



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y  
CARACTERIZACIÓN METALGRÁFICA DE JUNTAS  
SOLDADAS A TOPE DE ACERO ASTM A36, CON MATERIAL DE  
APORTE ER70 S-6 BAJO PROCESO GMAW**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR:**

**DAVID ANDRÉS ALBÁN NARANJO**

Riobamba – Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y  
CARACTERIZACIÓN METALGRÁFICA DE JUNTAS  
SOLDADAS A TOPE DE ACERO ASTM A36, CON MATERIAL DE  
APORTE ER70 S-6 BAJO PROCESO GMAW**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR:** DAVID ANDRÉS ALBÁN NARANJO

**DIRECTOR:** Ing. CARLOS OSWALDO SERRANO AGUIAR

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, David Andrés Albán Naranjo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, DAVID ANDRÉS ALBÁN NARANJO, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 7 de diciembre de 2022.



**David Andrés Albán Naranjo**

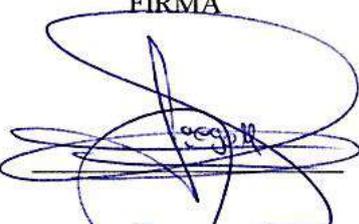
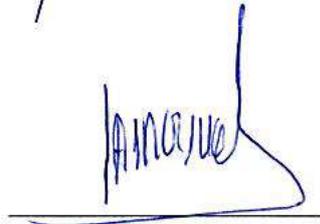
**060462350-4**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y CARACTERIZACIÓN METALOGRAFICA DE JUNTAS SOLDADAS A TOPE DE ACERO ASTM A36, CON MATERIAL DE APORTE ER70 S-6 BAJO PROCESO GMAW**, realizado por: **DAVID ANDRÉS ALBÁN NARANJO**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-12-07
Ing. Carlos Oswaldo Serrano Aguiar <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-12-07
Ing. Geovanny Novillo Andrade <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2022-12-07

## **DEDICATORIA**

A mis padres Víctor y Alicia quienes con su amor hicieron todo lo posible para que llegara este momento, siempre dándome palabras de apoyo y cariño, quienes han guiado mi camino evitando que se desvíe mi rumbo. A mi esposa Jenny quien siempre me ayudó y creyó en mí, acompañándome incondicionalmente durante todos estos años. A mi hija Valentina que con su sonrisa me llena de fuerzas y me motiva a superarme cada día.

*David*

## AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermana quienes siempre me han motivado a seguir adelante sin importar las adversidades, a mi esposa e hija quienes siempre han estado presentes cuando más las he necesitado.

A la Carrera de Mecánica de la ESPOCH y a todo su personal de quienes adquirí los conocimientos durante todos estos años. A Facultad de Mecánica de la EPN y al personal del Laboratorio de Soldadura quienes me permitieron desarrollar parte de este trabajo en sus instalaciones.

A familiares y amigos a quienes no menciono directamente, pero me han ayudado a lo largo de todo este tiempo y me han aportado su grano de arena, contribuyendo así al desarrollo de este trabajo.

*David*

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
RESUMEN.....	xix
SUMMARY.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Delimitación .....	4
1.2.1. <i>Delimitación espacial</i> .....	4
1.2.2. <i>Delimitación sectorial</i> .....	4
1.3. Formulación del problema.....	4
1.4. Objetivos .....	5
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	5
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	5

### CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1. Soldadura.....	6
2.1.1. <i>Terminología</i> .....	6

2.1.1.1.	<i>Material base</i> .....	6
2.1.1.2.	<i>Material de aporte</i> .....	6
2.1.1.3.	<i>Cordón de soldadura</i> .....	8
2.1.1.4.	<i>Zona afectada por el calor (ZAC)</i> .....	9
<b>2.2.</b>	<b>Procesos de soldadura</b> .....	<b>9</b>
2.2.1.	<i>Soldadura por arco eléctrico</i> .....	10
2.2.2.	<i>Soldadura oxiacetilénica</i> .....	11
2.2.3.	<i>Soldadura por resistencia eléctrica</i> .....	11
2.2.4.	<i>Soldadura por electroescoria</i> .....	12
2.2.5.	<i>Soldadura por fricción</i> .....	13
2.2.6.	<i>Soldadura por forja</i> .....	14
<b>2.3.</b>	<b>Tipos de soldaduras</b> .....	<b>15</b>
<b>2.4.</b>	<b>Tipos de juntas</b> .....	<b>15</b>
<b>2.5.</b>	<b>Posiciones</b> .....	<b>16</b>
<b>2.6.</b>	<b>Proceso GMAW</b> .....	<b>17</b>
2.6.1.	<i>Gases</i> .....	17
2.6.2.	<i>Equipos</i> .....	18
2.6.3.	<i>Tipos de transferencia</i> .....	19
2.6.4.	<i>Variables del proceso</i> .....	20
2.6.5.	<i>Ventajas y desventajas</i> .....	20
2.6.6.	<i>Material de aporte</i> .....	21
2.6.7.	<i>Material aporte ER70S-6</i> .....	22
2.6.8.	<i>Propiedades mecánicas</i> .....	22
2.6.9.	<i>Composición química</i> .....	23
<b>2.7.</b>	<b>Acero ASTM A36</b> .....	<b>23</b>
2.7.1.	<i>Propiedades mecánicas</i> .....	24
2.7.2.	<i>Composición química</i> .....	25
<b>2.8.</b>	<b>Propiedades mecánicas</b> .....	<b>25</b>
2.8.1.	<i>Relación tensión-deformación</i> .....	25
2.8.2.	<i>Diagrama esfuerzo-deformación</i> .....	26
<b>2.9.</b>	<b>Metalografía</b> .....	<b>28</b>
2.9.1.	<i>Microscopio metalográfico</i> .....	28
2.9.2.	<i>Preparación de muestras metalográficas</i> .....	29
2.9.3.	<i>Tamaño</i> .....	29
2.9.4.	<i>Corte</i> .....	29
2.9.5.	<i>Montaje</i> .....	29

2.9.6.	<i>Designación</i> .....	30
2.9.7.	<i>Desbaste</i> .....	31
2.9.8.	<i>Pulido</i> .....	31
2.9.9.	<i>Ataque Químico</i> .....	32

### CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>33</b>
<b>3.1.</b>	<b>Materiales</b> .....	<b>33</b>
3.1.1.	<i>Dimensiones de placas</i> .....	34
3.1.2.	<i>Número de probetas</i> .....	34
3.1.3.	<i>Distribución interna de cupones</i> .....	35
3.1.4.	<i>Corte de cupones</i> .....	36
3.1.4.1.	<i>Equipo</i> .....	36
3.1.5.	<i>Espectrometría</i> .....	37
3.1.5.1.	<i>Equipo</i> .....	37
3.1.5.2.	<i>Probetas</i> .....	38
3.1.5.3.	<i>Procedimiento</i> .....	38
<b>3.2.</b>	<b>Soldado de placas</b> .....	<b>38</b>
3.2.1.	<i>Equipo</i> .....	38
3.2.2.	<i>Parámetros</i> .....	39
3.2.3.	<i>Procedimiento de soldado de placas</i> .....	40
3.2.3.1.	<i>Preparación de bordes</i> .....	40
3.2.3.2.	<i>Cordones de respaldo</i> .....	42
3.2.3.3.	<i>Soldado de placas</i> .....	43
<b>3.3.</b>	<b>Inspección de soldadura</b> .....	<b>45</b>
3.3.1.	<i>Inspección Visual</i> .....	45
3.3.2.	<i>Ultrasonido</i> .....	45
3.3.2.1.	<i>Equipo</i> .....	46
3.3.2.2.	<i>Procedimiento</i> .....	46
<b>3.4.</b>	<b>Codificación y corte de probetas</b> .....	<b>46</b>
3.4.1.	<i>Codificación</i> .....	46
3.4.2.	<i>Corte de probetas</i> .....	47

