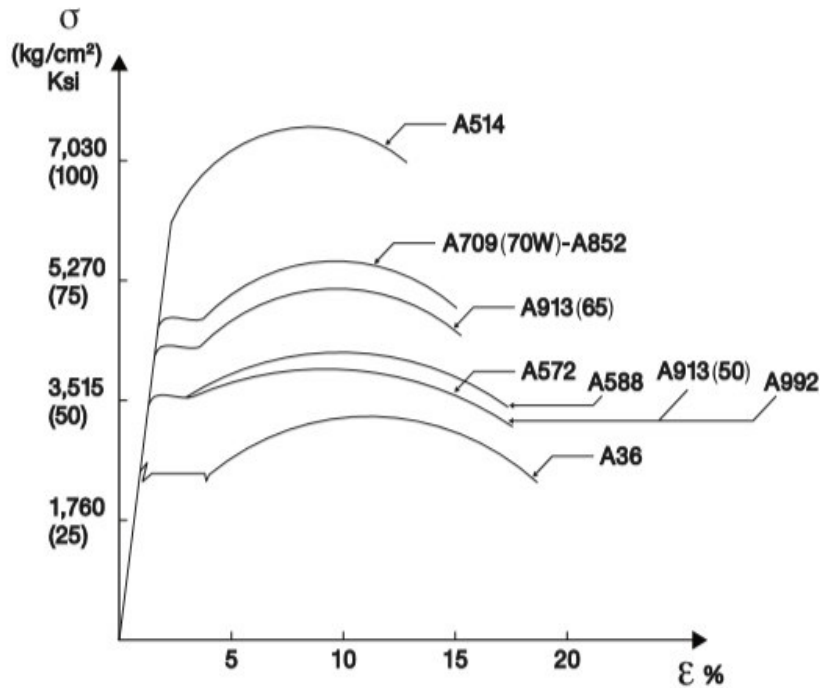


Figura 1.6 Gráfica esfuerzo-deformación de diferentes tipos de acero, especificando los dos aceros A572 y A588 estudiados en el proyecto.

(Fuente: AHMSA, 2013)

### 1.2.1 Acero Estructural ASTM A572 GR 50.

El A572 Gr 50 es una especificación de la ASTM de alta resistencia / baja aleación, actualmente es el más utilizado en la construcción de estructuras de gran tamaño al poseer mayor resistencia que otros aceros al carbono. Este acero se encuentra en el mercado con Grados de 42, 50, 55, 60 y 65, su selección depende en los requisitos entre el comprador y el productor. Dispone de un nivel mínimo de resistencia de 50000 psi, posee buen manejo y facilidad para ser soldado, cuenta con gran ductilidad, buena resistencia a la fatiga, siendo su principal propiedad la resistencia a la tracción. (ASTM-A572, 2021)

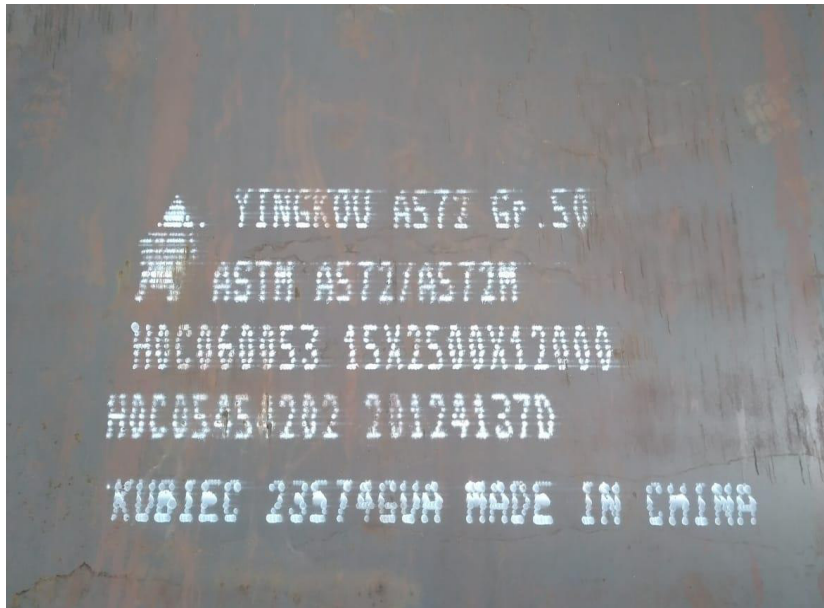


Figura 1.7 Acero estructural ASTM A572 Gr 50, fotografía tomada el ámbito laboral de la empresa.

(Fuente: Propia)

### 1.2.2 Composición Química.

En la Tabla 1.1 presenta los requerimientos de la composición química de la especificación A572 GR 50, según la ASTM.

Tabla 1.1 Requerimientos de la composición química del A572, según la norma ASTM

Diameter, Thickness, or Distance Between Parallel Faces, in. [mm] Plates and Bars	Structural Shape Flange or Leg Thickness, in. [mm]	Grade	Carbon, max, %	Manganese, <sup>B</sup> max, %	Phosphorus, <sup>I</sup> max, %	Sulfur, <sup>I</sup> max, %	Silicon	
							Plates to 1½ in. [40 mm] Thick, Shapes with Flange or Leg Thickness to 3 in. [75 mm] inclusive, Sheet Piling, Bars, Zees, and Rolled Tees <sup>C</sup>	Plates Over 1½ in. [40 mm] Thick and Shapes with Flange Thickness Over 3 in. [75 mm]
							max, %	range, %
6 [150]	all	42 [290]	0.21	1.35 <sup>D</sup>	0.030	0.030	0.40	0.15-0.40
4 [100] <sup>E</sup>	all	50 [345]	0.23	1.35 <sup>D</sup>	0.030	0.030	0.40	0.15-0.40
2½ [64] <sup>F</sup>	all	55 [380]	0.25	1.35 <sup>D</sup>	0.030	0.030	0.40	0.15-0.40
2½ [64] <sup>F</sup>	≤2 [50]	60 [415]	0.26	1.35 <sup>D</sup>	0.030	0.030	0.40	0.15-0.40
>½ - 2 [13-50]	>1-2 [25-50]	65 [450]	0.23	1.65	0.030	0.030	0.40	0.15-0.40
≤½ [13] <sup>H</sup>	≤1	65 [450]	0.26	1.35 <sup>D</sup>	0.030	0.030	0.40	<sup>G</sup>

(Fuente: ASTM-A572, 2021)

En la Tabla 1.2 se muestra los contenidos del acero A572, según la norma ASTM.

Tabla 1.2 Contenido de elementos químicos del acero A572.

Type <sup>A</sup>	Elements	Heat Analysis, %
1	Columbium/niobium <sup>E</sup>	0.005–0.05 <sup>B</sup>
2	Vanadium	0.01–0.15 <sup>C</sup>
3	Columbium/niobium <sup>E</sup>	0.005–0.05 <sup>B</sup>
	Vanadium	0.01–0.15 <sup>C</sup>
	Columbium/niobium <sup>E</sup> plus vanadium	0.02–0.15 <sup>D</sup>
5	Titanium	0.006–0.04
	Nitrogen	0.003–0.015
	Vanadium	0.06 max

(Fuente: ASTM-A572, 2021)

En la Tabla 1.3 se presenta los requerimientos de las propiedades mecánicas de la especificación normalizada A572 GR 50, según la ASTM.

Tabla 1.3 Requerimientos de límite de fluencia y esfuerzo último a la tracción del acero A572.

Grade	Yield Point, min		Tensile Strength, min		Minimum Elongation, % <sup>B, C, D</sup>	
	ksi	[MPa]	ksi	[MPa]	in 8 in. [200 mm]	in 2 in. [50 mm]
42 [290]	42	[290]	60	[415]	20	24
50 [345]	50	[345]	65	[450]	18	21
55 [380]	55	[380]	70	[485]	17	20
60 [415]	60	[415]	75	[520]	16	18
65 [450]	65	[450]	80	[550]	15	17

(Fuente: ASTM-A572, 2021)

### 1.2.3 Acero Estructural ASTM A588 Gr A

El A588 Gr A. es de baja aleación / alta resistencia, se utiliza en el tipo de construcción de puentes, cargados cíclicamente con uniones soldadas, remachadas o atornilladas presentan mayor durabilidad. La resistencia a la corrosión atmosférica de este acero en su mayoría de los entornos es mejor que de los aceros estructurales al carbono con o sin adición de cobre. Por lo que este tipo de acero es una buena opción para estructuras expuestas a las condiciones ambientales. (ASTM A588, 2019). En la Figura 1.12 se puede apreciar el acero estructural A588 usado en la planta.



Figura 1.8 Acero estructural ASTM A588 Gr A, tomada en el ámbito laboral de la empresa.

(Fuente: Propia)

### 1.2.4 Composición Química.

En la Tabla 1.4 se presenta los requerimientos de la composición química de la especificación normalizada A588 GR A, según la ASTM.

Tabla 1.4 Requerimientos de la composición química del A588.

NOTE 1—Where “...” appears in this table, there is no requirement.

Element	Composition, %		
	Grade A	Grade B	Grade K
Carbon <sup>A</sup>	0.19 max	0.20 max	0.17 max
Manganese <sup>A</sup>	0.80–1.25	0.75–1.35	0.50–1.20
Phosphorus <sup>C</sup>	0.030 max	0.030 max	0.030 max
Sulfur <sup>C</sup>	0.030 max	0.030 max	0.030 max
Silicon	0.30–0.65	0.15–0.50	0.25–0.50
Nickel	0.40 max	0.50 max	0.40 max
Chromium	0.40–0.65	0.40–0.70	0.40–0.70
Molybdenum	...	...	0.10 max
Copper	0.25–0.40	0.20–0.40	0.30–0.50
Vanadium	0.02–0.10	0.01–0.10	...
Columbium/ niobium <sup>D</sup>	...	...	0.005–0.05 <sup>B</sup>

(Fuente: ASTM A588, 2019)

En la Tabla 1.5 se presenta los requerimientos de propiedades mecánicas de la especificación A588 Gr A, según la ASTM.

Tabla 1.5 Rango de temperaturas para el comportamiento de cambio de fase del acero A588.

NOTE 1—Where “. . .” appears in this table, there is no requirement.

	Plates and Bars			Structural Shapes
	For Thick- nesses 4 in. [100 mm] and Under	For Thick- nesses Over 4 in. [100 mm] to 5 in. [125 mm] incl	For Thick- nesses Over 5 in. [125 mm] to 8 in. [200 mm] incl	All
Tensile strength, min,ksi [MPa]	70 [485]	67 [460]	63 [435]	70 [485]
Yield point, min, ksi [MPa]	50 [345]	46 [315]	42 [290]	50 [345]
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	18 <sup>B,C</sup>	...	...	18 <sup>C</sup>
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 <sup>B,C</sup>	21 <sup>B,C</sup>	21 <sup>B,C</sup>	21 <sup>D</sup>

(Fuente: ASTM A588, 2019)

### 1.2.5 La Soldabilidad de los aceros.

La soldabilidad es una propiedad de los aceros estructurales para establecer uniones o conexiones soldadas, la misma que cumpla las características establecidas por el tipo de requerimientos técnicos. La composición química de los aceros influye mucho en la soldabilidad, gracias a la fórmula del carbono equivalente, que se expresa de manera relativa respecto al carbono en la soldadura. Se indica a continuación las fórmulas del carbono equivalente. (AHMSA, 2013)

Ecuación establecida por la AWS D1.1

$$CE = C + \frac{(Mn + Si)}{6} + \frac{(Cr + Mo + Cb + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15} \quad (1)$$

Ecuación desarrollada por el Instituto Internacional de Soldadura.

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15} \quad (2)$$

Ecuación de Ito y Bssyo

$$CE = C + \frac{Si}{30} + \frac{(Cr + Mn + Cu)}{5} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (3)$$

Al determinar el carbono equivalente (CE) y sea menor a 0.50, es una soldabilidad aceptable, el Instituto Internacional de Soldadura propone que la ecuación dos es la más utilizada.

En la Tabla 1.6 se muestra la soldabilidad del carbono equivalente.



Tabla 1.6 Soldabilidad del acero en función del carbono equivalente (CE).

<b>Carbono Equivalente (CE)</b>	<b>Soldabilidad</b>
<b>CE &lt; 0.40</b>	Excelente
<b>0.41 &lt; CE ≤ 0.45</b>	Buena
<b>0.46 &lt; CE ≤ 0.52</b>	Regular
<b>CE &gt; 0.52</b>	Pobre

(Fuente: AHMSA, 2013)

Los procesos de soldadura disponibles en el área industrial son: manual, semiautomático y automático, esto depende si el tipo de soldadura es de taller o de campo. La composición química es vital en el acero, ya que garantiza la fusión del metal base con el metal del electrodo sin formación de discontinuidades como grietas o imperfecciones similares.

Para las especificaciones de la ASTM, como el A572 Gr 50 y el A588 Gr A, la soldadura debe realizarse de acuerdo con los requerimientos de la AWS D1.1. Sin embargo, para la aplicación de soldadura estructural, es de vital importancia, tanto para el diseñador como para el fabricante determinar si el material es adecuado para la soldadura. (AWS D1.1, 2020)

## **1.3 Proceso de Soldadura.**

### **1.3.1 Soldadura.**

Unión localizada en los metales o no metales, por la aplicación de calor intenso provocado generalmente al pasar un arco eléctrico entre los metales a soldar, con o sin aplicación de calor, con o sin material de aporte. Es necesario aplicar calor hasta que el material de aporte se funda, por esa razón la soldadura se refiere a las operaciones usadas para llevar a cabo el proceso de unión. Uno de los procesos más comunes de soldadura en la planta es el proceso de fabricación FCAW por lo que se lo estudiará a detalle dentro de este marco. En la Figura 1.9, puede visualizar el proceso de soldadura por arco siendo ejecutado.



Figura 1.9 Proceso de Soldadura.

(Fuente: Propia)

## 1.4 Soldadura por Arco con Núcleo Fundente (FCAW).

La soldadura FCAW, conocido como un proceso de soldadura por arco con alambre tubular, aprovecha al formar un arco generando un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura como se puede apreciar en la Figura 1.10, mostrando al electrodo tubular que es sustentado a través de un tubo de conexión de la pistola, para crear un arco entre el electrodo y la pieza de trabajo depositando un cordón de metal con una capa de escoria (American Welding Society, 1988)

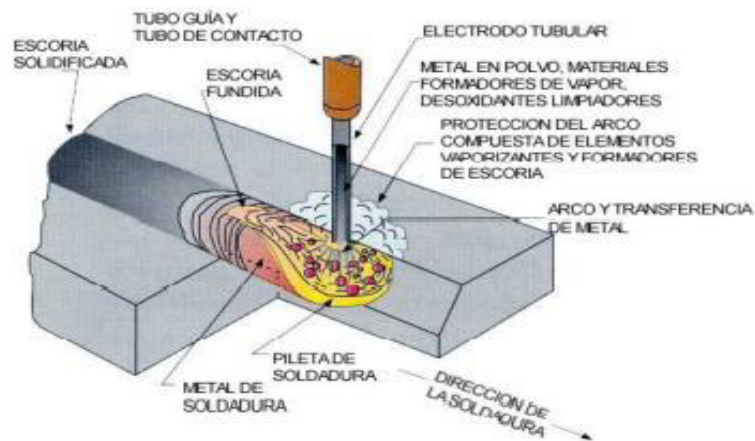


Figura 1.10 Soldadura por arco con núcleo de fundente protegido con gas.

(Fuente: American Welding Society, 1988)

El proceso FCAW, puede hacer uso o no de protección gaseosa dependiendo del tipo de electrodo, el mismo que requiere el método de aplicación y protección del arco, el charco de soldadura va contra la contaminación de los gases atmosféricos como: Oxígeno ( $O_2$ ) y el Nitrógeno ( $N_2$ ), una de ellas con autoprotección que resguarda el material fundido.

El otro método con protección de gas, utilizando un flujo de gas protector, además la acción del núcleo fundente. En los dos métodos el material proporciona una cubierta de escoria el mismo que protege el metal de soldadura durante la solidificación. Estos procesos pueden ser automáticos, semiautomáticos y mecanizados (American Welding Society, 1988). Para el proceso FCAW se requiere o no gas de protección, esto es de gran importancia para el inspector de soldadura, como se puede apreciar en la Figura 1.11.



Figura 1.11 Pistola FCAW para electrodos gaseosa (arriba) y autoprotegidos (abajo).

(Fuente: (American Welding Society, 1988))

El proceso FCAW trabaja con un voltaje constante el cual es regulado directamente en la máquina. El proceso se denomina de curva V-A, como se aprecia en la Figura 1.12 donde muestra una línea inclinada, la misma que permite que el proceso funcione con una configuración semiautomática, lo que significa que el soldador no controla la alimentación del metal de aporte. (American Welding Society, 1988)

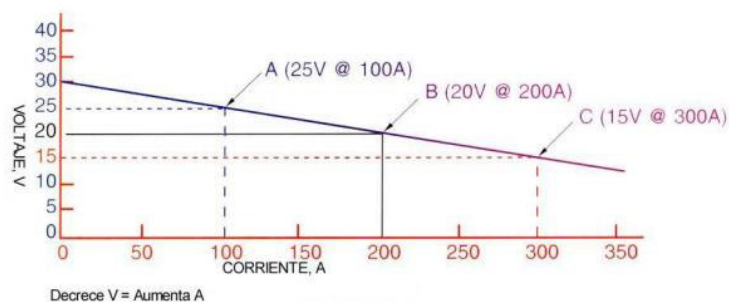


Figura 1.12 Curva V-A típica de Potencial constante.

(Fuente: (American Welding Society, 1988))

#### 1.4.1 Identificación del Electrodo.

En el proceso de FCAW, como en todos los procesos cuentan con un sistema de identificación por la existencia de distintos tipos de electrodos, este consiste de una

cubierta de acero de bajo contenido de carbono. La composición de cada uno de los electrodos varía según el fabricante o de acuerdo a la clasificación de cada uno de ellos. (West Arco, 2015). Para la identificación de los tipos de electrodo es necesario tener en consideración la polaridad, numero de pases y la posición de soldadura. En la Figura 1.13 representa como se identifica un electrodo para el proceso FCAW, se menciona a continuación a cada una de ellas:

- E” es el electrodo
- “X” mínima Resistencia a la tracción
- “X” posición plana o filete horizontal (“0” y “1”, si es 1 es para todas las posiciones)
- “T” que se refiere a un electrodo tubular
- “X” composición química del metal de soldadura

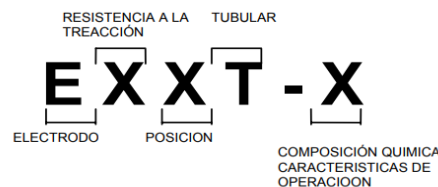


Figura 1.13 Sistemas de identificación de electrodo para proceso FCAW.

(Fuente: Manual de soldadura, 2013)

Los fabricantes consideran la composición precisa de sus electrodos con núcleo como un secreto industrial. Si se seleccionan los ingredientes de núcleo correctos (en combinación con la composición de la funda), es posible lograr lo siguiente:

- Producir características de soldadura que van desde altas tasas de deposición en la posición plana hasta llegar a la fusión y forma de franja de soldadura apropiadas en la posición cenital.
- Producir electrodos para diversas mezclas de gases protectores y para autoprotección.
- Variar el contenido de elementos de aleación del metal de soldadura, desde acero dulce con ciertos electrodos hasta acero inoxidable de alta aleación con otros. (West Arco, 2015)

#### 1.4.2 Aplicaciones Importantes del Proceso FCAW.

- Emplear para soldar aceros al carbono y de baja aleación, como por ejemplo los aceros inoxidables o hierros colados.

- El proceso FCAW depende del tipo de electrodo y a las propiedades del material al que se quiere llegar en una unión soldada.
- El proceso FACW es de mayor productividad en comparación con arco de metal protegido, lo que se reduce a costos globales más bajos.
- El proceso FCAW tiene extensas aplicaciones en la fabricación y construcción en campo, para ajustar requiere de la ASME, a las reglas de la ANSI/AWS D1.1 del código de soldadura.
- En comparación con la Soldadura por Arco con Electrodo de Tungsteno y Protección Gaseosa libre de escoria, entre una pasada.(West Arco, 2015)

En el presente estudio se lo realizará con los siguientes consumibles para la reparación, en este caso se menciona los alambres como el E71T1C y el E81T1-NiC.

### 1.4.3 Alambre E71T1C.

De acuerdo con la AWS D1.1-2020 y AWS D1.5 -2020 para el acero dulce se clasifica con los requisitos de la última edición de ANSI/AWS A5.20. Una revisión de los tipos de electrodos mencionando que el electrodo E71T1C es un alambre para ser aplicable por el proceso FCAW. (A.W.S. A 5.20, 2017)

### 1.4.4 Propiedades Mecánicas según la AWS.

Dos de las propiedades más importantes del alambre es la resistencia a la tensión de 70 Ksi (480MPa) y una elongación de 22%.

### 1.4.5 Composición Química según la AWS.

En la tabla 1.7 se detalla la composición química del electrodo E71T1C el mismo con el que se trabaja para la rehabilitación del material base.

Tabla 1.7 Composición química de E71T1C.

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Va	Al	Cu
0.18	1.75	0.90	0.03	0.30	0.20	0.50	0.30	0.08	-	0.35

(Fuente :A.W.S. A 5.20, 2017)

### 1.4.6 Usos y Aplicaciones.

Excelente para construcción pesada, recipientes de alta presión en placas de gran espesor, recipientes y miembros de maquinaria, palas, tanques, compuestas, hornos, tolvas y sistemas de transportación. En general toda construcción o mantenimiento se

requieren de uniones resistentes, libres de fallas, con buen acabado y gran volumen de depósito. (A.W.S. A 5.20, 2017)

#### **1.4.7 Alambre E81T1-NiC.**

Es un alambre E81T1-Ni1C, es un electrodo de baja aleación para un proceso de soldadura por arco con núcleo fundente, brindado con gas y aceros de baja aleación que requieren una tensión mínima de 80Ksi y buenos valores de CVN (propiedades mecánicas excepcionales). Un electrodo destinado para soldar en todas las posiciones tanto simples como de múltiples pasadas, utilizando un gas protector (A5.29, 2008)

#### **1.4.8 Propiedades Mecánicas según la AWS.**

Dos de las propiedades más importantes del alambre es la resistencia a la tensión de 80-100 Ksi (550-690 MPa) y una elongación de 19%.