<b>3.5.</b>	<b>Caracterización mecánica</b> .....	<b>48</b>
<b>3.5.1.</b>	<b>Ensayo de tracción</b> .....	<b>48</b>
3.5.1.1.	<i>Dimensiones de la probeta</i> .....	48
3.5.1.2.	<i>Equipo</i> .....	48
<b>3.5.2.</b>	<b>Ensayo de dobléz de cara</b> .....	<b>49</b>
3.5.2.1.	<i>Dimensiones de la probeta</i> .....	49
3.5.2.2.	<i>Equipo</i> .....	49
<b>3.5.3.</b>	<b>Ensayo de dobléz de raíz</b> .....	<b>50</b>
3.5.3.1.	<i>Dimensiones de la probeta</i> .....	50
3.5.3.2.	<i>Equipo</i> .....	50
<b>3.5.4.</b>	<b>Análisis de combinaciones</b> .....	<b>50</b>
<b>3.6.</b>	<b>Caracterización metalográfica</b> .....	<b>51</b>
<b>3.6.1.</b>	<b>Preparación de la muestra</b> .....	<b>51</b>
3.6.1.1.	<i>Equipos</i> .....	51
<b>3.6.2.</b>	<b>Ensayo metalográfico</b> .....	<b>52</b>
3.6.2.1.	<i>Equipo</i> .....	52
<b>3.6.3.</b>	<b>Tamaño de la ZAC</b> .....	<b>53</b>
3.6.3.1.	<i>Método experimental</i> .....	53
3.6.3.2.	<i>Método analítico</i> .....	54
<b>3.6.4.</b>	<b>Tamaño de grano</b> .....	<b>55</b>
<b>3.6.5.</b>	<b>Dureza</b> .....	<b>56</b>
3.6.5.1.	<i>Procedimiento</i> .....	56
3.6.5.2.	<i>Equipos</i> .....	57

## **CAPÍTULO IV**

<b>4.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>59</b>
<b>4.1.</b>	<b>Ensayos no destructivos</b> .....	<b>59</b>
4.1.1.	<i>Espectrometría</i> .....	59
4.1.2.	<i>Ensayos de ultrasonido</i> .....	59
<b>4.2.</b>	<b>Ensayos destructivos</b> .....	<b>60</b>
4.2.1.	<i>Ensayos de Doblez de cara y raíz</i> .....	60
4.2.2.	<i>Ensayos de tracción</i> .....	61

<b>4.3.</b>	<b>Análisis de resultados de los ensayos.....</b>	<b>64</b>
<b>4.4.</b>	<b>Caracterización metalográfica .....</b>	<b>66</b>
<b>4.4.1.</b>	<b>Ancho de la ZAC .....</b>	<b>66</b>
4.4.1.1.	<i>Método Experimental.....</i>	66
4.4.1.2.	<i>Método analítico.....</i>	68
<b>4.4.2.</b>	<b>Tamaño de grano.....</b>	<b>69</b>
<b>4.4.3.</b>	<b>Dureza.....</b>	<b>72</b>
<b>4.4.4.</b>	<b>Micrografías .....</b>	<b>73</b>
4.4.4.1.	<i>Probeta GMAW-150-6.....</i>	74
4.4.4.2.	<i>Probeta GMAW-200-6.....</i>	75
4.4.4.3.	<i>Probeta GMAW-237-6.....</i>	76
4.4.4.4.	<i>Probeta GMAW-250-6.....</i>	77
4.4.4.5.	<i>Probeta GMAW-150-8.....</i>	78
4.4.4.6.	<i>Probeta GMAW-200-8.....</i>	79
4.4.4.7.	<i>Probeta GMAW-250-8.....</i>	80
4.4.3.8.	<i>Probeta GMAW-300-8.....</i>	81
4.4.4.9.	<i>Probeta GMAW-200-10.....</i>	82
4.4.4.10.	<i>Probeta GMAW-250-10.....</i>	83
4.4.4.11.	<i>Probeta GMAW-300-10.....</i>	84
4.4.4.12.	<i>Probeta GMAW-325-10.....</i>	85
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>86</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>87</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Gases empleados y sus características.....	18
<b>Tabla 2-2:</b>	Tipos de alambre en el proceso GMAW .....	22
<b>Tabla 3-2:</b>	Alambre ER70S-6 (Propiedades mecánicas).....	23
<b>Tabla 4-2:</b>	Alambre ER70S-6 (Composición química).....	23
<b>Tabla 5-2:</b>	Propiedades mecánicas acero ASTM A36 .....	24
<b>Tabla 6-2:</b>	Propiedades químicas del acero ASTM A36.....	25
<b>Tabla 1-3:</b>	Número de probetas por cada espesor .....	35
<b>Tabla 2-3:</b>	Características PNC-12 Extreme.....	36
<b>Tabla 3-3:</b>	Características Bruker Q2 ION .....	37
<b>Tabla 4-3:</b>	Características Inverter V350 PRO .....	39
<b>Tabla 5-3:</b>	Procedimiento de los cordones de respaldo.....	42
<b>Tabla 6-3:</b>	Parámetros de soldadura. ....	43
<b>Tabla 7-3:</b>	Procedimiento del soldado de las placas .....	44
<b>Tabla 8-3:</b>	Características SIUI CTS-9005.....	46
<b>Tabla 9-3:</b>	Características Microscopio NIKON E200.....	53
<b>Tabla 10-3:</b>	Características Durómetro Modelo HBRV- 187,5 .....	57
<b>Tabla 11-3:</b>	Características MITUTOYO TM-101.....	58
<b>Tabla 1-4:</b>	Resultados espectrometría .....	59
<b>Tabla 2-4:</b>	Resultados de ultrasonidos.....	60
<b>Tabla 3-4:</b>	Resultados ensayos de dobléz .....	61
<b>Tabla 4-4:</b>	Resultados ensayos de tracción. ....	64
<b>Tabla 5-4:</b>	Resultados de los ensayos .....	64
<b>Tabla 6-4:</b>	Ancho de la ZAC, probetas 6mm.....	66
<b>Tabla 7-4:</b>	Ancho de la ZAC, probetas 8mm.....	67
<b>Tabla 8-4:</b>	Ancho de la ZAC, probetas 10mm.....	67
<b>Tabla 9-4:</b>	Ancho de la ZAC .....	68
<b>Tabla 10-4:</b>	Tamaño de grano probetas de 6mm .....	69
<b>Tabla 11-4:</b>	Tamaño de grano probetas de 8mm .....	70
<b>Tabla 12-4:</b>	Tamaño de grano probetas de 6mm .....	71
<b>Tabla 13-4:</b>	Resultados de dureza HB .....	72

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2:</b>	Partes principales del cordón de soldadura.....	8
<b>Ilustración 2-2:</b>	Zona afectada por el calor .....	9
<b>Ilustración 3-2:</b>	Procesos de soldadura de mayor difusión .....	10
<b>Ilustración 4-2:</b>	Esquema de soldadura por arco eléctrico.....	10
<b>Ilustración 5-2:</b>	Procesos de soldadura por Arco Eléctrico .....	10
<b>Ilustración 6-2:</b>	Proceso de soldadura oxiacetilénica .....	11
<b>Ilustración 7-2:</b>	Soldadura por puntos.....	12
<b>Ilustración 8-2:</b>	Equipo utilizado para el soldado por electroescoria.....	13
<b>Ilustración 9-2:</b>	Paso del proceso de soldadura por fricción rotativa.....	13
<b>Ilustración 10-2:</b>	Esquema de soldadura por forja (a) por martillo (b) por dado .....	14
<b>Ilustración 11-2:</b>	Soldadura de filete, muesca y tapón .....	15
<b>Ilustración 12-2:</b>	Soldadura por ranura .....	15
<b>Ilustración 13-2:</b>	Tipos de juntas .....	16
<b>Ilustración 14-2:</b>	Posiciones de soldadura.....	16
<b>Ilustración 15-2:</b>	Proceso de soldadura GMAW .....	17
<b>Ilustración 16-2:</b>	Equipo de soldadura GMAW .....	19
<b>Ilustración 17-2:</b>	Probeta para ensayos de tracción .....	26
<b>Ilustración 18-2:</b>	Diagrama esfuerzo-deformación para un material dúctil .....	27
<b>Ilustración 19-2:</b>	Funcionamiento microscopio metalográfico.....	29
<b>Ilustración 20-2:</b>	Tipos de montajes mecánicos .....	30
<b>Ilustración 21-2:</b>	Montaje en plástico .....	30
<b>Ilustración 22-2:</b>	Método de localización de área de extracción .....	31
<b>Ilustración 1-3:</b>	Diagrama de la metodología empleada.....	33
<b>Ilustración 2-3:</b>	Esquema de distribución de placas .....	34
<b>Ilustración 3-3:</b>	Distribución de muestras de ensayos .....	35
<b>Ilustración 4-3:</b>	Máquina de oxicorte PNC-12 Extreme.....	36
<b>Ilustración 5-3:</b>	Proceso de corte de las placas.....	37
<b>Ilustración 6-3:</b>	Equipo para espectrometría .....	37
<b>Ilustración 7-3:</b>	Probetas para espectrometría .....	38
<b>Ilustración 8-3:</b>	Soldadora Inverter V350 PRO.....	39
<b>Ilustración 9-3:</b>	Parámetros alambre ER70S-6.....	40
<b>Ilustración 10-3:</b>	Procedimiento de soldado de placas .....	40
<b>Ilustración 11-3:</b>	Dimensiones de los bordes de las placas .....	41