#### **1.4.9 Composición Química según la AWS.**

En la tabla 1.8 se detalla la composición química del electrodo E81T1NiC el mismo con el que se trabaja para la rehabilitación del material base.

Tabla 1.8 Composición química de E81T1-Ni1C.

<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>
0.12	1.50	0.80	0.03	0.30	0.20	0.80- 1.10	0.35	0.05

(Fuente: A5.29, 2008)

#### **1.4.10 Usos y Aplicaciones**

Ideal para construcción pesada, fabricación de puentes de alta resistencia en fabricación estructural, soldadura de una o varias pasadas, para construcción naval, ideal para estructuras expuestas al ambiente sin protección de pintura (A5.29, 2008)

### **1.5 Uniones Soldadas**

Mediante el uso de los procesos de soldadura se pueden obtener uniones soldadas con resistencia mecánicas igual a la de las piezas a soldar, estos procesos tienen aplicaciones diferentes ya sea en construcción de calderas de vapor, tubos de hornos de petróleo, puentes aviones, elementos de máquinas, edificios, entre otros. En el proceso de soldadura es importante conocer cómo afectan a este los diferentes factores involucrados, en los cambios estructurales por ejemplo en la zona de la ZAC que es la parte del material que no ha sido fundida.

El calentamiento o producto de otras energías propias del proceso de soldadura, donde los cambios de las metalografías del material las propiedades mecánicas pueden variar, el proceso del calentamiento de los granos de los aceros depende de factores como la temperatura y el tiempo de permanencia a esta temperatura. (Terán Herrera & Andaluz Ortiz, 2018). En la Figura 1.14 se muestra las partes de una unión de soldadura.

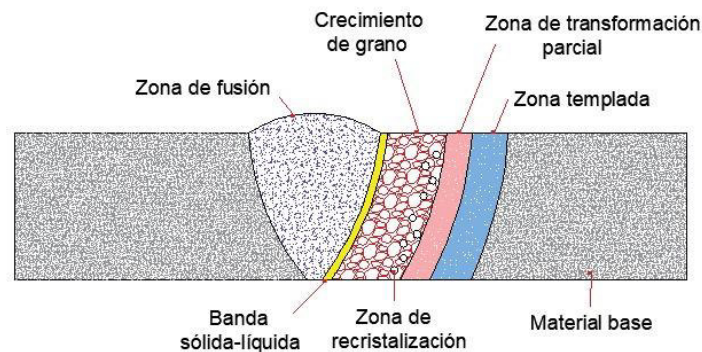


Figura 1.14 Modelo de una unión soldada.

(Fuente: Propia)

Adicionalmente se puede realizar una preparación en los bordes a soldar dependiendo del diseño y uso que vaya a tener. En la unión a tope se pueden realizar diferentes soldaduras, ver Figura 1.15. (AISC, 2010)

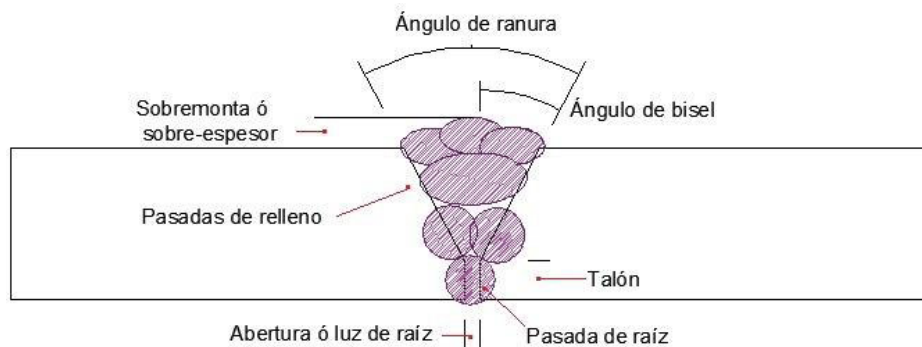


Figura 1.15 Parte de la unión soldada a tope en V.

(Fuente: Propia)

### 1.5.1 Soldadura de recargue.

Los soldadores muchas veces suelen colocar capa tras capa de soldadura (recargue de material), sobre superficies de los metales, esto influye mucho en el área de la construcción o reparación. El soldador puede ser designado a realizar un tipo de recargue, mediante un proceso de mecanizado para alcanzar la dimensión deseada. Una soldadura de recargue es definida como, una soldadura aplicada a una superficie,

para obtener las dimensiones deseadas. (Hay & Termsdefinitions, 2016). En la Figura 1.16 se muestra el proceso de recargue de soldadura.

El enmantecado, proceso de variación de la superficie que deposita el metal superficial en una o más superficies para proveer metales soldados metalúrgicamente compatible para completar la soldadura. (Hay & Termsdefinitions, 2016)

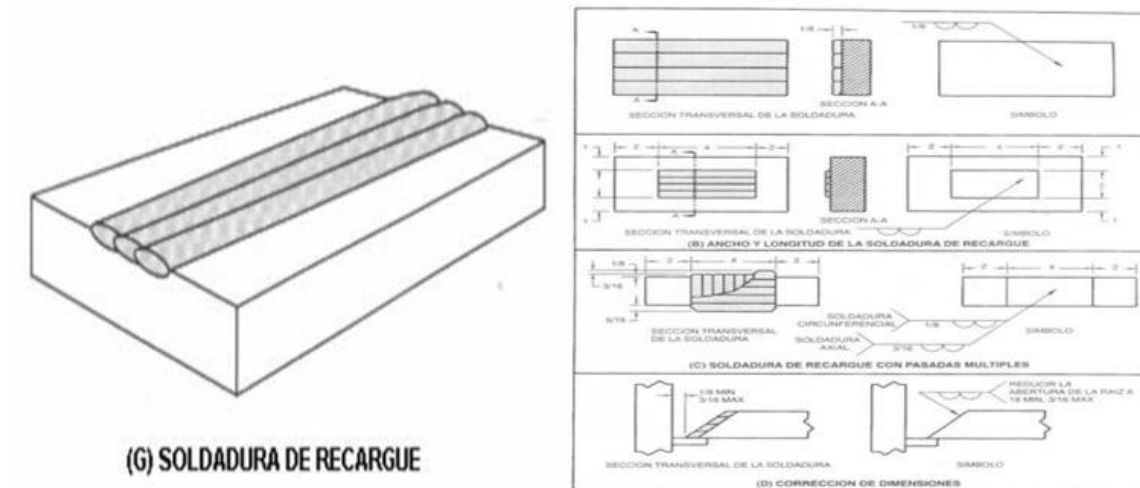


Figura 1.16 Soldadura de recargue tomada.

(Fuente: AWS D1.1, 2020)

### 1.5.2 Tolerancia Dimensional de acoplamiento de uniones a tope.

La tolerancia de los elementos estructurales está relacionada con el montaje del elemento, la medición de estas tolerancias se encarga el inspector de control de calidad, el control se lo realiza a todos y cada uno de los elementos para registrarlos en una aplicación donde pone las discontinuidades del elemento a evaluar, haciendo llegar esa información al responsable de esa área. La medición de diversas magnitudes es necesaria con el fin de constatar que estas mediciones a controlar cumplan con los requisitos establecidos en el diseño y planos de fabricación según el código, o las exigencias del cliente. (AWS D1.1, 2020)

Las ranuras más grandes que las permitidas, pero no mayores a dos veces el espesor de la parte delgada 20 mm, o que sea menor, pueden corregirse por soldadura a dimensiones aceptables antes del proceso de soldadura. Así la aprobación del ingeniero debe cumplir con los requisitos según el código permitido en la corrección, las mismas que son corregidas únicamente por un proceso de soldadura con validación del ingeniero. (AWS D1.1, 2020). En la tabla 1.9 se muestra las tolerancias dimensionales de acoplamiento para uniones soldadas.



Tabla 1.9 Tolerancias dimensionales.

<b>Tabla 7.6</b>					
<b>Tolerancia de contraflecha para vigas comunes sin cartela de concreto diseñada (ver 7.22.4)</b>					
Tolerancia de contraflecha (en pulgadas)					
a/S Vano	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
≥ 100 ft	1/4	1/2	5/8	3/4	3/4
< 100 ft	1/8	1/4	5/16	3/8	3/8
Tolerancia de contraflecha (en milímetros)					
a/S Vano	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
≥ 30 m	7	13	17	19	20
< 30 m	4	6	8	10	10

(Fuente: (AWS D1.1, 2020)

Para la realización de este proyecto se procede a realizar ensayos no destructivos, destructivos y de metalografía, con el fin de evaluar la rehabilitación del material base mediante la aplicación con soldadura. Estos mismos procesos mecánicos se detallará con mayor exactitud en el siguiente capítulo.

## **1.6 Ensayos no destructivos (END).**

### **1.6.1 Definición**

Los END son tipos de pruebas realizadas a un material de tal manera que se alteran sus propiedades mecánicas, físicas, químicas, su forma y dimensiones, estos ensayos no ocasionan daño al material. En la construcción y la metalurgia de los materiales se realizan estos ensayos, los mismos que tienen como objetivo analizar sin afectar las propiedades ya mencionadas anteriormente, asegurando la calidad y confiabilidad de los clientes y dejándolos aptos para su uso.

### **1.6.2 Clasificación de los ensayos no destructivos. (END)**

Los END aplicados en la industria son:

Discontinuidades superficiales como:

- Inspección visual.
- Partículas magnéticas.
- Líquidos penetrantes.

Discontinuidades internas como:

- Ultrasonido Industrial.
- Radiografía Industrial.

A continuación, se detallan los END que se realizan en la empresa.

### 1.6.3 Inspección visual industrial.

Es un ensayo no destructivo superficial de un material, para encontrar condiciones de conformidad, utilizando materiales de uso adecuado como una linterna, galgas y la vista. Este ensayo es recomendado realizar en todo proceso de fabricación y montaje, con el fin de asegurar la calidad de la soldadura. Para realizar una buena inspección visual la realiza el inspector de soldadura, apto para este tipo de proceso, el mismo que tiene conocimientos de los procesos de soldadura, uso de normas, uso de planos y agilidad física para acceder a zonas complicadas. En la Figura 1.17 se indica una inspección visual adecuada haciendo uso de los instrumentos.



Figura 1.17 Inspección visual de soldadura.

(Fuente: Propia)

### 1.6.4 Partículas magnéticas.

Este ensayo no destructivo se visualiza los bordes de las discontinuidades superficiales se vuelven polos magnéticos a cada lado de la soldadura. La detección de discontinuidades se puede lograr hasta  $\frac{1}{4}$  de profundidad aproximadamente en materiales ferromagnéticos. A continuación, en la Figura 1.18 se visualiza el proceso de partículas magnéticas.



Figura 1.18 Partículas magnéticas en el cordón de soldadura.

(Fuente: Propia)

### 1.6.5 Ultrasonido industrial.

El ultrasonido es un ensayo para realizar inspecciones con energía acústica de alta frecuencia, donde se detecta ondas que son reflejadas en la pantalla, como se visualiza en la Figura 1.19, se puede realizar en materiales fundidos, soldados, forjados e incluso en materiales compuesto.

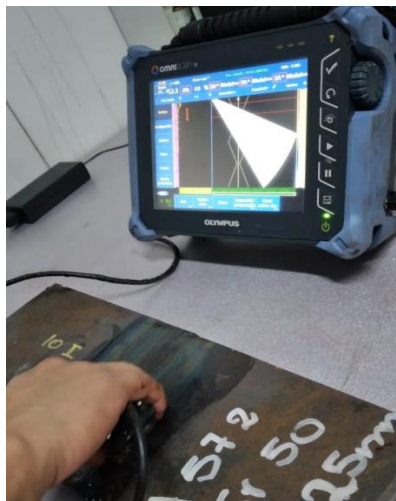


Figura 1.19 Ultrasonido en el proceso de rehabilitación del material.

(Fuente: Propia)

Las ondas ultrasónicas son muy similares a las ondas de luz en que pueden ser reflejadas, refractadas y enfocadas. En la Figura 1.20 se muestra al operador calibrando la longitud de onda para el ensayo.



Figura 1.20 Calibración para el ensayo de ultrasonido (longitud de onda ( $\lambda$ )).

(Fuente: Propia)

## **1.7 Ensayos Destructivos.**

Al aplicar un ensayo destructivo a los materiales o piezas estos van a sufrir daños, una leve marca, una deformación permanente o simplemente a una rotura. Se detallan a continuación algunos ensayos destructivos que serán utilizados para el análisis del estudio: ensayo de tracción, dureza y doblado.

### **1.7.1 Ensayo de Tracción.**

Mide la resistencia del material al ser aplicada una fuerza estática, es uno de los ensayos más importantes en la industria, por reportar las propiedades del material como: el punto de fluencia, la resistencia, el último esfuerzo, entre otras.

### **1.7.2 Importancia del ensayo de tracción en la soldadura.**

Las pruebas de tracción consisten en estirar al metal de soldadura hasta llegar a la rotura, a partir de esto se obtiene el gráfico de esfuerzo deformación, para analizar los diferentes resultados, como es la resistencia máxima a la tracción y poder validar la soldadura que se realizó en la recuperación del material. Estos resultados se validarán en el siguiente capítulo, en donde se realiza las pruebas de los ensayos mencionados.

### **1.7.3 Ensayo de dureza.**

Es la resistencia que se opone a un material al ser penetrado un objeto más duro, la penetración que se la realiza es por medio de una punta. El ensayo es útil para la evaluación de las propiedades y componentes del material. En la soldadura el ensayo es aplicado en la zona afectada por el calor (ZAC), para determinar si las altas temperaturas a las que fue sometidas y por los enfriamientos rápidos puede tener algún daño.

#### **1.7.4 Ensayo de doblado.**

Estudia la ductilidad, rigidez y la soldabilidad del material, el proceso se realiza hasta que el material este en forma de U, este proceso se realiza con una prensa que al aplicar al material pueda deformar. En el siguiente capítulo se detalla el procedimiento del ensayo metalográfico de la soldadura realizada en la rehabilitación del material.

#### **1.7.5 Ensayo Metalográfico.**

El análisis metalográfico, su principal objetivo es estudiar los componentes microestructurales de los metales y de las aleaciones, para la comparación de las propiedades mecánicas, físicas y químicas de estas. El análisis de importancia del ensayo es el estudio microscópico del metal o de la aleación, para la validación de este en el tratamiento mecánico del material dando resultados confiables, gracias a la preparación adecuada de la muestra.

## 2 METODOLOGÍA

En este capítulo se estudian las características y propiedades mecánicas de la rehabilitación del material base en estructuras metálicas del acero ASTM A572 GR 50 con alambre tubular E71T1-C. Se realizarán ensayos destructivos, no destructivos, y metalográficos los cuales tienen como finalidad la rehabilitación del material base y la evaluación de las propiedades y características, los mismos que estén requeridos bajo las normativas como la AWS D1.1 -2020, AWS D1.5 y la NEC-SE-AC que presentan requerimientos de diseño, fabricación y montaje de estructuras de acero soldado y la ASTM.

En la Figura 2.1, presenta un diagrama de flujo del desarrollo empleado de los ensayos que se estudiara para la comparación de las propiedades mecánica y microestructurales en cada una de las probetas con rehabilitación en el material base (soldadura), con lo cual esto lleva a cumplir los objetivos en el proyecto.

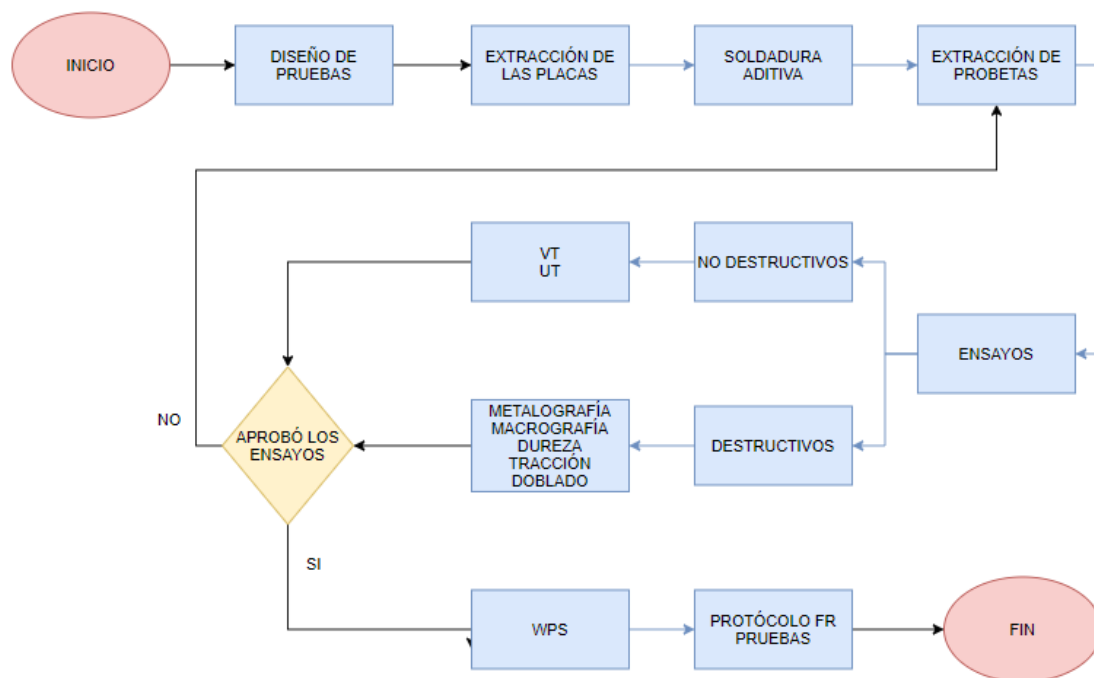


Figura 2.1 Representación del diagrama de Flujo de la Metodología de estudio.

(Fuente: Propia)

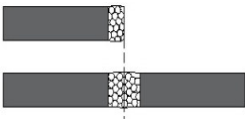
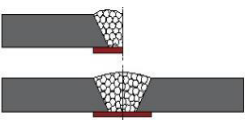
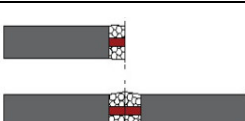
### 2.1 Diseño de pruebas

Se elaborarán 6 placas metálicas de A572 GR 50 de 200 x 150 mm y de 15 mm de espesor, 6 placas de 150 x 100 y 6 mm de espesor, 6 placas de 200 x 150 de 25 mm de espesor para sus respectivos ensayos mencionados anteriormente, ya que durante el proceso de fabricación se requiere de la inspección continua de cada una de las

etapas a seguir, asegurando la calidad desde la obtención de las planchas hasta los ensayos y la conformidad del producto.

En la Tabla 2.1 se detalla el diseño de pruebas del proceso de soldadura FCAW con material base utilizando el A572 GR 50 con sus respectivas mediciones y parámetros de soldadura como la temperatura de precalentamiento, tipo de junta, velocidad de soldadura, amperaje y voltaje, para la realización del respectivo WPS, y se muestra el diseño de pruebas del acero A572 Gr 50, al que se aplica el proceso de soldadura FCAW.

Tabla 2.1 Diseño de pruebas del acero ASTM A572 Gr 50, con proceso de soldadura FCAW.










DISEÑO DE PRUEBAS							
CONFIGURACIÓN	PREOCESO	MATERIAL DE BASE	MATERIAL DE APORTE	ESPESOR (mm)	ESPESOR DE PRUEBA	CANTIDAD DE PROBETAS	DIMENSIÓN DE PROBETAS (mm)
	FCAW	A572 GR50	E71T1C 1	3-10	6	6	150x100
				12-25	15	6	200x150
				25	25	6	200x150

(Fuente: Propia)

### 2.1.1 Extracción de placas

El proceso de fabricación de juntas soldadas inicia con la obtención de planchas metálicas de acero A 572 GR 50 como se muestra en la Tabla 2.2, de las cuales se procede a cortar placas de 150 x 100 x 6 mm, de 200 x 150 x 15mm, de 200 x 150 x 25mm que se obtuvieron con facilidad en la empresa, la misma que facilita el corte, la realización del corte se dio en diferentes máquinas o equipos como: corte en la cizalla para espesores pequeños y el corte mediante oxicorte para espesores medianos, por plasma de espesores mayores de 25 mm. En la Tabla 2.2, muestra la obtención de las placas para realizar el proceso de soldadura.

Tabla 2.2 Obtención de las placas metálicas de acero A572, facilitadas en la empresa.

ESPESOR	MÁQUINA	ESQUEMA	PROCESO	OBTENCIÓN
6 mm	Cizalla			
15 mm	Oxicorte (oxígeno y acetileno)			
25 mm	Oxicorte (plasma)			




(Fuente: Propia)

## 2.1.2 Aplicación de Soldadura

Una vez obtenidas las placas se procedió a realizar el proceso de soldadura, recuperando unos milímetros de longitud, cumpliendo así los objetivos del proyecto de titulación. Se realizó la recuperación del material en las placas de los espesores establecidos en la Tabla 2.3. El procedimiento de la soldadura se realizó en la misma empresa, para ello se establecieron parámetros como: proceso de soldadura, temperatura de precalentamiento, el voltaje y amperaje, velocidad de soldadura, en general las variables esenciales para la soldadura, para los ensayos metalográficos y de dureza, los WPS's y los PQR se indican en la parte del ANEXO 1 y ANEXO 2. En la Tabla 2.3, se muestra cómo se realizó cada configuración con cada uno de los espesores establecidos como 6, 15 y 25 (mm), respectivamente.



Tabla 2.3 Proceso de recuperación del material bases, acero A572.

RECUPERACIÓN DEL MATERIAL BASE-PROCESO DE RELLENO CON PROCESO FCAW				
CONFIGURACIÓN DE RELLENO	PROCESO	TIEMPO DE SOLDADURA	OBTENCIÓN DE LA PLACA	DISCUSIÓN
		40 Minutos		Para la realización del proceso de soldadura FCAW, en los 3 espesores se llevó a cabo el mismo procedimiento, con diferente soldador, y como se describe en el cuadro el tiempo de soldeo varía en cada proceso. Eso se debe al espesor de la placa, para cada pase de cordón se grateó y posteriormente se realizó el pulido, con el fin de eliminar los defectos de la soldadura y que esta tenga buena calidad.
		45 Minutos		
		1 Hora con 7 minutos		

(Fuente: Propia)

### 2.1.3 Extracción de probetas

La máquina cortadora de hilo, una máquina de uso fácil garantiza un acabado superficial excelente, ya que este es un corte limpio, además, cuenta con una serie de parámetros para el uso adecuado de cortes, con precisión con un deterioro mínimo de la superficie. A continuación, se detalla las especificaciones del equipo. En la Tabla 2.4 se muestra las especificaciones técnicas del equipo.