<b>Ilustración 12-3:</b>	Fresado de bordes.....	41
<b>Ilustración 13-3:</b>	Placas mecanizadas los bordes .....	41
<b>Ilustración 14-3:</b>	Esquema cordón de respaldo .....	42
<b>Ilustración 15-3:</b>	Toma de datos del proceso de soldadura .....	44
<b>Ilustración 16-3:</b>	Ensayo de ultrasonido .....	45
<b>Ilustración 17-3:</b>	Señalización de cupones.....	47
<b>Ilustración 18-3:</b>	Cupón codificado .....	47
<b>Ilustración 19-3:</b>	Probetas cortadas.....	47
<b>Ilustración 20-3:</b>	Dimensiones probeta de tracción.....	48
<b>Ilustración 21-3:</b>	Probeta ensayadas de tracción .....	48
<b>Ilustración 22-3:</b>	Dimensiones de las probetas de doblado de cara .....	49
<b>Ilustración 23-3:</b>	Ensayo de doblez de cara .....	49
<b>Ilustración 24-3:</b>	Probetas ensayadas doblez de cara .....	50
<b>Ilustración 25-3:</b>	Dimensiones de las probetas de doblado de raíz.....	50
<b>Ilustración 26-3:</b>	Probeta para metalografía.....	51
<b>Ilustración 27-3:</b>	Bancos de lijado manual.....	51
<b>Ilustración 28-3:</b>	Pulidora .....	52
<b>Ilustración 29-3:</b>	Zonas de análisis .....	52
<b>Ilustración 30-3:</b>	Microscopio NIKON E200.....	53
<b>Ilustración 31-3:</b>	Longitud de la ZAC.....	54
<b>Ilustración 32-3:</b>	Eficiencia del proceso .....	54
<b>Ilustración 33-3:</b>	Trazado de líneas, método de intersección .....	55
<b>Ilustración 34-3:</b>	Zonas para medir dureza .....	56
<b>Ilustración 35-3:</b>	Durómetro Modelo HBRV-187,5.....	57
<b>Ilustración 36-3:</b>	Microscopio MITUTOYO Serie TM.....	58
<b>Ilustración 1-4:</b>	Resistencia a la tracción (probetas 6 mm) .....	62
<b>Ilustración 2-4:</b>	Resistencia a la tracción (probetas 8 mm) .....	62
<b>Ilustración 3-4:</b>	Resistencia a la tracción (probetas 10 mm) .....	63
<b>Ilustración 4-4:</b>	Perfil de dureza HB .....	73
<b>Ilustración 5-4:</b>	Micrografías probeta 150-6 .....	74
<b>Ilustración 6-4:</b>	Micrografías probeta 200-6 .....	75
<b>Ilustración 7-4:</b>	Micrografías probeta 237-6.....	76
<b>Ilustración 8-4:</b>	Micrografías probeta 250-6.....	77
<b>Ilustración 9-4:</b>	Micrografías probeta 150-8 .....	78
<b>Ilustración 10-4:</b>	Micrografías probeta 200-8 .....	79
<b>Ilustración 11-4:</b>	Micrografías probeta 250-8 .....	80

<b>Ilustración 12-4:</b> Micrografías probeta 300-8 .....	81
<b>Ilustración 13-4:</b> Micrografías probeta 200-10 .....	82
<b>Ilustración 14-4:</b> Micrografías probeta 250-10 .....	83
<b>Ilustración 15-4:</b> Micrografías probeta 300-10 .....	84
<b>Ilustración 16-4:</b> Micrografías probeta 325-10 .....	85

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** ESPECIFICACIONES DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA.