Tabla 2.4 Especificaciones de la Máquina cortadora de Hilo.

	ESPECIFICACIONES	
	<b>Equipo:</b>	Máquina cortadora de hilo
	<b>Marca:</b>	ACMT
	<b>Modelo:</b>	DK7755
	<b>Voltaje:</b>	[0-50] V
	<b>Corriente:</b>	[0-10] A
	<b>Rango de proceso:</b>	650X560mm
	<b>Rango de espesor:</b>	500mm

(Fuente: Propia)

Se procede posteriormente a la obtención de las probetas como muestra a Figura 2.2, con sus respectivas mediciones y espesores, para los ensayos como son: las micrografías y el ensayo de dureza.



Figura 2.2 Probetas para ensayos metalográficos y de dureza.

(Fuente: Propia)

## 2.2 Ensayo Metalográfico

La metalografía estudia la microscopía del material o aleación, para determinar el tamaño de grano, formas y distribución de fases. Para la realización del siguiente ensayo se detalla brevemente la preparación de las probetas según la norma ASTM E-3 que presenta el análisis metalográfico. El mismo que estudia la microscopía y características estructurales del material y sus aleaciones, gracias a la formación de tamaño de granos y la distribución de fases.

### 2.2.1 Preparación de las probetas

La preparación de las probetas se realiza bajo la norma ASTM E-3, el objetivo es analizar la parte metalográfica de los materiales y revelar los componentes, la estructura de los metales y sus aleaciones por medio de un microscopio óptico de luz o electrónico de barrido.

Se realiza el corte de las probetas de una longitud de 30 x 15mm de largo y ancho respectivamente según el molde para la resina como se puede visualizar en la Figura 2.3, después se realiza un desbaste grueso, con una lija de #100 por un tiempo de 6 a 8 minutos aproximadamente hasta lograr que la superficie lisa.



Figura 2.3 Preparación de las probetas ensayos metalográficos y de dureza.

(Fuente: Propia)

Una vez transcurrido el tiempo mencionado anteriormente, la resina se retira del molde para llevar a un desbaste grueso de ambas caras de la probeta, con el objetivo de que estas dos caras sean paralelas, se establece la Tabla 2.5 con las especificaciones técnicas de la máquina desbastadora gruesa. A continuación, se detalla las especificaciones del equipo.

Tabla 2.5 Especificaciones técnicas de la máquina desbastadora gruesa.

<b>ESPECIFICACIONES</b>	
<b>Equipo:</b>	Desbastadora
<b>Marca:</b>	BUEHELER
<b>Modelo:</b>	121-OM-84
<b>Potencia del Motor:</b>	1 HP
<b>Abrasivo:</b>	Lija #100
<b>Voltaje:</b>	220 V

(Fuente: Propia)

E la Figura 2.4 se puede visualizar las probetas ya listas para realizar el desbaste fino después de haber realizado el desbaste grueso y que las caras sean paralelas entre sí.



Figura 2.4 Probetas después del desbaste grueso para ser ensayadas.

(Fuente: Propia)

Se procede a realizar el desbaste fino en la pulidora cuyas especificaciones se muestran en la Tabla 2.6, con las lijas de 240, 320, 600, 1200 y finalmente con la de 1500 con un tiempo estimado de 2 minutos, la misma que tiene para pulido con paño fino. A continuación, se detalla las especificaciones del equipo.

Tabla 2.6 Especificaciones de la pulidora automática.

<b>ESPECIFICACIONES</b>	
<b>Equipo:</b>	Pulidora Automática
<b>Marca:</b>	FORCIMAT
<b>Modelo:</b>	FORCIPOL 2V
<b>Voltaje:</b>	230V
<b>Sistema de sujeción:</b>	Neumático
<b>Abrasivo:</b>	Lija- Paño

(Fuente: Propia)

Una vez realizado el proceso de desbaste en las lijas mencionadas anteriormente y seguido con el desbaste en el paño fino de microfibra de una micra en el mismo equipo, como se puede observar en la descripción de las especificaciones del equipo tiene la sección de desbaste y pulido fino, finalmente se obtienen las probetas para el ensayo de metalografía.

Como se puede ver las probetas básicamente deben quedar como un espejo sin rayones en el material y sobre todo sin quemaduras como se muestra en la Figura 2.5, ya que ese tipo de discontinuidades afectarían al momento de tomar la fotografía con el microscopio.



Figura 2.5 Probetas listas para el ensayo metalográfico.

(Fuente: Propia)

## 2.2.2 Ensayo de Micrografía

Una vez listas las probetas, se procede a realizar el ataque químico durante 8 a 10 segundos al material bajo la norma ASTM E-407, cubre los procedimientos y las soluciones químicas que se utilizan para la realización del ataque químico del material previo al ensayo microscópico.

Para el ataque químico del material, fue sumergido en la cara pulida en contacto con los reactivos (Nital, Vilella y alcohol, como se muestra en la Figura 2.6), junto con la glicerina para mejorar a los reactivos durante el ataque, luego se lavó con agua, aplicando alcohol y seguido con un secado caliente para luego ser llevado al microscopio y poder visualizar las diferentes estructuras y componentes del material.

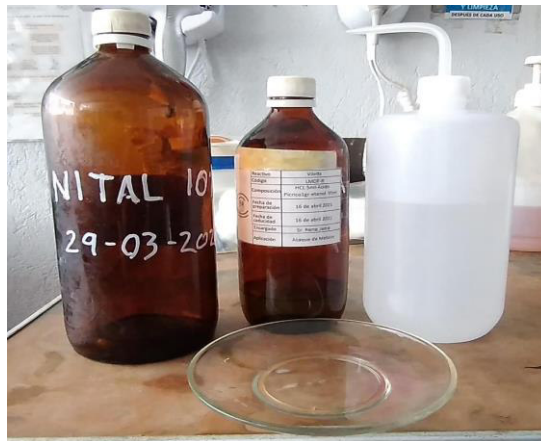



Figura 2.6 Reactivos para el ataque químico para las probetas a ensayar metalográficamente.

(Fuente: Propia)

Para la toma de fotografías de cada probeta se hace el uso del microscopio electrónico, sus especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 2.7, con una cámara con aumento de 100 y 500 X, haciendo una captura de cada una de las probetas a estudiar.

Tabla 2.7 Especificaciones del microscopio electrónico.

	<b>ESPECIFICACIONES</b>
	<b>Marca:</b> OLYMPUS
	<b>Modelo:</b> GX41F
	<b>Cámara:</b> 5 Mega Píxeles
	<b>Frecuencia:</b> 60 Hz
	<b>Objetivos:</b> 100X, 500X
	<b>Voltaje:</b> 100-120[V]-230-240 [V]

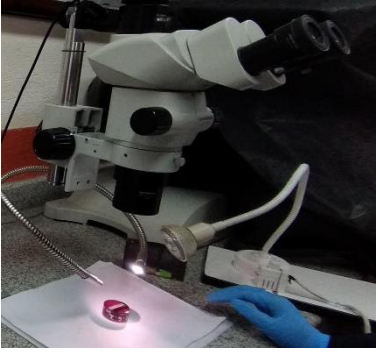
(Fuente: Propia)

### 2.2.3 Ensayo de Macrografía

Es usado en metales y aleaciones proporcionando información de variación en la estructura y el tamaño, en la composición química y la presencia de ferrita, en la soldadura para determinar el número de pases realizados y el tamaño de la zona afectada por el calor (ZAC).

Es un estudio para analizar discontinuidades que presenta la soldadura, con ayuda de un microscopio (Tabla 2.8), para realizar este ensayo se hace uso de las mismas probetas del ensayo metalográfico las mismas que ya fueron atacadas químicamente, solo que para este ensayo se hace el uso de otro equipo, el mismo que tiene un rango de objetivos, ver Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Especificaciones del microscopio.

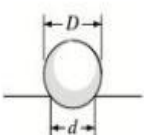

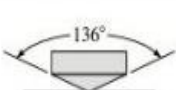

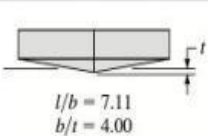
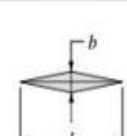
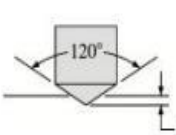

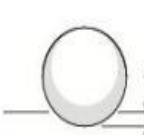

	<b>ESPECIFICACIONES</b>
	<b>Marca:</b> OLYMPUS
	<b>Modelo:</b> SZX7
	<b>Voltaje:</b> 100-120[V]/ 230-240[V]
	<b>Frecuencia:</b> 60 Hz
	<b>Software:</b> Stream Essentials

(Fuente: Propia)

### 2.2.4 Ensayo de Dureza

En la soldadura se determina la dureza en la zona afectada por el calor (ZAC), para evitar el riesgo de fisuras por las altas temperaturas a las que son sometidas y por los enfriamientos rápidos que pueden ocurrir durante la soldadura, los métodos más comunes son: dureza Brinell, Rockwell y Vickers, en este caso se da énfasis al estudio de la dureza Rockwell. (Smith & Hashemi, 2014). En la Tabla 2.7 se muestra los parámetros para el ensayo de dureza.


Tabla 2.9 Parámetros para el ensayo de dureza.

Ensayo	Penetrador	Forma del penetrador		Carga	Fórmula del número de dureza
		Vista lateral	Vista en planta		
Brinell	Esfera de 10 mm fabricada de acero o carburo de wolframio			$P$	$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Pirámide de diamante			$P$	$VHN = \frac{1.72P}{d_1^2}$
Microdureza Knoop	Pirámide de diamante			$P$	$KHN = \frac{14.2P}{l^2}$
Rockwell					
A } C } D }	Cono de diamante			60 kg $R_A =$ 150 kg $R_C =$ 100 kg $R_D =$	100-500f
B } F } G }	Esfera de acero de $\frac{1}{16}$ pulgadas			100 kg $R_B =$ 60 kg $R_F =$ 150 kg $R_G =$	
E	Esfera de acero de $\frac{1}{8}$ pulgadas			100 kg $R_E =$	

(Fuente(Smith & Hashemi, 2014))

Para el ensayo de dureza se utilizan las mismas probetas que fueron ensayadas en la metalografía, ya que el material está listo para ser ensayado, se procede a realizar mediante un indentador para dureza Rockwell B tanto en el material base como en el material de aporte, para lo cual se realiza con el durómetro que se muestra en la Tabla 2.8 el mismo que permite realizar 5 mediciones solo en el material base y 7 mediciones en el material de soldadura (material base + material de aporte). Mediciones del material base, en tres espesores diferentes (6, 15 y 25 mm respectivamente). Las especificaciones del equipo del ensayo de dureza detallan en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10 Especificaciones del durómetro.

	<b>ESPECIFICACIONES</b>
	<b>Marca:</b> HARDROCKER
	<b>Modelo:</b> HR-150 <sup>a</sup>
	<b>Carga mínima:</b> 0[Kgf]
	<b>Capacidad de carga:</b> 60, 100 y 150 [Kgf]
	<b>Sistema de aplicación de carga:</b> Hidráulica
	<b>Indentador:</b> Punta de acero 1/16 [pulg]

(Fuente: Propia)

Procedimiento del ensayo de Dureza según los requerimientos de la norma Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials (E18-20)

- Verificar que la máquina de ensayo este calibrada de acuerdo a los patrones de calibración.
- Verificar que las probetas a ensayar estén completamente planas y paralelas.
- Las pruebas se deben realizarse a temperatura ambiente dentro de los límites de 10 a 35° C.
- Colocar un indentador de acuerdo con la escala que haya seleccionado.
- Colocar el indentador en contacto con la superficie de prueba.
- Aplicar la fuerza de prueba  $F_0$  de 10Kgf.
- Establecer la posición de referencia.
- Aumentar la fuerza de prueba, por el valor de la prueba adicional  $F_1$ , para obtener la fuerza total  $F$  para la dureza seleccionada (Rockell).
- Las pruebas de dureza se deben realizar solo en la superficie preparada de la probeta de prueba.

En la Tabla 2.11 se muestra las mediciones de las pruebas realizadas al material de base.






Tabla 2.11 Mediciones de las probetas de prueba de dureza del material base.

<b>PROBETAS DE PRUEBA DE DUREZA-MATERIAL BASE</b>		
6 mm	15 mm	25 mm
		

(Fuente: Propia)

En la Tabla 2.12 se muestra las mediciones de las pruebas realizadas al material de aporte.

Tabla 2.12 Mediciones de las probetas de prueba de dureza del material de aporte.

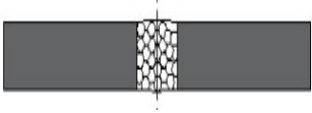

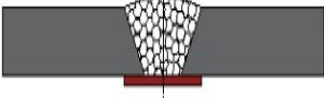

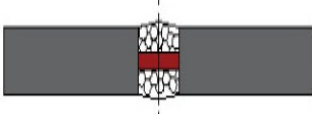

<b>PROBETAS DE PRUEBA DE DUREZA-MATERIAL DE APORTE</b>		
6 mm	15 mm	25 mm
		

(Fuente: Propia)

## 2.3 Aplicación de Soldadura

Se realizó la recuperación del material en las placas de los espesores establecidos, ver Tabla 2.13, se observa que el proceso realizado, fue a tope estableciendo los procesos de soldadura como: la temperatura de precalentamiento, el tipo de junta, las variables eléctricas como el voltaje y amperaje, velocidad de soldadura, para la realización de los ensayos mecánicos como de tracción y doblado, y la composición química de nuestro material rehabilitado.

Tabla 2.13 Recuperación del material base con el proceso de soldadura FCAW.

CONFIGURACIÓN DE UNIÓN A TOPE	PROCESO	TIEMPO	OBTENCIÓN DE LA PLACA	DISCUSIÓN
	FCAW	45 minutos		Para la recuperación del material base, se realizó con el proceso de soldadura FCAW al igual que la anterior se lo realizó en los tres espesores con tres soldadores calificados, aplicando los parámetros adecuados como la temperatura, amperaje y voltaje, y posteriormente realizando la limpieza y pulido a la placa, tomando en consideración el tiempo de trabajo, por la variación del espesor del material.
	FCAW	1h y 15 minutos		
	FCAW	1h con 45 minutos		

(Fuente: Propia)

### 2.3.1 Ensayo de Doblado

Permite determinar la ductilidad y el grado de rigidez de la junta soldada, cada probeta preparada para el ensayo debe cumplir los requisitos de la norma (AWS D1.1, 2020), ver Figura 2.7 las dimensiones para el proceso de doblado.

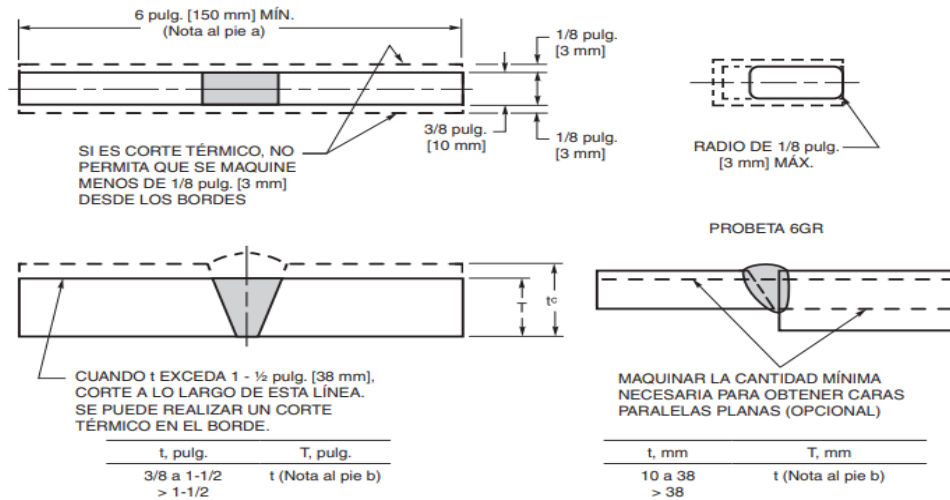


Figura 2.7 Dimensiones de las probetas para doblado lateral.

(Fuente(AWS D1.1, 2020)

### 2.3.2 Criterios de aceptación bajo el código AWS D1.1

Se examinará visualmente la superficie convexa de la probeta a ensayar y se busca las discontinuidades presentes en la superficie. Para la aceptación, la superficie no debe tener discontinuidades que exceda las siguientes dimensiones.

- 3 mm (1/8 pulg) medidos en cualquier dirección de la superficie.
- 10 mm (3/8 pulg) la suma de las dimensiones más grandes de todas las discontinuidades que excedan de 1 mm (1/32 pulg), pero inferiores o iguales a 3 mm (1/8 pulg).
- 6 mm (1/4 pulg) la grieta máxima de esquina, excepto cuando la grieta de esquina resulta de una inclusión de escoria visible u otra discontinuidad de fusión, en cuyo caso se debe aplicar máximo de 6 mm (1/4 pulg). Las probetas con grietas en esquina excedan 6 mm se deberán rechazar y reemplazar con otra probeta obtenida del cordón original (AWS D1.1, 2020)

### 2.3.3 Obtención de probetas

Se realizó el corte de las probetas en la máquina cortadora de hilo, ya mencionado anteriormente, por el uso fácil, garantizando un acabado superficial excelente. Se realizó el corte a las tres placas de espesores 6 mm, 15 mm y de 25 mm, para su respectivo ensayo, como se muestra en la Figura 2.8.

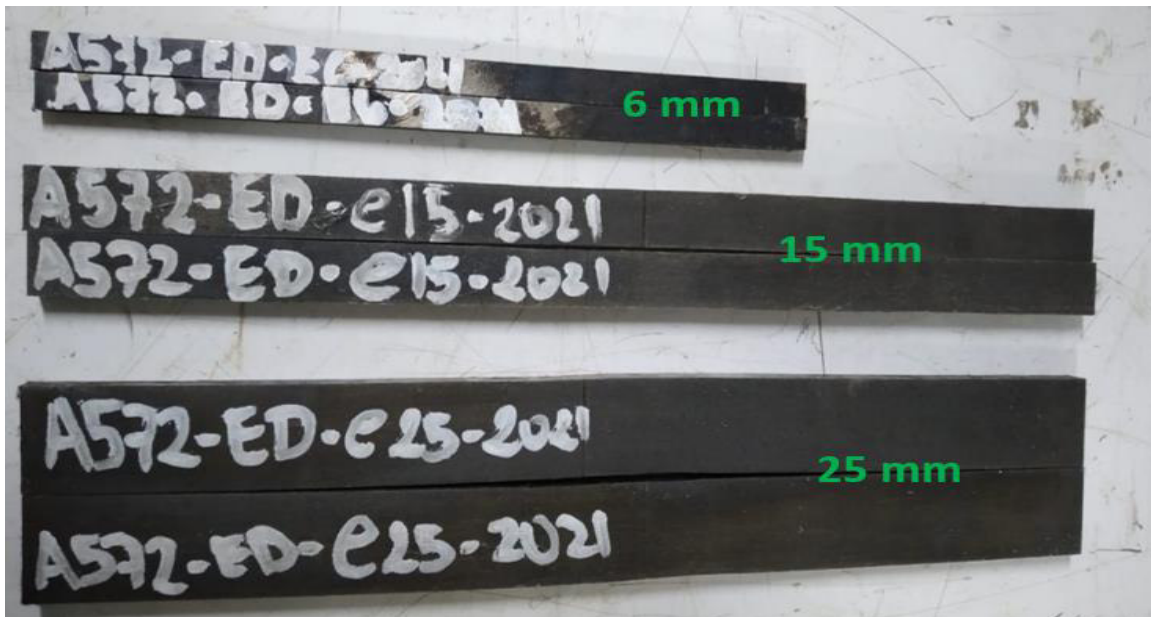


Figura 2.8 Probetas para el ensayo de doblado.

(Fuente: Propia)

### 2.3.4 Procedimiento

Para el siguiente ensayo se utilizó la máquina universal de ensayos, con ayuda de un yunque, ver Figura 2.9, el proceso en sí de cada una de las probetas mencionadas anteriormente con sus respectivos espesores.



Figura 2.9 Proceso del ensayo de doblado.

(Fuente: Propia)

### 2.3.5 Ensayo de Tracción

Ensayo destructivo que muestra el comportamiento del material al someter una carga hasta conseguir su rotura, este proceso permite conocer las propiedades mecánicas que se comparara entre el material base y el material de aporte para validar según lo

establecido en los objetivos del proyecto. En la Figura 2.10 se muestra la máquina universal de ensayos.

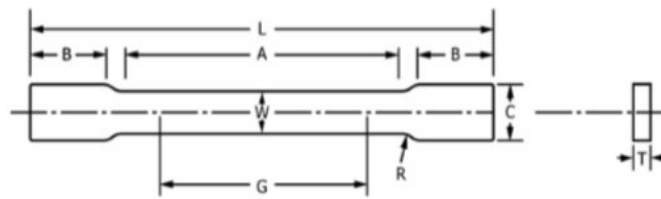


Figura 2.10 Máquina Universal de ensayos.

(Fuente: Propia)

Lo primero que se realiza en este ensayo es acomodar las probetas en las crucetas una vez acomodada las probetas se procede con el programa a encerrar, ajustamos la fuerza cero, la probeta y las mordazas se relajan en este caso cuando la probeta está en una fuerza de contracción, una vez ajustada la fuerza cero se relajan las mordazas y se proceda a encerrar dejando cerca de cero en este caso ya está casi a cero el valor en MPa así que procedemos a parar para nuevamente encerrar y dar paso al ensayo requerido, el mismo que es usado para determinar la resistencia a la tracción del material base, las dimensiones de la probeta son bajo la norma ASTM E370/E370M, como se muestra en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14 Dimensiones de la probeta de Tracción.



	DIMENSIONS								
	Standard Specimens				Subsize Specimen				
	Plate-type, 1½-in. (40 mm) Wide				Sheet-type, ½ in. (12.5 mm) Wide				
	8-in. (200 mm) Gauge Length		2-in. (50 mm) Gauge Length		½ in. (12.5 mm) Wide		¼-in. (6 mm) Wide		
in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm		
G—Gauge length (Notes 1 and 2)	8.00 ± 0.01	200 ± 0.25	2.000 ± 0.005	50.0 ± 0.10	2.000 ± 0.005	50.0 ± 0.10	1.000 ± 0.003	25.0 ± 0.08	
W—Width (Notes 3, 5, and 6)	1½ + ⅛ -¼	40 + 3 -6	1½ + ⅛ -¼	40 + 3 -6	0.500 ± 0.010	12.5 ± 0.25	0.250 ± 0.002	6.25 ± 0.05	
T—Thickness (Note 7)	Thickness of Material								
R—Radius of fillet, min (Note 4)	½	13	½	13	½	13	¼	6	
L—Overall length, min (Notes 2 and 8)	18	450	8	200	8	200	4	100	
A—Length of reduced section, min	9	225	2¼	60	2¼	60	1¼	32	
B—Length of grip section, min (Note 9)	3	75	2	50	2	50	1¼	32	
C—Width of grip section, approxi- mate (Note 4, Note 10, and Note 11)	2	50	2	50	¾	20	¾	10	


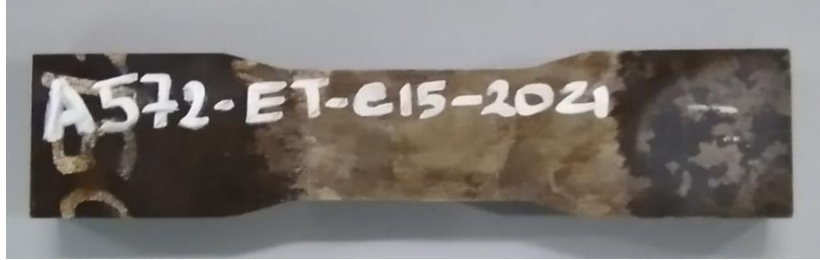
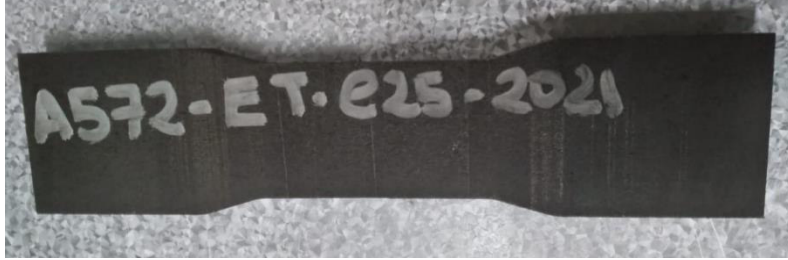
(Fuente: ASTM E370/E370M)

### 2.3.6 Obtención de probetas y realización del ensayo

- Se procedió al corte de una sección del material bajo la norma ASTM E370/E370M.
- Se obtuvo la probeta en la empresa en el área de calidad, donde se realiza los ensayos de la materia prima, como se puede visualizar en la tabla 2.10 de los tres tipos de espesores (6, 15 y 25 mm), respectivamente.
- El ensayo se realizó en la misma empresa.

En la Tabla 2.15 se muestran las probetas obtenidas en la máquina cortadora de hilo para el ensayo de tracción.

Tabla 2.15 Probetas obtenidas para el ensayo de Tracción.


Probeta para el ensayo de tensión del material rehabilitado con proceso de soldadura FCAW	6 mm	
	15 mm	
	25 mm	

(Fuente: Propia)

### 2.3.7 Espectrometría por Chispa

Según la norma ASTM E415-17 Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry se realizó el análisis de espectrometría por chispa empleando el espectrómetro marca BRUKER modelo Q2 ION. Con este método estándar se puede determinar la composición química del material o aleaciones. El análisis del material base y del material de aporte, realizado en el Laboratorio de Fundición de la EPN. En la Tabla 2.16 se muestran las especificaciones del espectrómetro por chispa.

Tabla 2.16 Especificaciones del espectrómetro por Chispa.



	<b>ESPECIFICACIONES</b>
	<b>Marca:</b> BRUKER
	<b>Modelo:</b> Q2ION
	<b>Voltaje:</b> 100-240 [V]
	<b>Frecuencia:</b> 50-60[Hz]
	<b>Peso:</b> 28 [Kg]

(Fuente: Propia).


### 2.3.8 Identificación de las probetas

En la Tabla 2.17 se muestran las probetas a realizar la composición química del acero en los espesores ya mencionados anteriormente en el proyecto.

Tabla 2.17 Probetas para el estudio de espectrometría por chispa de espesores e6, e15 y e25 (mm), respectivamente.

Nombre	Identificación de la probeta	Identificación gráfica
<b>Muestras Metálicas</b>	M1 Soldadura	 Espesor = 6 mm
	M1 Metal base	
	M2 Soldadura	 Espesor = 15 mm
	M2 Metal base	



	M3 Soldadura	 <p>Espesor = 25 mm</p>
	M3 Metal base	

(Fuente: Propia)

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

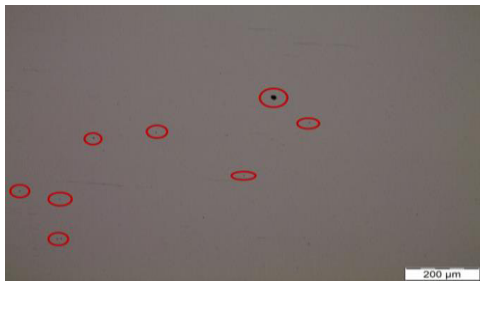

Los resultados y análisis obtenidos del acero A572-Gr50, de los ensayos mecánicos y metalográficos que son de micrografía y macrografía, dureza, tracción, doblado y por chispa, según los requerimientos basados en los códigos y normas de aceptación. También se realizó un ensayo no destructivo como el de ultrasonido, a las probetas de 15 y 25 (mm). Se analizó las propiedades mecánicas y químicas entre el material base y el material de aporte. Finalmente se realiza una comparación con estudios similares donde se emplea el mismo tipo de recuperación utilizando la soldadura con un proceso FCAW.

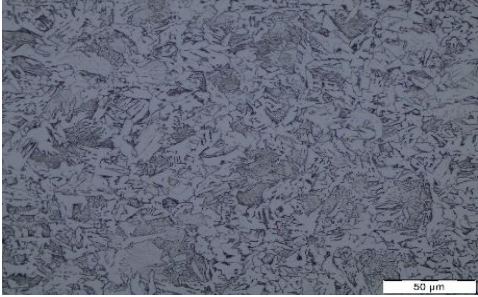

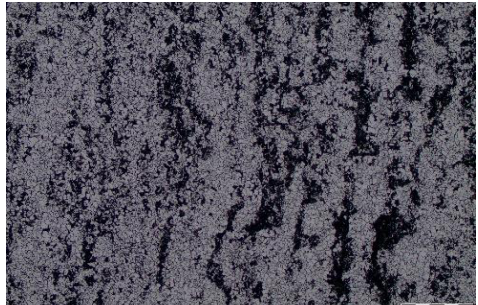
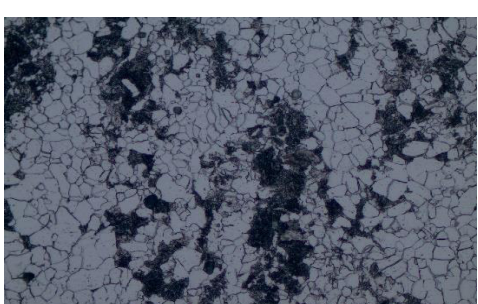
#### 3.1 Resultados


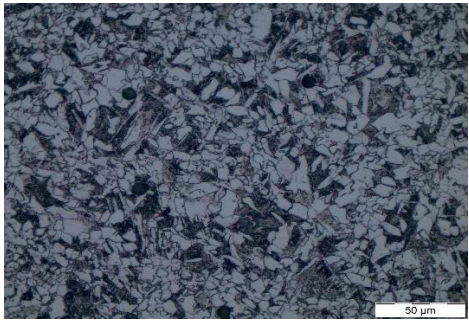
##### 3.1.1 Ensayo de Micrografía

Con este ensayo se evalúa las características microestructurales del metal y de la aleación, con ayuda del microscopio, se llevó a cabo la toma de las micrografías del material base y el material con aplicación de soldadura (aleación). Haciendo unas tomas micrográficas a un aumento de 100X y 500X, se tomaron en varias zonas del material base, como de la misma forma en la soldadura y sobre todo en la parte de la ZAC. Se presenta en la siguiente Tabla 3.1 diferentes tomas de micrografías de cada espesor.

Tabla 3.1 Resultados de las probetas ensayadas micrográficamente del material base.

Probeta	Aplicación	Discusión	Micrografía
MB6	Sin ataque químico a 100 X	En la matriz se puede visualizar pocas inclusiones en el material	
	Con ataque químico a 100X	La matriz presenta granos refinados de ferrita y perlita.	

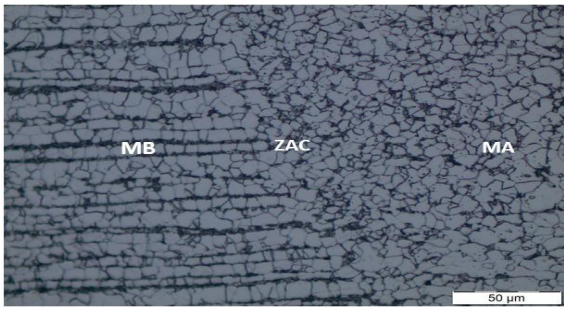
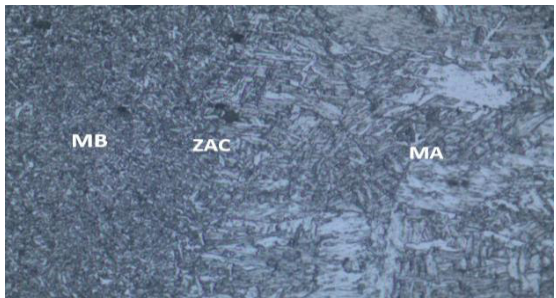
	Con ataque químico a 500X	La matriz está constituida por ferrita y perlita	
<b>MB15</b>	Sin ataque químico a 100 X	En la matriz se puede visualizar una mayor cantidad inclusiones en el material	
	Con ataque químico a 100	La micrografía presenta granos finos de ferrita y perlita, con inclusiones no metálicas orientadas con sentido del conformado	
	Con ataque químico a 500X		
	<b>MB25</b>	Sin ataque químico a 100 X	La micrografía del material presenta mayor cantidad de inclusiones

	Con ataque químico a 100X	La micrografía presenta ferrita y perlita de grano fino	
	Con ataque químico a 500X	La micrografía presenta ferrita y perlita	

(Fuente: Propia)

A continuación, se detalla los resultados de las micrografías tanto en el material de aporte como en la ZAC, en la Tabla 3.2 se indica los resultados del ensayo micrográfico de las probetas del material de relleno (soldadura).

Tabla 3.2 Resultados de las probetas ensayadas micrográficamente del material con soldadura.

Probeta	Discusión	Micrografía
MB-ZAC-MA-R6	La micrografía presenta probetas extraídas longitudinalmente representando granos equiaxiales ferríticos- perlíticos.	
MB-ZAC-MA-R15	La micrografía presenta ferrita widmanstatten en forma de hojuelas y ramificaciones, se debe a los cambios de temperatura de enfriamiento.	

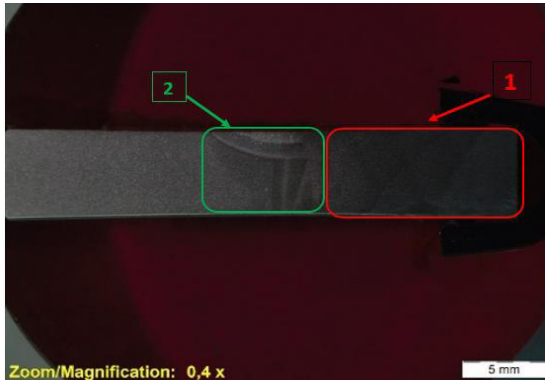
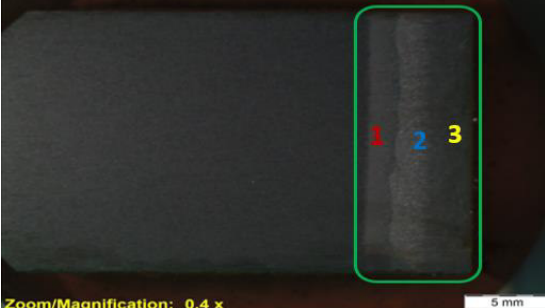
<p>MB- ZAC- MA-R25</p>	<p>La micrografía del material presenta pocas inclusiones metálicas, presencia de perlita y ferrita, con una inclusión</p>	
--------------------------------	--	--

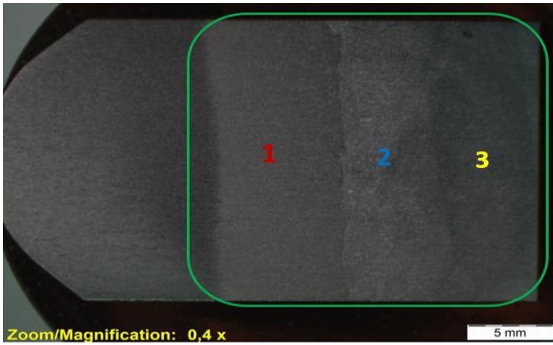
(Fuente: Propia)

### 3.1.2 Ensayo de Macrografía

En el siguiente ensayo de macrografía se analiza en el material de relleno, ya que se realizó una soldadura, el mismo se analiza y evalúa en la parte de la zona afectada por el calor (ZAC). Para cada una de ellas se realizó con diferentes soldadores, tomando su tiempo de soldadura y pases en cada probeta, se detalla a continuación, en la Tabla 3.3 se muestran los resultados del ensayo de macrografía de las probetas de 6, 15 y 25 (mm) respectivamente del material de relleno (soldadura).

Tabla 3.3 Resultados de las probetas del ensayo de macrografía.

Probeta	Imagen	Discusión
<p>R 6</p>		<p>En la imagen se puede visualizar dos zonas diferentes de soldadura, este se debe a que fue complicado el momento de soldar un espesor muy pequeño, como en este caso lo es de 6 mm, se realizó 9 pases logrando así una recuperación del material de una longitud de 12 mm.</p>
<p>R 15</p>		<p>Se puede visualizar tres zonas de soldadura, se realizaron 12 pases para tener una longitud recuperada de 15 mm</p>







R 25		<p>Se puede visualizar tres zonas de soldadura al igual que la probeta de 15mm, se realizaron 16 pases para tener una longitud recuperada de 15 mm.</p>
------	--	---

(Fuente: Propia)

### 3.1.3 Resultados del ensayo de Dureza

En la tabla 3.4 se detallan los valores obtenidos en el Laboratorio de Metalografía de Desgaste y Falla del DMT, tanto en el material base como en el material de soldadura (relleno).

Tabla 3.4 Dureza del material base y de relleno en escala Rockwell B.

MATERIAL BASE				MATERIAL DE RELLENO			
Probeta	Diseño Probeta	Dureza [HRB]	Promedio [HRB]	Probeta	Diseño Probeta	Dureza [HRB]	Promedio [HRB]
6 mm		84	83,6	R6 mm		82	77
		84				74	
		83				77	
		83				76	
		84				76	
15 mm		84	84,2	R15 mm		82	79,2
		85				75	
		84				78	
		84				81	
		84				80	
25 mm		91	89,8	R25 mm		80	82,2
		89				71	
		90				79	
		89				87	
		90				94	

(Fuente: Propia)

La dureza, del material aportado por soldadura (figura 3.1), de cada uno de los espesores de 6, 15 y 25 mm, poseen una dureza de 77, 79,2 y 82.2 HRB

respectivamente, mientras que el valor del material base (sin soldadura) es de 83.6, 84,2 y 89.8 HRB respectivamente, la mayor dureza del material base es de 90 HRB, el error de medición para el espesor de 6 mm es de un 7.89%, el de 15 mm es de 5,93% y para el espesor de 25 mm el error del 8,46%, lo cual esto se debe al cambio de fase debido al calor producido por la soldadura realizada en el material base laminado en caliente.

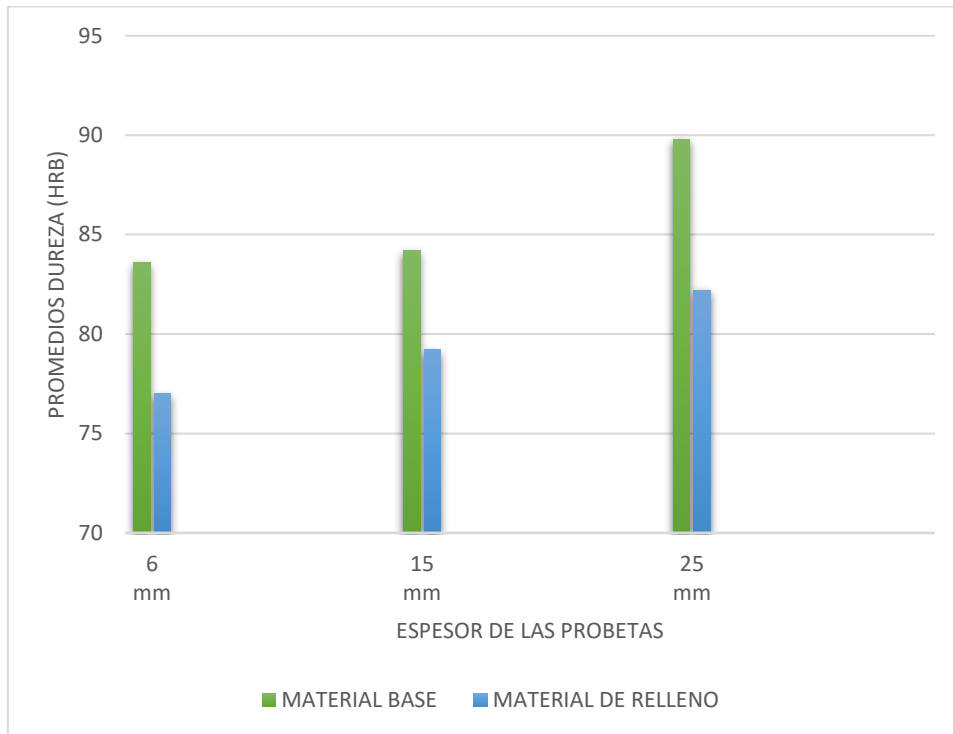








Figura 3.1 Gráfica de dureza del material ASTM A572 Gr 50 escala Rockwell B.

(Fuente: Propia)







### 3.1.4 Resultados del ensayo de Doblado







En la Tabla 3.5 se señalan los resultados de las probetas del ensayo de doblado, especialmente en la rehabilitación del material (Soldadura). El informe del ensayo se puede revisar en el ANEXO 5, ya que se encuentra detallado.







Tabla 3.5 Resultados de las probetas del ensayo de doblado para la aceptación o rechazo del material rehabilitado.

Probeta	Imagen	Observación	Calificación	Calificación total
ED-e6-1		Sin Discontinuidades	Aprobado	Aprobado
		Sin Discontinuidades	Aprobado	
		Sin Discontinuidades	Aprobado	
		Sin Discontinuidades	Aprobado	
ED-e6-2		Rotura	No aprobado	No aprobado
		Rotura	No aprobado	



		Rotura	No aprobado	
		Rotura	No aprobado	
ED-e15-1		Sin Discontinuidades	Aprobado	Aprobado
		Sin Discontinuidades	Aprobado	
		Sin Discontinuidades	Aprobado	
		Sin Discontinuidades	Aprobado	

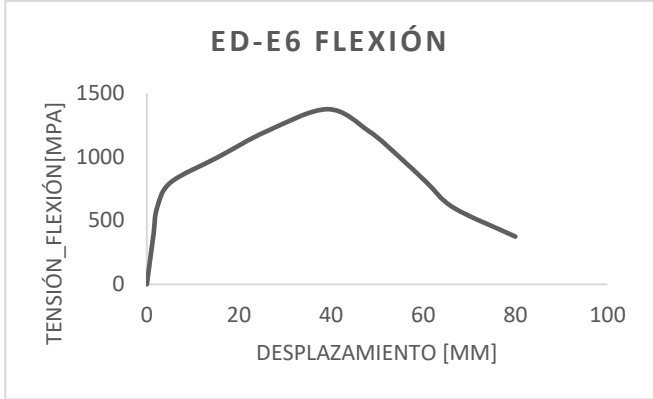
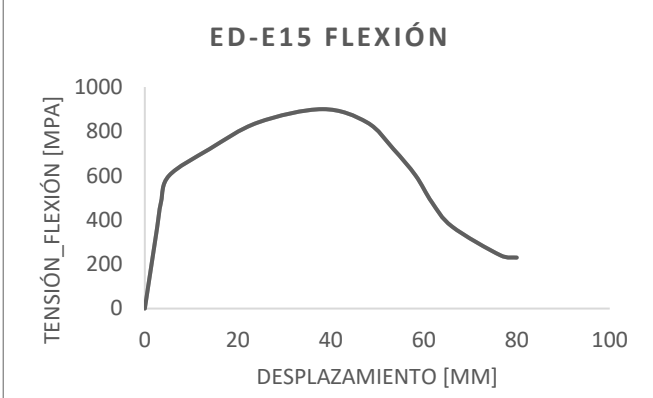
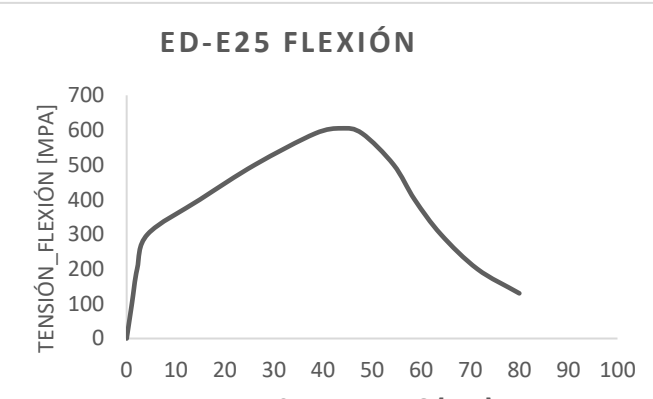
ED-e15-2		Sin Discontinuidades	Aprobado	Aprobado
		Sin Discontinuidades	Aprobado	
		Sin Discontinuidades	Aprobado	
		Sin Discontinuidades	Aprobado	
ED-e25-1		Discontinuidades de 1,34 mm	Aprobado	Aprobado
		Discontinuidades de 1,34 mm	Aprobado	

		Sin Discontinuidades	Aprobado	
		Sin Discontinuidades	Aprobado	
ED-e25-2		Discontinuidades de 1.09 mm	Aprobado	Aprobado
		Discontinuidades de 1.09 mm	Aprobado	
		Sin Discontinuidades	Aprobado	
		Sin Discontinuidades	Aprobado	

(Fuente: Propia)

A continuación, se representa en la Tabla 3.6 las gráficas del ensayo de doblado que se reporta en el ANEXO 5.