**ANEXO B:** RESULTADOS DE ULTRASONIDOS.

**ANEXO C:** RESULTADOS ENSAYOS DE TRACCIÓN.

**ANEXO D:** RESULTADOS ENSAYOS DE DOBLEZ.

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo el evaluar las propiedades mecánicas y realizar la caracterización metalográfica de las juntas soldadas a tope de acero ASTM A36, con material de aporte ER70S-6 bajo proceso GMAW, se lo desarrolló desde un punto de vista cuantitativo apegado a un enfoque correlacional y experimental, mediante técnicas de recopilación de datos y el posterior análisis de contenidos, se establecieron los parámetros iniciales a ser tomados en cuenta en el proceso de soldadura, basándose en la normativa AWS D1.1, con el desarrollo del proceso experimental se evaluó las propiedades y se caracterizó las juntas soldadas. El desarrollo de lo anterior mencionado permitió analizar tres espesores de placas, mismo que fueron soldados con una variación de parámetros entre ellos, originándose cuatro combinaciones de parámetros por cada espesor, en cada una de estas combinaciones se realizó ensayos de tracción, doblez de cara y raíz; y, posteriormente se realizó la metalografía de tres zonas: zona de fusión, zona afectada por el calor y metal base, se determinó el ancho de la zona afectada por el calor y el tamaño de grano. Con base a lo anterior, se logró identificar que cinco combinaciones presentaban buenas propiedades mecánicas expresadas en una correcta soldabilidad del cordón, y pueden ser replicadas con la información generada. Se recomienda analizar a detalle las zonas de fusión y zona afectada por el calor para determinar los cambios estructurales producidos en toda su longitud.

**Palabras Clave:** <SOLDADURA>, <METALOGRAFÍA>, <ACERO ASTM A36>, <PROPIEDADES MECÁNICAS>, <ZONA DE FUSIÓN>.

2438-DBRA-UPT-2022



## SUMMARY

The objective of this work was to evaluate the mechanical properties and carry out the metallographic characterization of the butt-welded joints of ASTM A36 Steel, with ER70S-6 filler material under the GMAW process, it was developed from a quantitative point of view attached to a correlational and experimental approach, through data collection techniques and subsequent content analysis, the initial parameters to be taken into account in the welding process were established, based on the AWS D1.1 standard, with the development of the experimental process the properties were evaluated and the welded joints were characterized. The development of the aforementioned allowed analyzing three thicknesses of plates, which were welded with a variation of parameters between them, originating four combinations of parameters for each thickness, in each of these combinations tensile, face bending, and face bending tests were carried out root; and, subsequently, the metallography of three zones was carried out: fusion zone, zone affected by heat and base metal, the width of the zone affected by heat and the grain size were determined. Based on the above information, it was possible to identify those five combinations had good mechanical properties expressed in a correct weldability of the bead, and can be replicated with the information generated. It is recommended to analyze in detail the fusion zones and zone affected by heat to determine the structural changes produced in its entire length.

**Keywords:** <WELDING>, <METALLOGRAPHY>, <ASTM A36 STEEL>, <MECHANICAL PROPERTIES>, <MELTING AREA>.



Lic. Luis Fernando Mantilla Cabrera Mgs.

CI:0603747809

## INTRODUCCIÓN

Desde ya hace varios la industria se está encaminando a la utilización de productos y procesos que buscan optimizar los recursos, un caso de ello, es el sector constructor del país que actualmente está utilizando estructuras metálicas para la construcción de viviendas y edificios, motivo por el cual, aumenta la demanda de vigas y columnas fabricadas en acero estructural, en varias ocasiones se las fabrica de manera artesanal en función a las especificaciones de la estructura, soldando planchas de acero; el presente trabajo tiene como finalidad realizar el proceso de soldado de planchas de acero estructural, variando: el amperaje, voltaje y velocidad de alimentación en tres grupos de espesores del acero, para posteriormente evaluar sus propiedades y caracterizar metalográficamente las juntas soldadas, definiendo así, que combinaciones de parámetros presentan los mejores resultados y pueden ser replicadas.

Por consiguiente, el trabajo está enfocado a encontrar las combinaciones de parámetros que favorezcan el proceso de soldado de las placas y que se las pueda presentar al sector de la construcción nacional; para ello, se ha organizado el trabajo de la siguiente manera:

**Capítulo 1**, se establecen los antecedentes que motivan este trabajo de integración curricular, se realiza la formulación del problema, se delimita el alcance, y se establece el objetivo general y los objetivos específicos que permiten evaluar el cumplimiento del trabajo.

**Capítulo 2**, se presenta información coherente, adquirida mediante consultas bibliográficas y que abarcan temas como: soldadura, variables del proceso, tipos de procesos de soldadura, tipos de juntas soldadas, procesos GMAW; siendo todos estos, conocimientos necesarios para el desarrollo del trabajo.

**Capítulo 3**, contiene la metodología del proceso de experimentación, se establecen las dimensiones y números de las probetas, se indican los distintos ensayos a ser realizados y las especificaciones de cada uno de ellos.

**Capítulo 4**, se indica los resultados obtenidos de las probetas después de realizarse los ensayos destructivos y no destructivos, así como toda la información de la caracterización metalográfica, además se establece que combinaciones presentan los mejores resultados.