Tabla 3.6 Gráficas obtenidas del ensayo de doblado ANEXO 5.

Probeta	Imagen	Observaciones
ED-e6		<p>El ensayo se dio de forma lateral cumpliendo con los criterios de aceptación del mismo, a las tres probetas, como se puede visualizar en las imágenes extraídas del informe que se puede visualizar en el ANEXO 4</p>
ED-e15		
ED-e25		

(Fuente: Propia)

### 3.1.5 Resultados del ensayo de Tracción

Se detalla en la Tabla 3.7 los resultados obtenidos del ensayo de tracción de las probetas soldadas (rehabilitación del material base), haciendo énfasis al esfuerzo soportado al momento de la fractura, realizadas en el área de calidad de la empresa que nos facilitó el uso de equipo para la realización del mismo, el informe del ensayo se puede revisar en el ANEXO 6 del presente proyecto, donde se encuentran los datos que mostró la máquina universal de ensayos.

Tabla 3.7 Resultados obtenidos del ensayo de tracción de las probetas de rehabilitación (soldadura).







<b>Probeta</b>	<b>YS [MPa]</b>	<b>Máx. Tensión [MPa]</b>	<b>Deformación [%]</b>	<b>Observación</b>	<b>Calificación</b>
ET-e6-2021	402,849	543,070	13,339	Fractura en la Soldadura	Aprobado
ET-e15-2021	442,739	567,594	28,212	Fractura en la Soldadura	Aprobado
ET-e25-2021	472,086	571,412	24,789	Fractura en la Soldadura	Aprobado

(Fuente: Propia)

La resistencia del acero ASTM 572 GR 50 es de 65 ksi (448,16MPa), y en las probetas soldadas como se puede apreciar en la Tabla 3.7 se obtuvo una resistencia mayor a la del material base, demostrando que las propiedades de la soldadura son superiores.

En la Tabla 3.8 se indican las probetas ensayadas de forma transversal de cada espesor, tomadas en diferentes posiciones para el análisis de la misma con su respectivo tipo de fractura.

Tabla 3.8 Resultado de las probetas ensayas a tracción de espesores de e6, e15 y e25 (mm), respectivamente.

Probeta	Imagen	Tipo de Fractura
ET-e6-2021		Dúctil
		
		
		
ET-e15-2021		Dúctil
		

		
		
<p>ET-e25-2021</p>		<p>Dúctil</p>
		
		
		

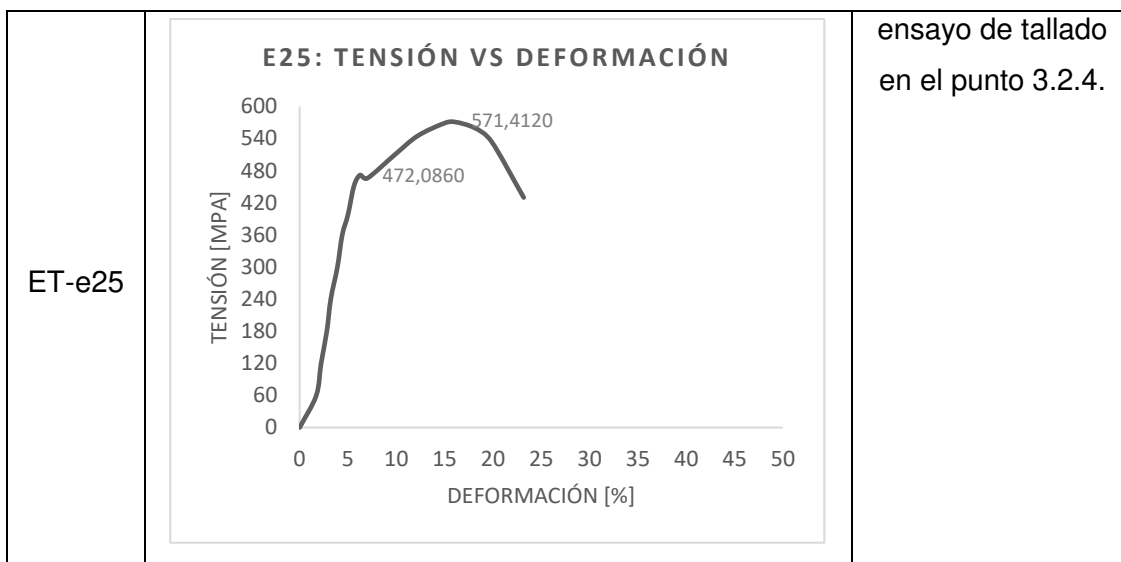
(Fuente: Propia)

En la Tabla 3.9 se detalla los resultados de las probetas ensayadas de los espesores 6, 15 y 25 [mm], respectivamente, reportando los valores máximos de tensión y el límite de fluencia de cada una de las probetas, así como también la elongación de cada soldadura aplicada en el material base.

Tabla 3.9 Gráficas del ensayo de tracción aplicadas en la zona soldada.

Probeta	Imagen	Observaciones								
ET-e6	<p style="text-align: center;"><b>E6: TENSION VS DEFORMACION</b></p> <table border="1"> <caption>Datos del gráfico E6: TENSION VS DEFORMACION</caption> <thead> <tr> <th>Deformación [%]</th> <th>Tensión [MPa]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>~4</td> <td>402,8490</td> </tr> <tr> <td>~11</td> <td>543,0700</td> </tr> </tbody> </table>	Deformación [%]	Tensión [MPa]	0	0	~4	402,8490	~11	543,0700	<p>El ensayo de tracción se realizó a las tres probetas de espesores diferentes, los resultados se pueden visualizar en las imágenes de la tabla.</p>
Deformación [%]	Tensión [MPa]									
0	0									
~4	402,8490									
~11	543,0700									
ET-e15	<p style="text-align: center;"><b>E15: TENSION VS DEFORMACION</b></p> <table border="1"> <caption>Datos del gráfico E15: TENSION VS DEFORMACION</caption> <thead> <tr> <th>Deformación [%]</th> <th>Tensión [MPa]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>~4</td> <td>442,7399</td> </tr> <tr> <td>~18</td> <td>567,5940</td> </tr> </tbody> </table>	Deformación [%]	Tensión [MPa]	0	0	~4	442,7399	~18	567,5940	<p>Los datos que se muestra en las imágenes son el límite de fluencia, máxima tensión que resiste el material antes de romperse y finalmente el límite de rotura de cada probeta. En la discusión del</p>
Deformación [%]	Tensión [MPa]									
0	0									
~4	442,7399									
~18	567,5940									





(Fuente: Propia)

### 3.1.6 Resultados de la Espectrometría por Chispa

En la tabla 3.10, se representan los valores de las probetas del material base en función del cordón de soldadura, con la composición química de cada elemento en porcentajes establecidos. En el ANEXO 6 se presenta el informe completo de ensayo de la composición química realizado en el Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional.

Tabla 3.10 Composición química experimental del material base vs la rehabilitación aplicada (soldadura).

Elemento	Espesor 6 mm		Espesor 15 mm		Espesor 25 mm	
	Cordón Valor %	Metal base Valor %	Cordón Valor %	Metal base Valor %	Cordón Valor %	Metal base Valor %
<b>Carbono [C]</b>	0,102	0,161	0,179	0,150	0,066	0,135
<b>Silicio [Si]</b>	0,405	0,0096	0,125	0,120	0,386	0,240
<b>Manganeso [Mn]</b>	1,193	0,629	1,185	1,169	1,207	1,227
<b>Fósforo [P]</b>	0,021	0,027	0,040	0,044	0,017	0,029
<b>Cromo [Cr]</b>	0,018	0,014	0,248	0,250	0,051	0,341
<b>Níquel [Ni]</b>	0,014	0,014	0,017	0,021	0,028	0,137
<b>Cobre [Cu]</b>	0,0058	0,0029	0,021	0,021	0,021	0,168
<b>Aluminio [Al]</b>	0,023	0,030	0,018	0,015	0,023	0,026
<b>Cobalto [Co]</b>	0,0039	-----	0,0097	0,0095	0,0045	0,012
<b>Niobio [Nb]</b>	0,019	0,0051	0,013	0,013	0,016	0,0071
<b>Titanio [Ti]</b>	0,075	0,0036	0,014	0,014	0,093	0,0078
<b>Vanadio [V]</b>	-----	-----	-----	-----	0,0093	0,017
<b>Estaño Sn]</b>	0,014	0,0040	0,016	0,020	0,013	0,0084
<b>Hierro [Fe]</b>	98,09	99,10	98,11	98,14	98,06	97,64

<b>Total</b>	<b>99,98</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>99,99</b>	<b>99,99</b>	<b>100,00</b>
--------------	--------------	---------------	---------------	--------------	--------------	---------------

(Fuente: Propia)

Se analiza la soldabilidad del material de relleno, para ver si cumple con la soldabilidad garantizada que es del 0,45% que se encuentra en la soldabilidad buena, y con un  $CE < 0,40$  excelente con la siguiente ecuación vamos a determinar el porcentaje de cada material de soldado.

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

Se calcula un porcentaje de  $CE_6 = 0,31\%$  de excelente soldabilidad en el material,  $CE_{15} = 0,42\%$  con una buena soldabilidad en el material,  $CE_{25} = 0,29\%$  excelente soldabilidad en el material. Como se puede apreciar los porcentajes del carbono equivalente son buenos, los mismos que caracterizan buenas propiedades mecánicas como la resistencia del material.

### **3.2 Discusión del comportamiento metalúrgico del material base y de la soldadura aplicada**

El tipo de comportamiento metalúrgico es de gran importancia para poder determinar la microestructura de cada una de las probetas ensayadas y justificar el comportamiento mecánico de estas. En la Tabla 3.1 que hace referencia al estudio del ensayo micrográfico del material, nos reporta que tiene una microestructura ferrítica-perlítica, según lo investigado se observa las zonas de ferrita, zonas más claras y perlita las zonas oscuras, ya que el material contiene el 0,2% de carbono, la orientación de la perlita es por el proceso de laminado por el cual se somete al material, estos resultados se basa en que el acero ASTM A572 Gr 50 es un acero de bajo contenido de carbono.

En la Tabla 3.2 se indican los resultados de las micrografías de las probetas extraídas, donde presenta una micrografía ferrítica-perlítica. En la zona de del material y la ZAC presentan granos equiaxiales homogéneas en la matriz de la micrografía. En la probeta de R15 la micrografía presenta ferrita widmanstatten en forma de hojuelas y ramificaciones, también se puede observar en otros trabajos de investigación y en libros de metalografía. Con relación a la asignación del ASTM A572 la microestructura presenta zonas ferríticas-perlíticas como se muestra en el ensayo micrográfico, ya que los porcentajes de los aleantes se encuentran en el rango de la norma ASTM.

Según los resultados obtenidos en el ensayo de dureza se tiene de 79,47 HRB, que es un valor cercano al valor de dureza que reporta la asignación ASTM A572/A572M-21

para el material de 75 HRB, esto es porque el material haya sufrido un leve ablandamiento.

Los resultados mostrados en la Tabla 3.3 de las macrográficas, presenta que el soldeo FCAW para las probetas de espesores 15 y 25 cumplen con la sanidad de soldeo, porque las propiedades del material no han sufrido algún defecto superficial, ya que el valor de dureza en la soldadura es un valor cercano al del material según la norma del mismo, la dureza obtenida permite obtener resistencia a la tracción con valores de 567,594 y 571,412 [MPa], mismos que son aceptables en comparación de la norma ASTM A572.

### **3.2.1 Ensayo de Doblado**

De acuerdo con los criterios de aceptación de la AWS D1.1 detallados en la parte 2.3.2, se examina la superficie convexa de la probeta a ensayar, buscando discontinuidades presentes en la parte de la superficie, teniendo como resultado del ensayo de las probetas de ED-e15.1 y ED-e15.2 que no tiene discontinuidades y por ende es una probeta que es aprobada, que cumple con los criterios de aceptación del código de soldadura AWS D1.1, mientras que la probeta ED-e25.1 reporta una discontinuidad de 1.34 [mm] en el material rehabilitado y la ED-e25.2 reporta una discontinuidad de 1,09 [mm], que debe de tener 3 mm de longitud medidos en cualquier parte de la superficie.

En la probeta ED-e6.1 no reporta ningún defecto, pero la ED-e6.2 se procedió a realizar el doblado de cara, este reporta rotura en el material, teniendo como resultado que en esa rotura existe escoria de soldadura, motivo que el soldador no hizo bien la limpieza del material siguiendo los criterios de soldadura de la AWS D1.1. En la Figura 3.2 se toman los valores de tensión vs desplazamiento de las probetas que fueron ensayadas de manera lateral, se logra ver el comportamiento de cada probeta.

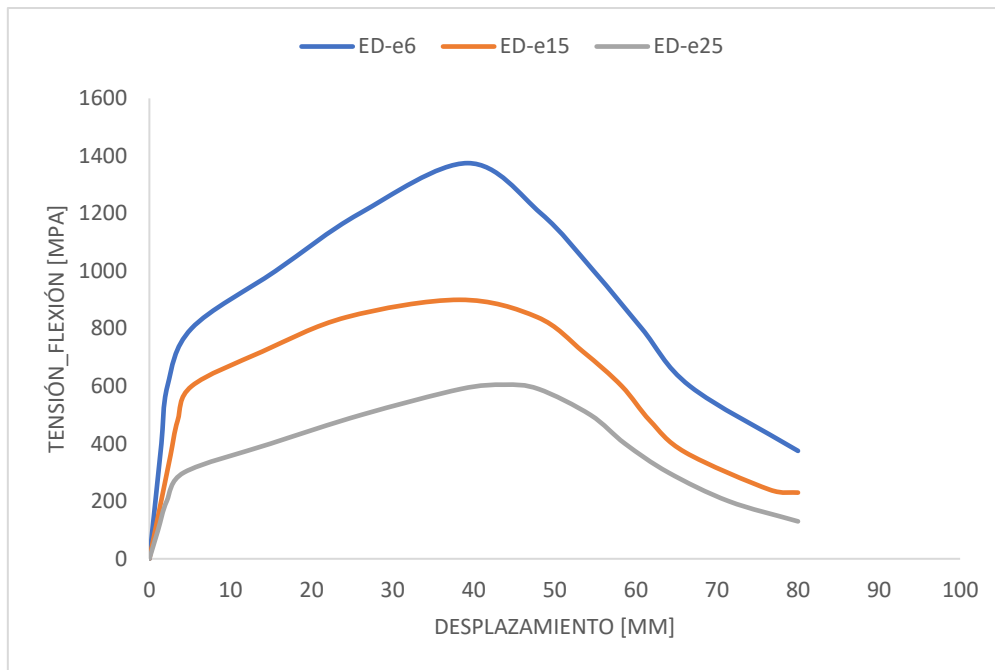


Figura 3.2 Gráfica de flexión del material de espesores e6, e15 y e25 Flexión vs Desplazamiento.

(Fuente: Propia)

Respondiendo a esto que la soldabilidad de los aceros es garantizada, al ver los resultados los mismos que garantizan que es posible el uso de reparaciones con soldadura para los aceros en la construcción, llevando a cabo las indicaciones correctas en la soldadura, lo que brinda al material una buena resistencia, teniendo como resultados garantizados las buenas propiedades mecánicas que nos brinda el material de aporte.

### 3.2.2 Ensayo de Tracción

Se realizaron ensayos de tracción y dureza tanto al material base como al material con la aplicación de soldadura para la comprobación de las propiedades mecánicas especificadas en el acero A572.

Tabla 3.11 Comparación del material base con la rehabilitación de soldadura vs la especificación del acero A572.

Nombre	YS [MPa]	Máx-Tensión [MPa]	Deformación [%]
ASTM A572 GR 50 (mínimo)	344,738	448,159	21
ET-e6	402,849	543,070	13,336

ET-e15	442,739	567,594	28,2124
ET-e25	472,086	571,412	24,7898

(Fuente: Propia)

Las probetas nos reportaron que en la Tabla 3.8, donde presentan fracturas dúctiles debido a la deformación plástica, en la gráfica 3.3 se puede visualizar las gráficas de comportamiento de las tres probetas, siendo así que las probetas ET-e15 y la ET-e25 son aceptadas por tener las propiedades mecánicas, similares a la especificación ASTMA572 cumpliendo los tres puntos importantes como el límite de fluencia, la máxima tensión y la elongación que dan las probetas ensayadas cumpliendo una deformación de 28,2124 y 24,7898 en el material.

La finalidad de este ensayo es conocer la resistencia mecánica del material en la soldadura aplicada al material base, la misma que se procedió a realizar en los espesores pequeños como el de 6 mm, mediano como el de 15 mm y grande como el de 25 mm, conociendo así los máximos valores que cada una de las probetas ensayadas reporta siendo así la probeta de 6 mm reporta la máxima tensión de 543.070 [MPa], la de e15 reporta una máxima tensión de 567,594 [MPa] y por ultimo se tiene la probeta de e25 que reporta la máxima tensión de 571,412 [MPa], siendo la que reporta entre las tres probetas ensayadas la máxima tensión en la soldadura aplicada con el proceso FCAW. Realizando el análisis de las probetas ensayadas tenemos como resultado que la soldadura buenas propiedades mecánicas haciendo estudio a la asignación ASTM A572M/A572M-21. En la Figura 3.3 se aprecia los resultados finales de las propiedades mecánicas de la soldadura aplicada al material base.

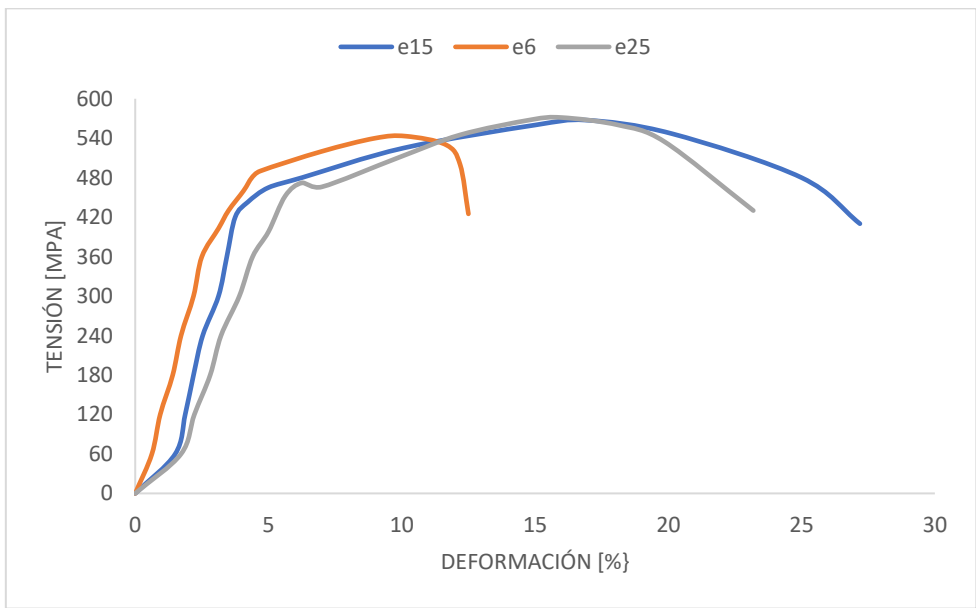


Figura 3.3 Gráfica de tracción del material de espesores e6, e15 y e25, Tensión vs Deformación.

(Fuente: Propia)

Las probetas muestran datos favorables a gracias a la soldabilidad del material, ya que fueron regidas por especificaciones de la AWS D1.1 al soldador, siguiendo las normas especificadas en la misma.

### **3.2.3 Espectrometría por Chispa**

Se realizó Espectrometría por Chispa con ayuda del Laboratorio de Fundición obteniendo valores similares de cada uno de los elementos químicos tanto del material base como de la soldadura de rehabilitación, como se puede visualizar en la Tabla 3.10 donde reporta los valores de cada una de las probetas de espesores de 6. 15 y 25 [mm] respectivamente, teniendo una pequeña variación en los porcentajes de cada estudio de los diferentes espesores, a saber, que es el mismo material ASTM A572 GR 50. Como resultado final se puede apreciar los porcentajes del carbono equivalente son buenos, los mismos que caracterizan buenas propiedades mecánicas como la resistencia del material.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- En el proyecto se logró cumplir con los objetivos planteados en el plan de titulación como: los ensayos metalográficos, de dureza y los ensayos mecánicos como el ensayo de tracción y de doblado, en la aplicación de soldadura para poder comparar las propiedades mecánicas del material.
- De acuerdo a los ensayos metalográficos se presenta que hay dos tipos de microestructura en la zona soldada y el material como la ferrita y perlita, esto se debe a que el acero A572 es de bajo contenido de carbono. Gracias a la soldabilidad del material contiene buenas propiedades mecánicas en la soldadura.
- Para manifestar una soldabilidad garantizada debe tener un porcentaje máximo de 43% para espesores gruesos, en el caso del espesor de 25 mm, se da una soldabilidad de 0.41% estando dentro del porcentaje establecido, los espesores como el de 6 mm da una buena soldabilidad de 0,39%, la de 15 [mm] con una soldabilidad de 0,29%, garantizando una buena calidad en la soldadura.
- De acuerdo a los resultados del ensayo de doblado, existiendo defectos en una de las probetas al realizar el ensayo en la cara y no de forma lateral como fue en el caso de la probeta ED-e6 esto se debe a que al momento de realizar la soldadura no se realizó una buena limpieza, observando en la probeta escoria en la soldadura. La experiencia y técnica del soldador deben ser garantizada, para mejorar la calidad de soldadura, esto gracias al WPS que es un informe donde el soldador conoce los parámetros exigidos por el código AWS D1.1.
- En la tabla del ensayo de dureza se puede observar que los valores van subiendo en la parte donde se aplicó la soldadura, esto reporta que al momento de realizar un proceso de soldadura se produce una recristalización de granos en el material soldado, garantizando buenas propiedades en el material.
- Un proceso de soldadura de calidad es donde se puede tener como resultados finales que las propiedades del material base y la aplicación de soldadura comparten las mismas propiedades químicas y las propiedades mecánicas sean similares. Lo que se llegó a comprobar que estas propiedades llegaron a ser similares a las del material.
- Como punto final se concluye que las propiedades del material rehabilitado (soldadura), son como los esperados, mismos que se realizaron con el procedimiento de normas como la AWS D1.1, especificaciones ASTM y la NEC-

SE-AC que usa KUBIEC en el sector de la construcción con el propósito de lograr el progreso de los protagonistas de la construcción sustentable.



## 4.2 RECOMENDACIONES

- Es necesario controlar los parámetros de soldadura, mediante especificaciones de la AWS D1.1 del fabricante, rigiéndose a tener una buena calidad de soldadura, así mismo como las propiedades del material.
- Es recomendable evaluar las propiedades tanto del material, en este caso el acero ASTM A572 Gr50 con el electrodo E71T1C.
- Para mejorar la calidad de la soldadura se recomienda realizar una adecuada limpieza, para evitar los concentradores de esfuerzos innecesarios, estos pueden afectar el comportamiento de las propiedades mecánicas en la soldadura.
- Es necesario seguir un protocolo de procedimientos en la soldadura para evitar daños y riegos en el soldador, así como en la soldadura misma como discontinuidades o fisuras.


## 5 Referencias Bibliográficas

- A.W.S. A 5.20. (2017). *Alambres tubulares para aceros al carbono*. 71–76.
- A5.29, A. W. S. (2008). *E81T1-Ni1C / Ni1M DATA SHEET*. 713, 9353–9354.
- AHMSA. (2013). *Manual De Diseño Para La Contrucción Con Acero*.
- AISC. (2010). *Especificación ANSI / AISC 360-10 para Construcciones de Acero* (Alacero (ed.)).
- American Welding Society. (1988). *Tecnología de Inspección de Soldadura*. 1–47.
- ASTM-A572. (2021). *Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel*. 1–4. <https://doi.org/10.1520/A0572>
- ASTM A588. (2019). A588/A588M-15: Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel, up to 50 ksi [345 MPa] Minimum Yield Point, with Atmospheric Corrosion Resistance. *Annual Book of ASTM Standards, A588/A588M*, 1–3. <https://doi.org/10.1520/A0588>
- AWS D1.1. (2020). *Código de soldadura estructural - Acero AWS D1.1*.
- Hay, J. S., & Termsdefinitions, S. (2016). *Geometría De Las Juntas De Soldadura Y Símbología De Soldadura*. 1–28.
- Smith, W., & Hashemi, J. (2014). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería Materiales*. <https://chirinosilvaroger.files.wordpress.com/2012/05/fundamentos-de-la-ciencia-e-ingenieria-de-materiales-4ta-edicion-3b3n-william-f-smith-javad-hashemi.pdf>
- Terán Herrera, H. C., & Andaluz Ortiz, V. H. (2018). *Procesos Metalúrgicos en la Soldadura*.
- West Arco. (2015). Manual de soldadura. *Esab*, 2, 207.
- ASTM E112. (2010). E112/E112M: Standard Test Methods for Determining Average Grain Size, in the case revision, the year of last revision. UU.EE
- ASTM E415. (2014). E415/E415M-14: Standard Test Method for Analysis of carbon and Low - Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry. UU.EE
- ASTM E3. (2011). E3/E3M-15: Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens EE:UU
- ASTM A370. (2018). A370/A370M-15: Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel, up to 50 ksi [345 MPa] Minimum Yield Point, with Atmospheric
- ASTM E18. (2020). E18/EM-15: Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials, UU.EE
- Adams, B. (2004). *ASH Handbook, volumen 9, Metalography and Microstructure 2004* Ohio:ASM international.

# ANEXOS

# ANEXO 1

ANEXOS 1 WPS Código llamado Welding Performace Specification (Especificación del Procedimiento de Soldadura).



---

**ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)**  
 Structural Welding Code Steel AWS D1.1: 2020

Compañía: **KUBIEC**

Autorizado por: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Proceso de soldadura: **FCAW**

Identificación # **KUBIEC.PREC.FCAW-L1a**

PCR No. (s) \_\_\_\_\_

Revisión **0** Fecha: **15-Jul-20**

Precalificado  Reporte CVM

No aplica **Rainy Paguay Alvarado**  
**CWI 15043871**  
**QC1 EXP. 4/1/2021**

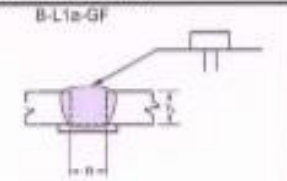
---

METALES BASES	Especificación	Tipo o grado	AWS Grupo No.
Material base	A572 A588	Gr. 50, Gr. A	II
Soldado a	A572 A588	Gr. 50, Gr. A	II
Material de reposito	A572 A588	Gr. 50, Gr. A	II
Otro	---	---	---

ESPESOR DEL MATERIAL BASE	Condición soldado	Con PWHT
Soldadura de ranura CJP	T1 máximo 10 mm	---
Soldadura de ranura CJP con CVN	---	---
Soldadura de ranura FJP	---	---
Soldadura de filete	---	---
Diámetro	---	---

DETALLES DE LA JUNTA	
Tipo de ranura	Joint a tope, sinura en escuadra
Angulo de ranura	No aplica
Abertura de raíz	Rn T1
Talón	No aplica
Backgouging (Repelado)	No aplica
Método	---

ESQUEMA DE DETALLE DE JUNTA	
Tolerancias (mm)	
Según norma	Según acoplamiento
Rn±, a	+0, -3
---	---
---	---



Notas:  
 1) Espesor de placa de raíz (mm) 19 PL, 8 01, 11 01, 8 01  
 2) Espesor de placa de refuerzo (mm) 8 (sólo las puntas)  
 3) Diámetro de cable de raíz 12mm. En donde corres, ancho mínimo 25 mm.

TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA	
Temperatura:	N/A
Tiempo de permanencia:	N/A
Otro:	N/A

PROCEDIMIENTO	
Capa(s) de soldadura (s)	Todas
Pasos de soldadura (s)	1, 2, ... n
Proceso	FCAW
Tipo (Semi-automático, mecanizado, etc)	Semi-automático
Posición	Todas
Progresión vertical	Ascendente
Metal de aporte (Especificación AWS)	A 5.20
Clasificación AWS	E71T1C
Diámetro de electrodo	0,045"
Fabricante /Marca comercial	---
Gas de protección (composición)	100% CO2
Flujo	15-25 lpm
Tamaño de boquilla	5/8"
Temperatura de precalentamiento	Mayor a 10°C
Temperatura entre pasos	N/A
Características eléctricas	---
Tipo de corriente y polaridad	DCEP
Amperios	140-300
Voltaje	24-32
Velocidad de alimentación de alambre	160-650 ipm
Velocidad de avance	9-38 ipm
Aporte de calor mínimo	N/A
Técnica	---
Cordón recto u oscilado	recto
Único paso o múltiples (por lado)	múltiples
Oscilación (Mecanizado/automático)	N/A
Longitud transversal	N/A
Velocidad transversal	N/A
Tiempo de permanencia	N/A
Número de electrodos	N/A
Distancia CTWD	3/4"-1"
Artificado	N/A
Longitud entre pasos	Grain
Otro	N/A



**ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)  
PRECALIFICADO**

Structural Welding Code Steel AWS D1.1: 2015

Identificación # IA.KUBIEC PREC 03  
 Revisión: 0 Fecha: 05-Mar-18 Por: R. Paguy  
 Autorizado por: Luis Reyes Fecha: 05-Mar-18  
 Tipo: Manual      Semi Automático X  
 Máquina      Automático     

Compañía: KUBIEC-CONDUIT  
 Proceso de soldadura: FCAW-G  
 PQR No.(s) PRECALIFICADO

**DISEÑO DE JUNTA USADO**

Tipo: Bisel simple en V, a tope y on esquina  
 Simple: X Doble soldadura:       
 Respaldo (Backing): Yes X No       
 Material de respaldo: Cualquiera de la tabla 3.1, espesor mínimo recomendado 10 mm  
 Ángulo de ranura, abertura de raíz, talón: Ver detalle abajo  
 Prevención de raíz: Sí      No: X  
 Método:     

**POSICIÓN:**

Posición de ranura: F,V,OH Filete:       
 Progresión (Vertical) Ascend. X Descend.     

**CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS**

Modo de transferencia (GMAW)       
 Cortocircuito Globular Spray  
 Current: AC      DCEP X DCEN      Otro:     

**METALES BASES:**

Especificación del material base: ASTM A36, A572, A 588 o cualquier acero del grupo I o II de la tabla 3.1  
 Espesor:      Ranura: 3 a 65 mm Filete:       
 Diámetro (Tubería)     

**Electrodo de tungsteno (GTAW)**

Tamaño:       
 Tipo:     

**MATERIAL DE APORTE:**

Especificación AWS: FCAW (A 5.20)  
 Clasificación AWS: E71T-1

**TÉCNICA:**

Cordón recto u oscilado:      Recto-oscilado       
 Múltiple paso o único por lado:      Múltiple       
 Número de electrodos:       
 Separación de electrodos: Longitudinal:       
 Lateral:       
 Ángulo:       
 Distancia de boquilla a pieza: 3/4" - 1"  
 Martillado: N/A  
 Limpieza entre pases: Grata / disco

**PRECALENTAMIENTO**

Temperatura mínima de precalentamiento e interpase: 3-4x38 mm T>10°C  
38-4x65 mm T>65°C

**TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA**

Temperatura: N/A  
 Tiempo: N/A

**PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

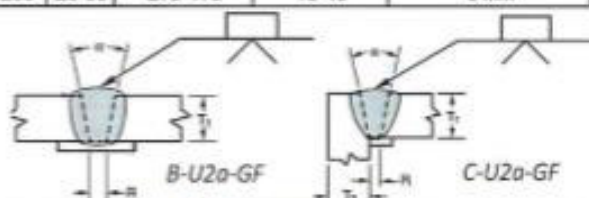
Pases	Proceso	Filar Metala		Corriente		Voltaje	Velocidad de alimentación de alambre (m/min)	Velocidad de avance mínima (cm/min)	Máximo espesor de pase:
		Clase	Diámetro	Tipo y polaridad	Amperios				
1	FCAW-G	E71T-1	0.045 in	DCEP	185-265	26-30	275-475	15-40	Plano: 10mm, Vertical: 12 mm, Sobrecabeza: 8 mm
2, ... N	FCAW-G	E71T-1	0.045 in	DCEP	185-265	26-30	275-475	15-40	6 mm

**Detalles de junta:**

R	5 mm
α	30°
T1	3 a 65 mm
T2	3 a 65 mm

**Tolerancias:**

As detailed	As fit-up
R: +2, -0	+6, -2 (mm)
α: +10°, -0°	+10°, -5°



Cliente:   
 Ing. Luis Reyes

Autorizado por:   
  
 Berna Isabel Paguy Alvarado  
 CWI 15043871  
 QC1 EXP. 4/12/18  
 Ing. Berna Paguy  
 CWI-AWS No. 15043871


## ANEXO 2

WPQ Código llamado Welding Performance Qualification (Soldadura Calificada del Soldador).

WPQ código llamado Welding Performance Qualification (Soldadura Calificada del desempeño del soldador)

KUBIEC-CONDUIT		WELDER QUALIFICATION RECORD "Registro de calificación de Soldador" AWS D1.1:2015 Structural Welding Code-Steel			
Cliente:	KUBEC	Localidad:	Taller Perimetral		
<b>DATOS DE PRUEBA Y RANGOS DE CALIFICACIÓN</b>					
Soldador:	RODRIGUEZ OR. ROJAS JERONIMAS FRANCISCO	Cod. ID:	092837365	Estampa:	0955
Proceso de soldadura:	FCAW-G	Manual:	<input type="checkbox"/> Semiautomático	<input checked="" type="checkbox"/> Mecanizado	<input type="checkbox"/>
Posición de ensayo de calificación:	Soldadura: Placa-carera 90 (T)	Tipo de soldadura y posición de soldadura calificada:	Placa-carera (F, N, V) (T) Placa-Plata (F, N, V) (T)		
En conformidad con el WPS:	KUB-326				
Especificación del material base:	ASTM A588 Gr. A				
Rango de espesor que califica este ensayo:	3 mm hasta infinito				
Especificación:	A 5.28	<b>METAL DE APOORTE</b>		NL, NR:	N/A
Respaldos:	Si, Placa de respaldo ASTM A588 Gr. A	Clasificación:	E E171-NiC-2	NL, NR:	N/A
Díametro y nombre comercial del material de aporte:	300 % CO <sub>2</sub>				
Gas empleado:	300 % CO <sub>2</sub>				
<b>INSPECCIÓN VISUAL</b>					
Apariencia:	Acceptable	Severidades:	no	Possibilidad vermicular:	No
<b>RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE DOBLADO GUARDO</b>					
Tipo		Resultado		Tipo	
---		---		---	
Ensayos realizados por:		---		N.º de ensayo de laboratorio:	
según:		---		Fecha de ensayo:	
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLETE</b>					
Apariencia:	N/A	Tamaño del flete:	N/A		
Permeación de la raíz por ensayo de fractura:	N/A	Microcheques:	N/A		
Observaciones:	---				
Ensayos realizados por:	---		N.º de ensayo de laboratorio:		---
según:	---		Fecha de ensayo:		---
<b>RESULTADOS DE ENSAYOS RADIOGRÁFICOS</b>					
Identificación de la película	Resultados	Comentarios	Identificación de la película	Resultados	Comentarios
ND01	OK	---	---	---	---
Ensayo presentado por:	CERAPLANS		N.º de ensayo:		06-1587-2019
según:	Manual Crea		Fecha de ensayo:		27/2/2019
<p>Notamos, los abajo firmantes, certificamos que las declaraciones en este registro son correctas y que las soldaduras fueron preparadas y sometidas a ensayo según los requisitos de AWS D1.1 (2015) Código de soldadura estructural-acero.</p>					
Autorizado por:	 Firma Paguay Alvarado CUI 18043871 QCT EXP. 6/10/2023		Firmante o controlista:  Fecha: 16/2/2019		
	Firma Paguay Alvarado CUI: AWS 18043871		ENGLER SADOBBE CUI: AWS 18043871 QCT EXP. 6/10/2023		

Tipo de Soldador	Soldador (Welder)		
Nombre	Luis Bombon Caillamara	Estampa Soldador:	KW-27
Identificación No.	091632102-9		
W.P.S. No.	KLIB - 108	Revisión	Fecha
Fecha	1-Aug-16		



Variables	Registro actual de valores usados en la calificación	Rango de Calificación
Tipo de Proceso (Tabla 4.12 ítem 1)	FCAW-G	N/A
Electrodo (único o múltiple) (Tabla 4.12 ítem 7)	-	
Corriente/Polaridad	CCSP	(1G, 2G, 3G - 1F, 2F, 3F)
Posición (Tabla 4.12 ítem 4)	3G	Ascendente
Progresión Soldadura (Tabla 4.12 ítem 5)	Ascendente	Backing o Backweld
Backing (Si o No) (Tabla 4.12 ítem 5)	Backing Metálico	Gr 2, Gr 1
Material/Especificación	Gr 2 a Gr 2 A588 GrA a A588GrA	
<b>Base Metal</b>		
Espesor(es) (Placa)		
Bisel	3/4"	1/8" a 1-1/2"
Filete		todos
Espesor(es) (Pipe/tubo)		
Bisel		1/8" a 1-1/2"
Filete		todos
Diámetro (Pipe)		
Bisel		mayor a 24"
Filete		mayor a 24"
<b>Material Aporte (Tabla 4.12)</b>		
Spec. No.	A 5.23	
Clas.	E 81T1 Ni1 C	
F-No. (Tabla 4.12, ítem 2f)	F6	F6
Tipo Gas/Fund. (Tabla 4.12)	SG-C (100% CO2)	
Otro	-	

**INSPECCIÓN VISUAL (4.8.1)**

Aceptable    Si     No

Inspeccionado por: Ing. Paul Ajlla    No. Probeta(s) 3G No - 11

**Resultado de Ensayo de Doblado Guiado (4.30.5)**




PROBETA	TIPO	RESULTADO	REMARKS
3G No - 11	LATERAL	APROBADO	
3G No - 11	LATERAL	APROBADO	

Interpretado por: Ing. Luis Paul Ajlla Camacho    No. Probeta(s) 3G No - 11

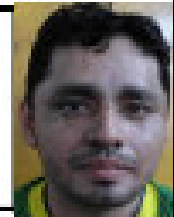
Organización: -    Fecha: 3-Aug-16

No de Informe: BT 10-0716 C

Certificamos que este registro es correcto y que las probetas fueron preparadas, soldadas, ensayadas y su diseño fue realizado conforme los requerimientos de la sección 4 del AWS D1.1/D1.1M, (2.015) Structural Welding Code - Steel.

Constructor - KUBIEC   <b>Ing. Luis Reyes R.</b> Control de Calidad	Autorizado por:    <b>Luis P. Ajlla Camacho</b> CWP 08011291 OCT EXP. 1/1/2017  <b>Luis P. Ajlla Camacho</b> CWP-AGW No. 08011291 / API 577
--	---

Tipo de Soldador Soldador (Welder)  
 Nombre David Salvallema Ochoa Estampa Soldador: KW-21  
 Identificación No. 120602300-2  
 W.P.S. No. IA.KUBIEC.PREC.03 Revisión \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_  
 Fecha 19-Mar-16



Variables	Registro actual de valores usados en la calificación	Rango de Calificación
Tipo de Proceso (Tabla 4.12 ítem 1)	<u>FCAW-G</u>	<u>N/A</u>
Electrodo (único o múltiple) (Tabla 4.12 ítem 7)	<u>-</u>	
Corriente/Polaridad	<u>CCBP</u>	
Posición (Tabla 4.12 ítem 4)	<u>3G</u>	<u>(1G, 2G, 3G - 1F, 2F, 3F)</u>
Progresión Soldadura (Tabla 4.12 ítem 5)	<u>Ascendente</u>	<u>Ascendente</u>
Backing (Si o No) (Tabla 4.12 ítem 6)	<u>Backing Metálico</u>	<u>Backing o Backweld</u>
Material/Especificación	<u>Gr 2 a Gr 2</u> <u>A588 GrA a A588GrA</u>	<u>Gr 2, Gr 1</u>
<b>Base Metal</b>		
Espesor(es) (Placa)		
Base	<u>1/2"</u>	<u>1/8" a 1"</u>
Filete		<u>todos</u>
Espesor(es) (Pipetubo)		
Base		<u>1/8" a 1"</u>
Filete		<u>todos</u>
Diámetro (Pipe)		
Base		<u>mayor a 24"</u>
Filete		<u>mayor a 24"</u>
<b>Material Aporte (Tabla 4.12)</b>		
Spec. No.	<u>A 5.20</u>	
Clase	<u>E 71T1C</u>	
F-No. (Tabla 4.12, ítem (2))	<u>FB</u>	<u>FB</u>
Tipo Gas/Fund. (Tabla 4.12)	<u>SG-C (100% CO2)</u>	
Otro	<u>-</u>	

**INSPECCION VISUAL (4.8.1)**

Acceptable Si  No

Inspeccionado por: Ing. Paul Ajlla No. Prueba(s) 3G W-03  
 Organización WELDTST S.A. Fecha: 19-Mar-16

**Resultado de Ensayo Radiográfico (4.30.3.1)**

PROBETA	PELICULA No.	RESULTADO	REMARKAS
3G W-03	W-03 FCAW	APROBADO	

Interpretado por: Ing. Manuel Eras No. Prueba(s) 3G W-03  
 Organización OBRAPLANFIS Fecha: 20-Mar-16  
 No de Informe: OB-0373-2016

Certificamos que este registro es correcto y que las pruebas fueron preparadas, soldadas, ensayadas y su diseño fue realizado conforme los requerimientos de la sección 4 del AWS D1.1/D1.1M, (2.010), Structural Welding Code - Steel.

Constructor - KUBIEC



**Ing Luis Reyes R**  
Control de Calidad

Autorizado por:



**Luis P. Ajlla Camacho**  
CWI-ASW No. 08011291 / API 577

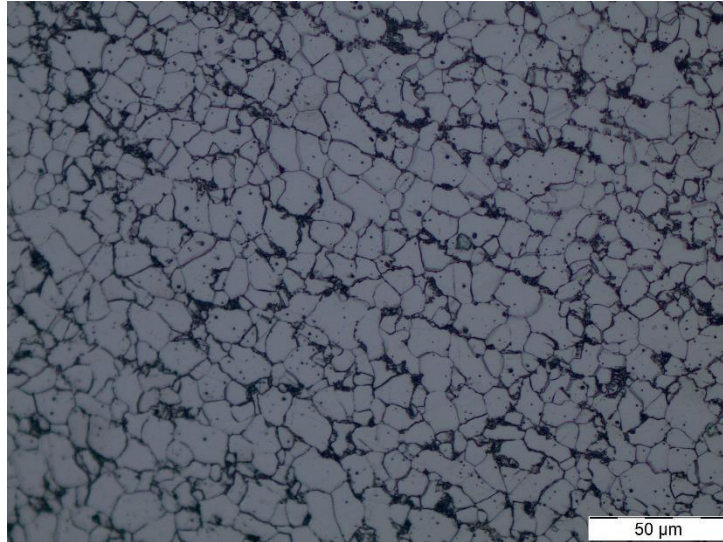


### ANEXO 3

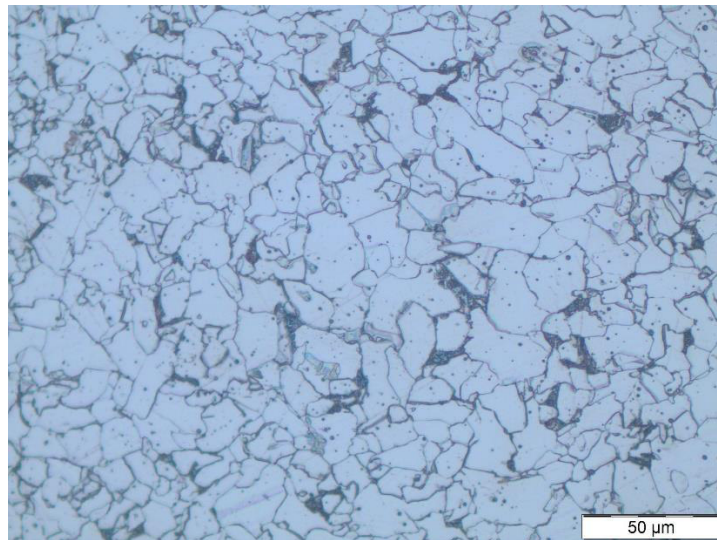
Fotografías de las microestructuras del acero ASTM A572 Gr50 con soldadura agregada.