Finalmente se desarrollan las conclusiones y recomendaciones, demostrando el cumplimiento de los objetivos planteados en el trabajo.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se establece los antecedentes que motivan este trabajo de integración curricular, se realiza la formulación del problema, se delimita el alcance, y se establece el objetivo general y los objetivos específicos que permiten evaluar el cumplimiento del trabajo.

#### 1.1. Antecedentes

Espinoza y Pazmiño (2019), realizaron una investigación denominada: Evaluación experimental de las propiedades mecánicas de los aceros estructurales, A36, A572 y A588, para la obtención de los diagramas de esfuerzo-deformación, la misma que tuvo como objetivo determinar las propiedades mecánicas de tres distintos tipos de acero mediante la obtención de los diagramas esfuerzo-deformación, la metodología utilizada fue de tipo experimental, realizada por medio de ensayos de tracción a las probetas de los aceros estructurales establecidos. La investigación obtuvo como resultados los diagramas esfuerzo-deformación, determinando así las propiedades mecánicas del material, dando una idea clara de cómo se comporta al estar sometido a solicitaciones.

Del mismo modo, Vera (2019), desarrolló la investigación denominada: Evaluación de los procesos de soldadura MAG y SMAW en el grado de resistencia 2019 mecánica a la tracción de los cordones de soldadura en los aceros de bajo carbono, tuvo como objetivo realizar la evaluación de juntas soldadas mediante los procesos MAG Y SMAW y verificar su grado de resistencia a la tracción, la metodología utilizada fue de tipo experimental, se estableció las condiciones necesarias a cumplirse en el proceso de soldadura y posteriormente se desarrolló los ensayos de tracción sobre las probetas realizadas. Se obtuvo como resultados los diagramas de esfuerzo-deformación de las probetas de acero A36, se determinó que el proceso MAG presentaba mejores resultados en las probetas soldadas, se indicó que el realizando el proceso de soldadura con una sola pasada se presentan las mejores propiedades en el cordón.

Dentro de la misma línea de investigación, Torres, Romero y Ordoñez (2013), presentaron la investigación denominada: Análisis del comportamiento mecánico y microestructural de las transformaciones de fase en la zona afectada por el calor (ZAC) en juntas soldadas a tope para aceros estructurales por medio del proceso gas metal arc welding (GMAW) y con alambre para soldar er70s-6, cuyo objetivo fue realizar juntas soldadas a tope mediante el proceso GMAW para analizar el compartimento mecánico y microestructural de la ZAC, para ello se estableció una

metodología experimental, realizando los cordones de soldadura de acuerdo a la normativa establecida, seguido se procedió a realizar los ensayos de dobles de cara, micro dureza Vickers y se realizó el análisis metalográfico de las juntas. Como resultados se obtuvo, la caracterización de las juntas soldadas, determinando las características microestructurales de las mismas.

Así mismo, Gomes et all (2017), realizaron la investigación denominada: Propiedades mecánicas y microestructura de metales de soldadura de alta resistencia obtenidos mediante procesos GMAW y SMAW, como objetivo se planteó establecer un análisis comparativo entre los procesos de soldadura planteados, para ello se utilizó una metodología investigativa y experimental, se realizó probetas donde se analizó las propiedades mecánicas de la soldadura mediante ensayos de tracción, Charpy-V y dureza, los resultados obtenidos fueron: determinar que ambos procesos presentaban buenas propiedades mecánicas, se determinó que dependiendo de la microestructura que poseen los cordones de soldadura, se tiene una variación en las propiedades mecánicas.

Collantes y Sánchez (2019), realizaron la investigación denominada: Estudio del comportamiento de las juntas soldadas utilizando acero HSLA con el proceso *gas metal arc welding* (GMAW) en la fabricación de vehículos de transporte de pasajeros, la misma que tuvo como objetivo analizar el comportamiento de las juntas soldadas con el proceso GMAW, para esto se utilizó una metodología de tipo experimental, se realizó espectrometría de masa para comprobar la composición química del metal base, se realizó ensayos de tracción para determinar propiedades mecánicas de las juntas y se concluyó con los ensayos metalográficos de las mismas. Los resultados que se obtuvieron fueron las propiedades mecánicas de la junta, se estableció una relación entre las variables del proceso GMAW y formación de los cordones de soldadura, se obtuvo los valores de dureza que se encontraban en la zona afectada por el calor.