#### PROBETA R6

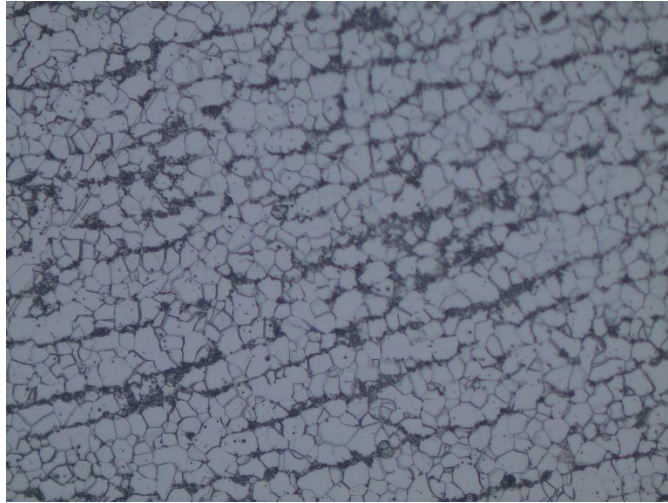
Fotografía del centro del material con aplicación de soldadura, (probeta espesor 6 mm)  
Presenta granos de ferrita y perlita, en su mayoría presenta ferrita poligonal.



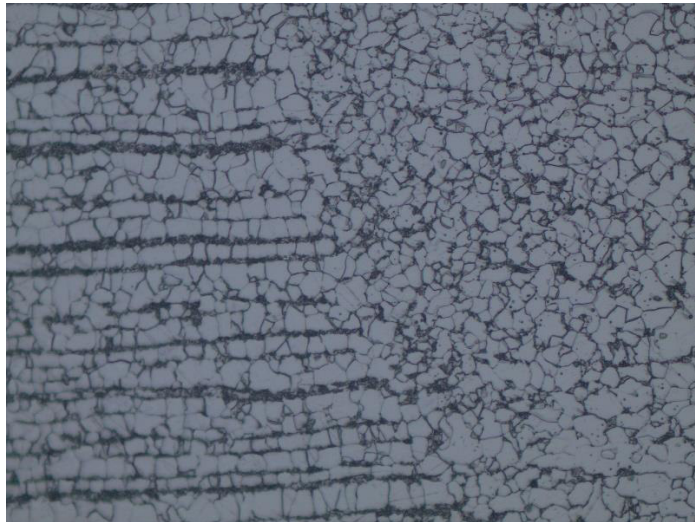
Fotografía en el filo del material, con aplicación de soldadura (probeta espesor 6mm).  
Presencia de ferrita y perlita.



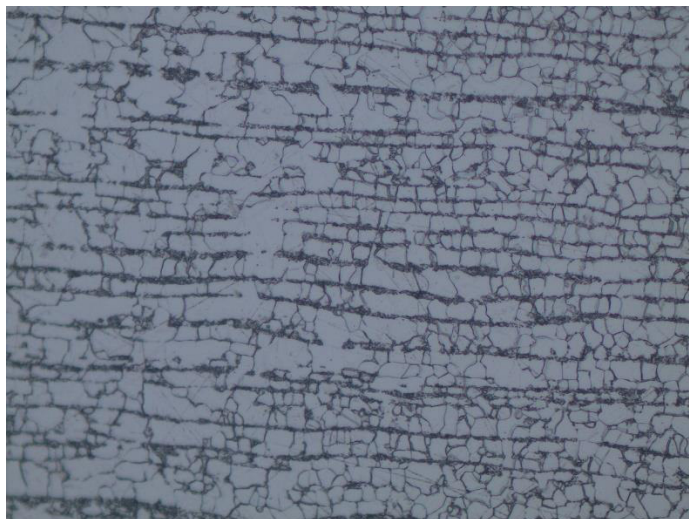
Fotografía del material de aporte, con aplicación de soldadura (probeta espesor 6mm).  
Presencia de ferrita con perlita orientada.



Fotografía del material base, ZAC y el material de aporte, con aplicación de soldadura (probeta espesor 6mm). Presenta probetas extraídas longitudinalmente representando granos equiaxiales ferríticos- perlíticos.

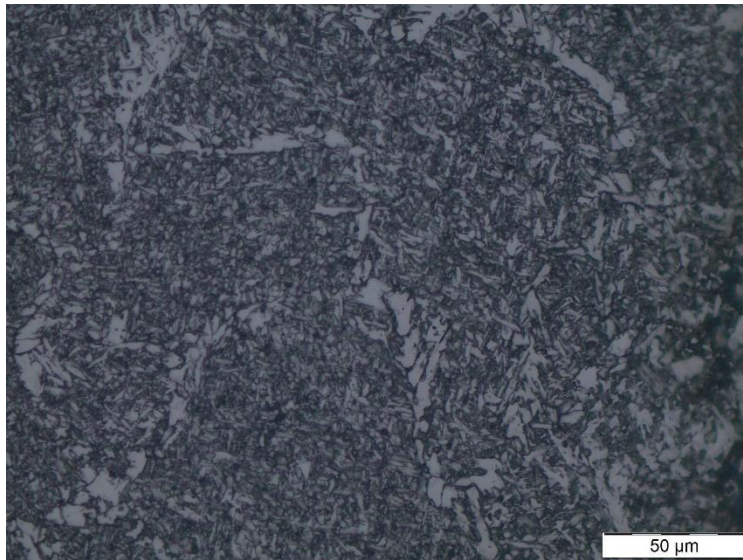


Fotografía de la ZAC con aplicación de soldadura (probeta espesor 6mm). Presenta granos longitudinales perlítico y ferríticos en dirección del laminado.

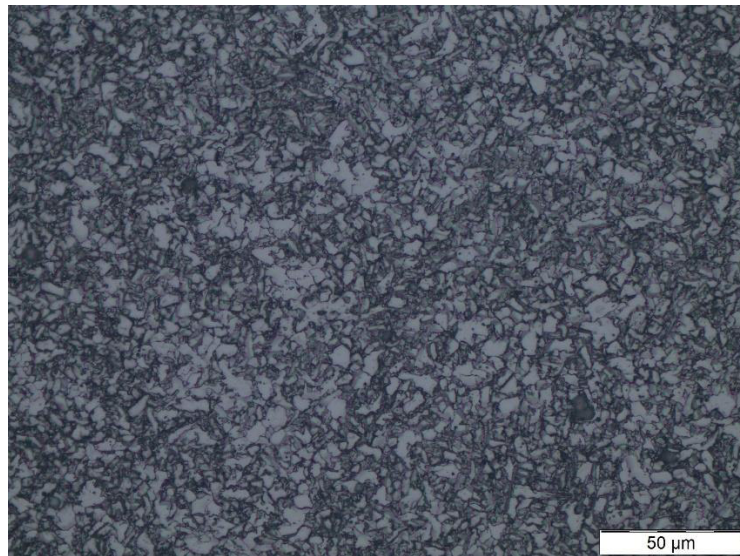


## PROBETA R15

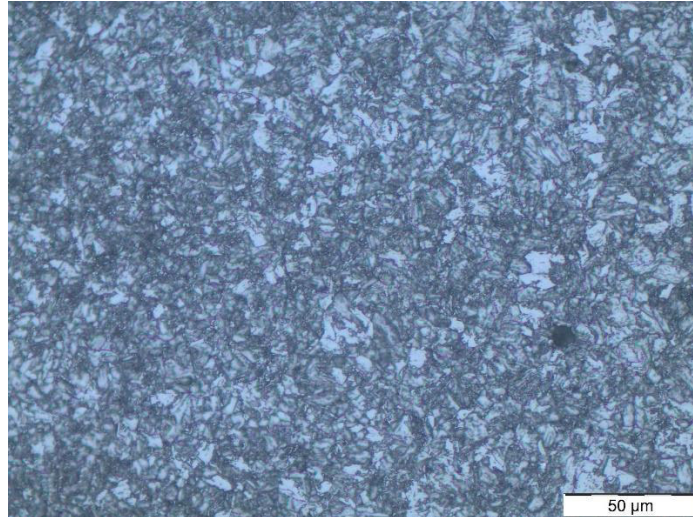
La micrografía presenta ferrita widmanstatten en forma de hojuelas y ramificaciones, se debe a los cambios de temperatura de enfriamiento y favorece el aumento de dureza.



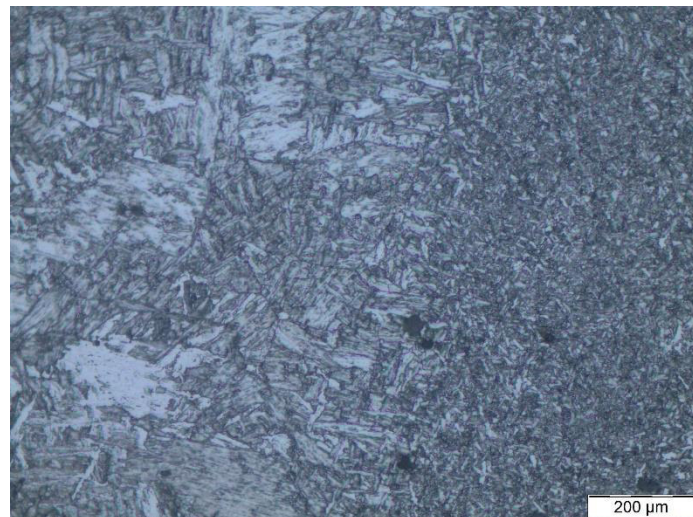
La micrografía presenta un material perlítico-ferrítico



La microestructura presenta zonas de perlita y ferrita equiaxial



La micrografía presenta ferrita widmanstatten en forma de hojuelas y ramificaciones, se debe a los cambios de temperatura de enfriamiento.

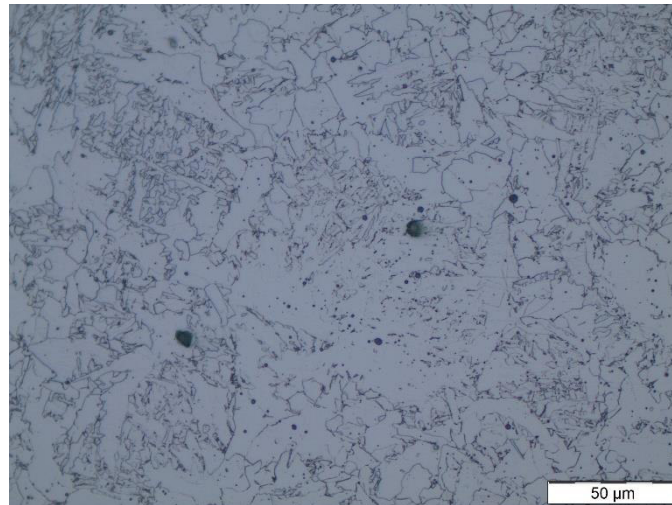


### **PROBETA R25**

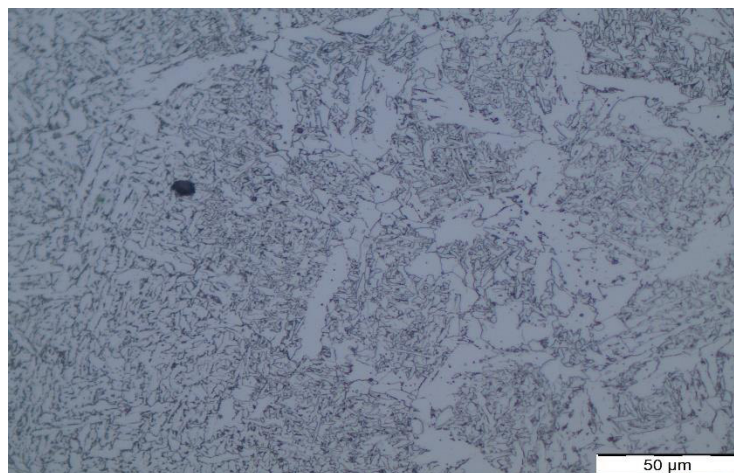
La micrografía del material de aporte presenta una microestructura ferrítica-perlítica.



La micrografía del material presenta pocas inclusiones metálicas, presencia de perlita y ferrita.



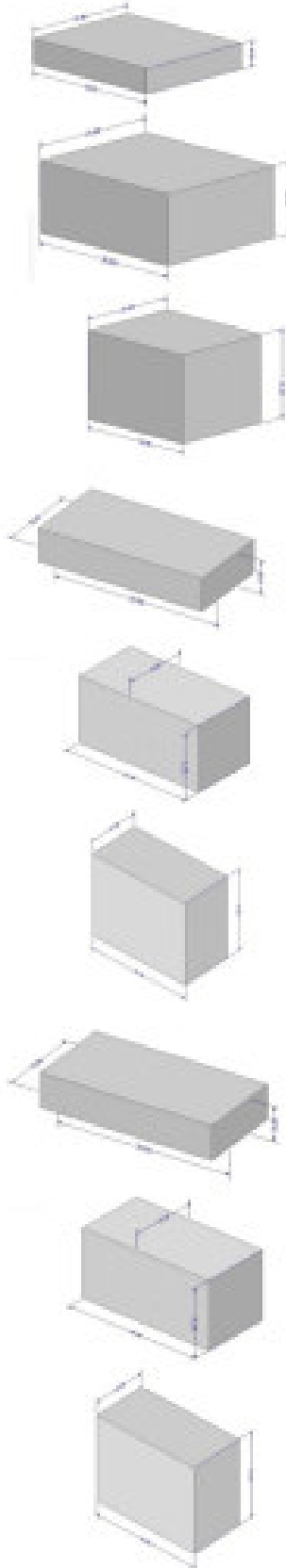
La micrografía del material presenta pocas inclusiones metálicas, presencia de perlita y ferrita, con una inclusión.



## ANEXO 4

Plan de ensayos metalográficos y de dureza.

**PLAN DE ENSAYOS**



MUESTRAS PARA ENSAYO DE DUREZA		
IDENTIFICACIÓN	MUESTRA	ESPESOR
2021 029	RELLENO	6
2022 029	RELLENO	15
2023 029	RELLENO	25

MUESTRAS PARA ENSAYO DE METALOGRAFÍA		
IDENTIFICACIÓN	MUESTRA	ESPESOR
2021 029	RELLENO	6
2022 029	RELLENO	15
2023 029	RELLENO	25

MUESTRAS PARA ENSAYO DE MACRO Y MICROGRAFÍA		
IDENTIFICACIÓN	MUESTRA	ESPESOR
2021 029	RELLENO	6
2022 029	RELLENO	15
2023 029	RELLENO	25

MUESTRAS PARA ENSAYO DE DUREZA, METALOGRAFÍA MACRO Y MICROGRAFÍA		
IDENTIFICACIÓN	MUESTRA	ESPESOR
2021 029	MATERIAL BASE	6
2022 029	MATERIAL BASE	15
2023 029	MATERIAL BASE	25

## ANEXO 5

### Informe de doblado, realizado en KUBIEC

Informe del ensayo de Doblado, realizado en la empresa KUBIEC



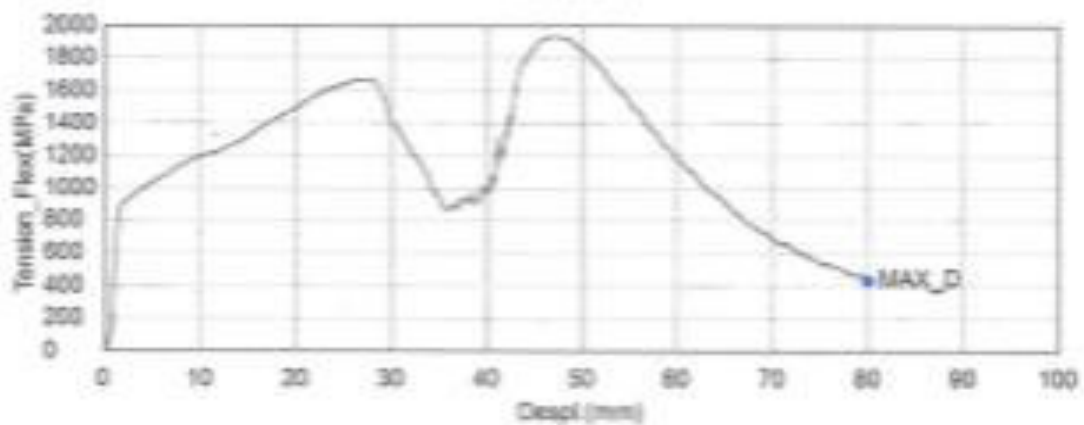
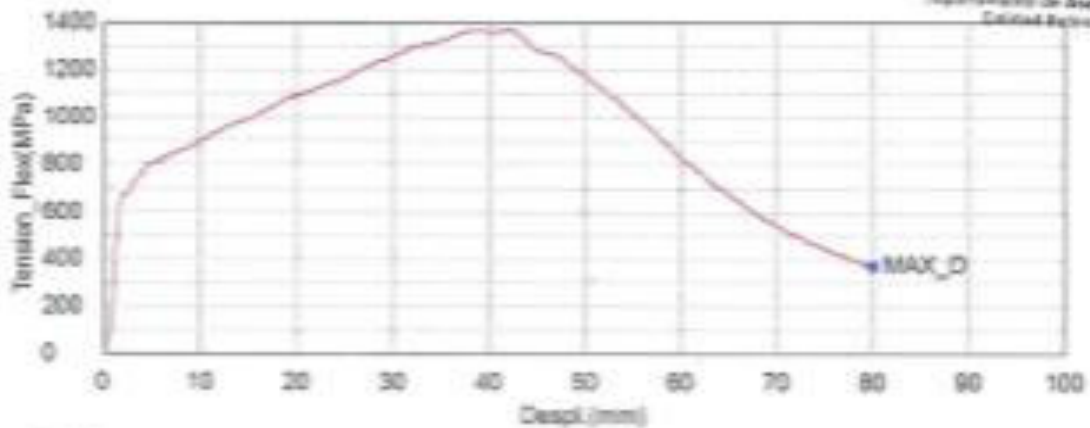
## Ensayo de Flexión

Centro de Aseguramiento Desarrollo e Investigación Kubiec

Nombre Ensayo	ENSAYO DE DOBLADO	Nombre de producto	PROBETA DE MATERIAL AST2
Informe N°	ED-EB-ASTM AST2	Nombre de método de ensayo	Flexión_3ptos_Probetas_astm2
Fecha de informe	2/7/2021	Fecha de ensayo	2/7/2021
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexión 3 ptos.
Velocidad	20mm/min	Forma	Plana
N° de partidas	1	N° de muestras	2

Nombre	Max_Disp_Fuerza	Max_Disp_Desplaza máximo	Max_Disp_Tiempo
Parámetros			
Unidad	N	mm	seg
ED-EB-1-LATERAL	0.80280	80.0448	183.500
ED-EB-2-CARA	0.73952	80.0451	183.480
Medio	0.56516	80.0448	183.475
Desviación Estándar	0.09380	0.00048	0.00558
Rango	0.13272	0.00088	0.05000

*Luís Reyes*  
Aprobado por: Ing. Luis Reyes  
Jefe de Área





## Ensayo de Flexión

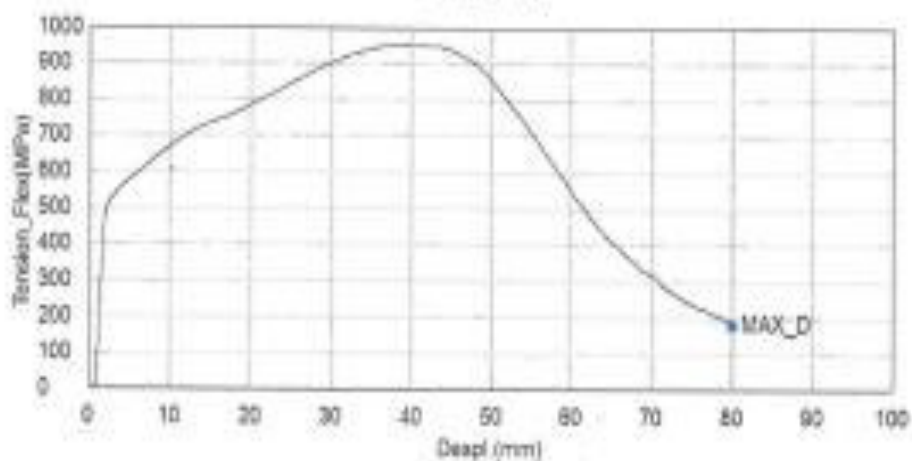
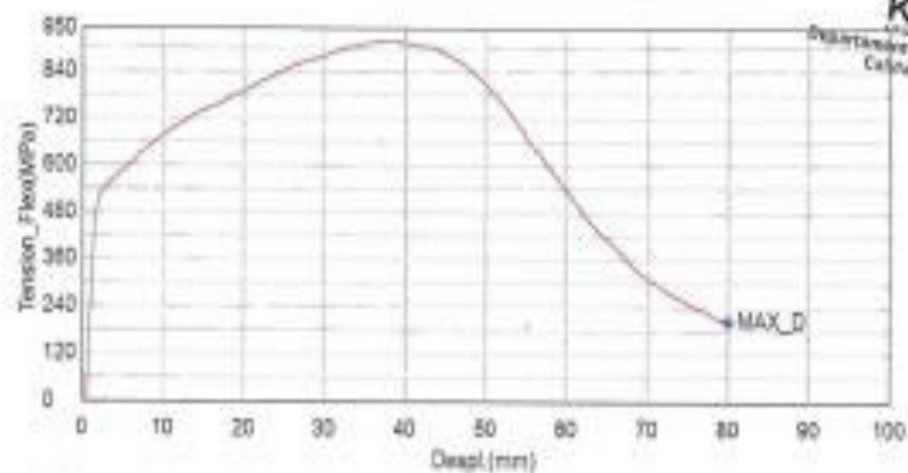
Centro de Aseguramiento Desarrollo e Investigación Kubiec

Nombre Ensayo	ENSAYO DE DOBLADO LATERAL	Nombre de producto	PROBETA DE MATERIAL A572
Informe N°	ED-E15-ASTM A572	Nombre de método de ensayo	Flexión_3ptos_Probetas_a_oldera.ansys
Fecha de informe	2/7/2021	Fecha de ensayo	2/7/2021
Modo de Ensayo	Seno/le	Tipo de ensayo	Flexión 3 ptos.
Velocidad	30mm/min	Forma	Plana
N° de partidas:	1	N° de muestras:	2

Nombre	Max_Disp_Fuerza	Max_Disp_Desplazamiento	Max_Disp_Tiempo
Parámetros			
Unidad	kN	mm	seg
ED-E15-1	1.88952	80.0475	163.430
ED-E15-2	1.88358	80.0448	163.430
Media	1.88159	80.0460	163.429
Desviación Estándar	0.00621	0.00212	0.00707
Rango	0.13608	0.00300	0.00899

*[Firma]*  
Aprobado por Ing. Luis Rojas  
Jefe de Área

**KUBIEC**  
CENTRO DE ASEGURAMIENTO  
DESARROLLO E INVESTIGACIÓN  
DEPARTAMENTO DE ASEGURAMIENTO DE LA  
CALIDAD KUBIEC (CADM)







## Ensayo de Flexión

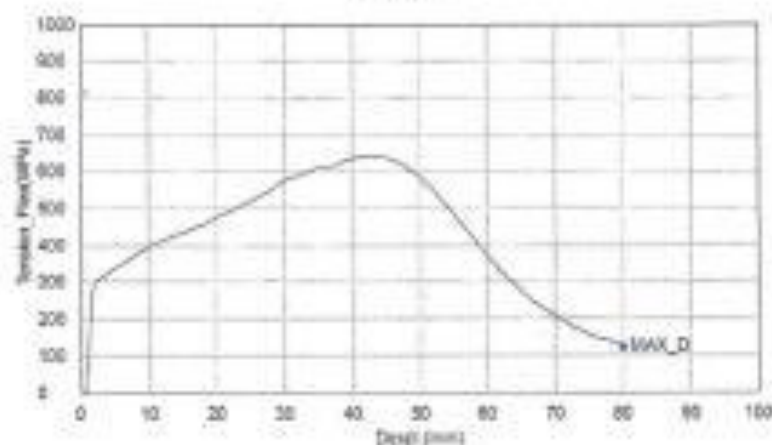
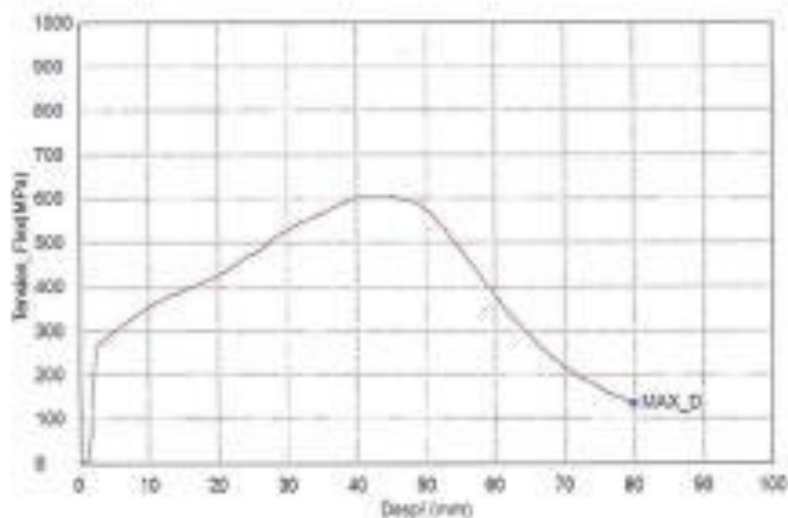
Centro de Aseguramiento Desarrollo e Investigación Kubiec

Nombre Ensayo	ENSAYO DE DOBLADO LATERAL	Nombre de producto	PRÓBETA DE MATERIAL A572
Informe N°	ED-E25-ASTM A572	Nombre de metodo de ensayo	Flexión_3ptos_Probetas_a_olédura.xml
Fecha de informe	2/7/2021	Fecha de ensayo	2/7/2021
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexión 3 ptos.
Velocidad	30mm/min	Forma	Plana
N° de partidas:	1	N° de muestras:	2

Nombre	Max_Disp_Fuerza	Max_Disp_Desplazamiento	Max_Disp_Tiempo
Parametros			
Unidad	N	mm	seg
ED-E25-1	4.01886	60.0434	163.400
ED-E25-2	3.53789	60.0490	163.390
Media	3.77838	60.0462	163.395
Desviacion Estandar	0.24010	0.00396	0.00707
Rango	0.48097	0.00580	0.00938

  
Aprobado por: Ing. Luis Reyes  
Jefe de Área

  
KUBIEC  
CENTRO DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD  
Departamento de Aseguramiento de la Calidad Kubiec (CACIK)



## ANEXO 6

### Informe del ensayo de tracción, realizado en KUBIEC

Informe del ensayo de Tracción, realizado en la empresa KUBIEC



## Ensayo de Tracción

Centro de Aseguramiento de la Calidad Desarrollo e Investigación Kubles

Código: RLAB-033-14
Rev: 0
Fecha: 20/12/2018

Cliente:	TESIS-GUADALUPE	Informe N° :	ET-e6-2021
Solicitado por:	PROC. REVISION MP	Tipo de ensayo	Tracción
Material:	ASTM A572 Gr50	Fecha de ensayo	28/8/2021
Elemento:	PROBETA PLANA	Método de Ensayo:	Sencillo
N° de muestras:	1	Importación/Colada	N/A
Realizado por:	NICOLAS LEON	Aprobado por:	LUIS REYES

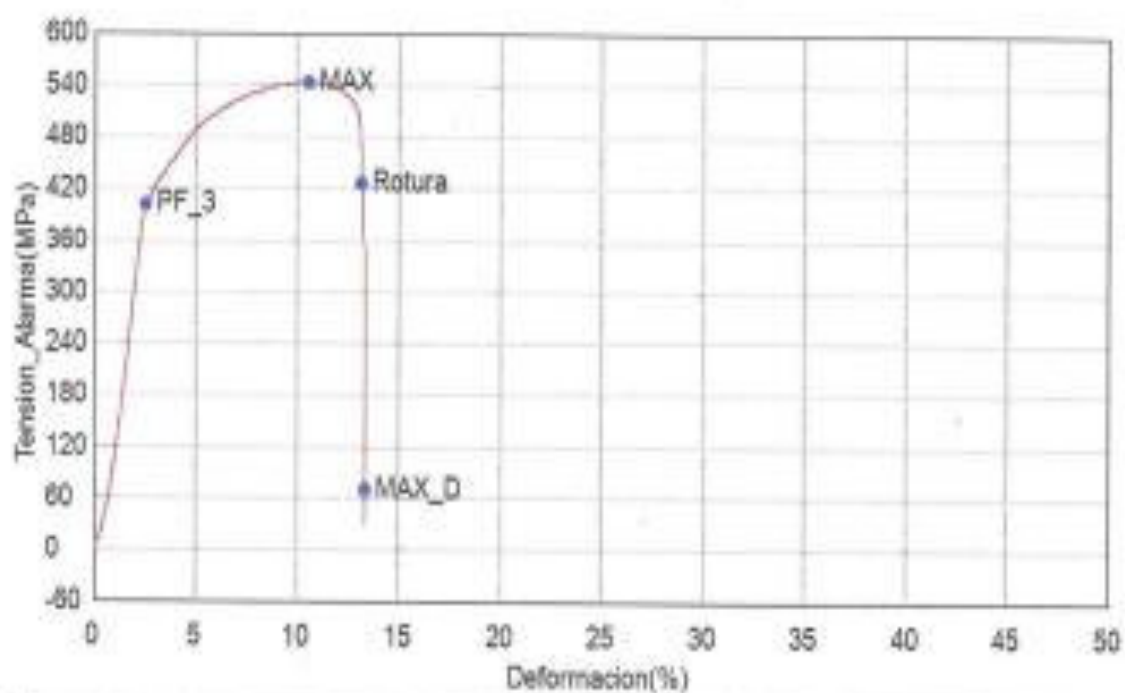
Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
ET-e6-2021	5,5400	39,6300	100,0000

Nombre	YS
Parametros	3 Puntos
Unidad	MPa
ET-e6-2021	402,849
Media	402,849
Desviacion Estandar	-.-
Rango	0,00000

Nombre	Max_Tension
Parametros	Calc. at Entire Areas
Unidad	MPa
ET-e6-2021	543,070
Media	543,070
Desviacion Estandar	-.-
Rango	0,00000

Nombre	Deformacion
Parametros	
Unidad	%
ET-e6-2021	13,3388
Media	13,3388
Desviacion Estandar	-.-
Rango	0,00000





Observaciones:

---

Nicolás León  
Analista de Calidad

Ing. Luis Reyes  
Jefe de Área



## Ensayo de Tracción

Centro de Aseguramiento de la Calidad Desarrollo e Investigación Kubiec

Código: KLAB-002-14  
Rev: 3  
Fecha: 20/12/2019

Cliente:	TESIS-GUADALUPE	Informe N°:	ET-e15-2021
Solicitado por:	PROC. REVISION MP	Tipo de ensayo:	Traccion
Material:	ASTM A572 Gr50	Fecha de ensayo:	28/6/2021
Elemento:	PROBETA PLANA	Método de Ensayo:	Sencillo
N° de muestras:	1	Importación/Colada:	NA
Realizado por:	NICOLAS LEON	Aprobado por:	LUIS REYES

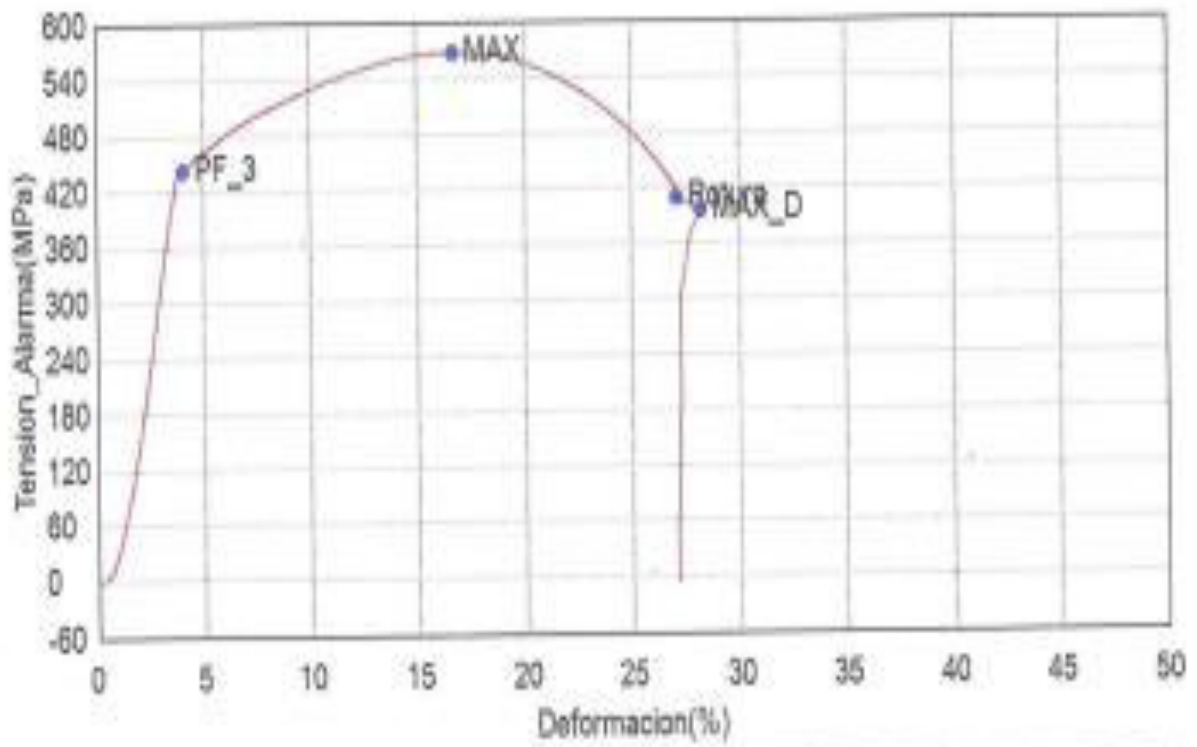
Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
ET-e15-2021	14,8200	38,5300	100,0000

Nombre	YS
Parametros	3 Puntos
Unidad	MPa
ET-e15-2021	442,739
Media	442,739
Desviacion Estandar	--
Rango	0,00000

Nombre	Max_Tension
Parametros	Calc. at Entire Areas
Unidad	MPa
ET-e15-2021	587,594
Media	587,594
Desviacion Estandar	--
Rango	0,00000

Nombre	Deformacion
Parametros	
Unidad	%
ET-e15-2021	28,2124
Media	28,2124
Desviacion Estandar	--
Rango	0,00000





Observaciones:

  
 Nicolás León  
 Analista de Calidad

  
 Ing. Luis Reyes  
 Jefe de Área



## Ensayo de Tracción

Centro de Aseguramiento de la Calidad Desarrollo e Investigación Kubiec

Código: RLAD-001-14  
Rev: 0  
Fecha: 20/11/2019

Cliente:	TESIS-GUADALUPE	Informe N° :	ET-e25-2021
Solicitado por:	PROC. REVISION MP	Tipo de ensayo	Tracción
Material:	ASTM A572 Gr50	Fecha de ensayo	28/6/2021
Elemento:	PROBETA PLANA	Método de Ensayo:	Sencillo
N° de muestras:	1	Importación/Colada	NA
Realizado por:	NICOLAS LEON	Aprobado por:	LUIS REYES

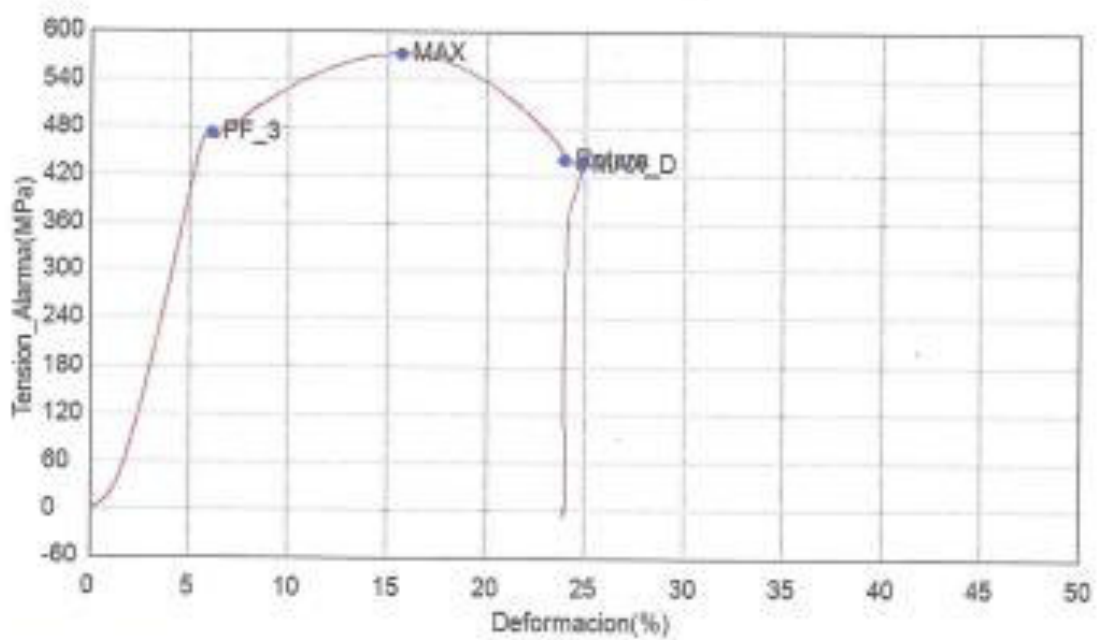
Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidad	mm	mm	mm
ET-e25-2021	15,1700	39,4900	100,0000

Nombre	YS
Parametros	3 Puntos
Unidad	MPa
ET-e25-2021	472,088
Media	472,088
Desviación Estandar	-.-
Rango	0,00000

Nombre	Max Tension
Parametros	Calc. at Entire Areas
Unidad	MPa
ET-e25-2021	571,412
Media	571,412
Desviación Estandar	-.-
Rango	0,00000

Nombre	Deformacion
Parametros	
Unidad	%
ET-e25-2021	24,7898
Media	24,7898
Desviación Estandar	-.-
Rango	0,00000





Observaciones:

  
 Nicolás León  
 Analista de Calidad

  
 Ing. Luis Reyes  
 Jefe de Área

## ANEXO 7

### Informe Técnico de la espectrometría por chispa



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

DEPARTAMENTO DE MATERIALES

LABORATORIO DE FUNDICIÓN

### INFORME TÉCNICO



**Solicitado por:** Dr. Victor Hugo Hidalgo PHD

**Tipo de Trabajo:** Espectrometría por chispa

**Fecha:** 23 de julio del 2021

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

**Descripción:** Muestras de material metálico


#### 1. ANTECEDENTES.

Se recibe en el Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional tres probetas de material metálico.



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

#### 2. IDENTIFICACIÓN DE LAS PROBETAS.

La probeta para el análisis correspondiente son identificadas como se muestra a continuación:

Nombre	Identificación de la probeta	Identificación Gráfica
MUESTRAS METÁLICAS	M1 Cordón	 Espesor = 6 mm
	M1 Metal base	



MUESTRAS METÁLICAS	M2 Cordon	
	M2 Metal base	
	M3 Cordon	
	M3 Metal base	

### 3. ANTECEDENTES TÉCNICOS

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

3.2. **Método:** Fe 110 Low alloy

### 4. VALORES OBTENIDOS

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

		M1 (espesor = 6 mm)		M2 (espesor = 15 mm)	
		M1 Cordón	M1 Metal base	M2 Cordón	M2 Metal base
Elemento		Valor [%]	Valor [%]	Valor [%]	Valor [%]
Carbono	[C]	0,102	0,161	0,179	0,150
Silicio	[Si]	0,405	0,0096	0,125	0,120
Manganeso	[Mn]	1,193	0,629	1,185	1,169
Fósforo	[P]	0,021	0,027	0,040	0,044
Cromo	[Cr]	0,018	0,014	0,248	0,250
Níquel	[Ni]	0,014	0,014	0,017	0,021
Cobre	[Cu]	0,0058	0,0029	0,021	0,021
Aluminio	[Al]	0,023	0,030	0,018	0,015
Cobalto	[Co]	0,0039	---	0,0097	0,0095
Niobio	[Nb]	0,019	0,0051	0,013	0,013
Titanio	[Ti]	0,075	0,0036	0,014	0,014
Estaño	[Sn]	0,014	0,0040	0,016	0,020
Hierro	[Fe]	98,09	99,10	98,11	98,14
<b>Total</b>		<b>99,98</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>99,99</b>

		M3 (espesor = 25 mm)	
		M3 Cordón	M3 Metal base
Elemento		Valor [%]	Valor [%]
Carbono	[C]	0,066	0,135
Silicio	[Si]	0,386	0,240
Manganeso	[Mn]	1,207	1,227
Fósforo	[P]	0,017	0,029
Cromo	[Cr]	0,051	0,341
Níquel	[Ni]	0,028	0,137
Cobre	[Cu]	0,021	0,168
Aluminio	[Al]	0,023	0,026
Cobalto	[Co]	0,0045	0,012
Niobio	[Nb]	0,016	0,0071
Titanio	[Ti]	0,093	0,0078
Vanadio	[V]	0,0093	0,017
Estaño	[Sn]	0,013	0,0084
Hierro	[Fe]	98,06	97,64
<b>Total</b>		<b>99,99</b>	<b>100,00</b>



Ing. Luis G. Huica

**Técnico Responsable**



Ing. Óscar Sotomayor

**Jefe del Laboratorio de  
Fundición**



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

## Bruker Analysis Report



Sample: M1 Cordón

Analysis Time: 22.07.2021 11:39:16

Method: Fe110

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
⊗	0,102	0,405	1,193	0,021	<0,0030
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
⊗	0,018	<0,0050	0,014	0,0058	0,023
	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	W [%]
⊗	0,0039	0,019	0,075	0,0079	<0,020
	B [%]	Sn [%]	Fe [%]		
⊗	0,0062	0,014	98,89		

## Bruker Analysis Report



Sample: M1 Metal base

Analysis Time: 22.07.2021 11:51:06

Method: Fe110

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
⊗	0,161	0,0096	0,629	0,027	<0,0030
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
⊗	0,014	<0,0050	0,014	0,0029	0,030
	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	W [%]
⊗	<0,0030	0,0051	0,0036	<0,0030	<0,020
	B [%]	Sn [%]	Fe [%]		
⊗	0,0047	0,0040	99,10		

## Bruker Analysis Report



Sample: M2 Cordón

Analysis Time: 22.07.2021 11:58:13

Method: Fe110

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
☒	0,179	0,125	1,185	0,040	<0,0030
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
☒	0,248	<0,0050	0,017	0,021	0,018
	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	W [%]
☒	0,0097	0,013	0,014	<0,0030	<0,020
	B [%]	Sn [%]	Fe [%]		
☒	0,0056	0,016	98,11		

## Bruker Analysis Report



Sample: M2 Metal base

Analysis Time: 22.07.2021 12:03:58

Method: Fe110

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
☒	0,150	0,120	1,169	0,044	<0,0030
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
☒	0,250	<0,0050	0,021	0,021	0,015
	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	W [%]
☒	0,0095	0,013	0,014	<0,0030	<0,020
	B [%]	Sn [%]	Fe [%]		
☒	0,0056	0,020	98,14		

## Bruker Analysis Report



Sample: M2 Metal base

Analysis Time: 22.07.2021 12:03:58

Method: Fe110

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
☒	0,150	0,120	1,169	0,044	<0,0030
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
☒	0,250	<0,0050	0,021	0,021	0,015
	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	W [%]
☒	0,0095	0,013	0,014	<0,0030	<0,020
	B [%]	Sn [%]	Fe [%]		
☒	0,0056	0,020	98,14		