De la Cruz y Muñoz (2019), realizaron una investigación denominada: Efecto de los parámetros de soldeo con el proceso GMAW robotizado en un acero ASTM A-36, la misma tuvo como objetivo determinar el efecto de los parámetros en la soldadura de una acero A-36, mediante el proceso de soldadura GMAW, para esto se utilizó una metodología experimental, las propiedades mecánicas se determinaron mediante ensayos de tracción, dobles de cara y doblez de raíz, y la caracterización se consiguió mediante ensayos metalográficos. Como resultados se obtuvo todos los mecanismos para integrar el brazo robótico al sistema de soldado, se determinó la influencia del ángulo de soldado en la calidad del cordón y se determinó las propiedades mecánicas de la junta y la caracterización metalográfica.

Con este contexto, la investigación “Evaluación de las propiedades mecánicas y caracterización metalográfica de juntas soldadas a tope de acero ASTM A36, con material de aporte ER70 S-6 bajo proceso GMAW”, está orientada a un enfoque experimental para así determinar las

propiedades de la junta, teniendo en consideración las recomendaciones de otros trabajos de investigación, los parámetros a considerar en el proceso de soldado serán voltaje, amperaje y velocidad de alimentación y se variaran junto con tres espesores del material base.

## **1.2. Delimitación**

### ***1.2.1. Delimitación espacial***

Este trabajo se desarrollará en el cantón Riobamba, provincia Chimborazo, parte del territorio nacional del Ecuador.

### ***1.2.2. Delimitación sectorial***

El estudio y desarrollo de este trabajo se acoge al Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 en base al objetivo 1 el cual menciona: “Garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas “.

## **1.3. Formulación del problema**

La actualidad del sector constructor del país, está volcándose hacia la utilización de estructuras metálicas para la construcción de edificios (Medina y Vaca, 2020). Esto se deriva en la utilización de vigas y columnas estructurales, o en su defecto en su fabricación, para ello se utilizan planchas de acero y se las sueldan según las necesidades, en consecuencia, es necesario garantizar que las juntas soldadas, presenten buenas propiedades mecánicas, entre los procesos más idóneos para soldadura estructural se encuentra el proceso GMAW no siendo muy utilizado debido a desconocimiento de la relación de las variables esenciales y la generación de discontinuidades.

En el medio no existen muchos estudios, donde se analice las propiedades de la junta soldada realizando variaciones de parámetros en función de distintos espesores del material base, en otras palabras, los estudios están enfocados a determinar propiedades de las juntas soldadas basándose en un solo espesor. Mediante la evaluación de las propiedades mecánicas y caracterización metalográfica de juntas soldadas a tope bajo proceso GMAW en el acero ASTM A36 con material de aporte ER70 S-6, se busca tener una variación de espesores del material base y con esto establecer una comparativa y presentar resultados que puedan servir de guía, para el sector constructor del país.

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general***

Evaluar las propiedades mecánicas y realizar la caracterización metalográfica de juntas soldadas a tope de acero ASTM A36, con material de aporte ER70 S-6 bajo proceso GMAW

### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Realizar las juntas soldadas a tope mediante la variación de los parámetros establecidos.
- Evaluar las propiedades mecánicas de las juntas soldadas a tope.
- Identificar las combinaciones de parámetros que no presentan defectos en los cordones de soldadura.
- Realizar la caracterización metalográfica de las juntas soldadas a tope.

## CAPÍTULO II

### 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En el presente capítulo se presenta información coherente, adquirida mediante consultas bibliográficas y que abarcan temas como: soldadura, variables del proceso, tipos de procesos de soldadura, tipos de juntas soldadas, procesos GMAW; siendo todos estos, conocimientos necesarios para el desarrollo del trabajo.

#### 2.1. Soldadura

Es un proceso que nos permite la unión de materiales, este consiste en la fundir parte de ambos materiales para formar uno solo, mientras se aplica calor y presión, o solo uno de los dos, en la soldadura se produce una energía calórica tal, que cambia de estado a los materiales permitiéndoles unir y formar una nueva estructura cristalina (Pacheco, 2015).

Teniendo en cuenta el material base y el electrodo a que se van a utilizar, se puede definir qué proceso de soldadura se debe aplicar, teniendo en consideración eso, los procesos de soldadura que se tiene son: soldadura por arco eléctrico, oxiacetilénica, fusión, presión, fragua y sus variaciones. Si analizamos la soldadura por su proceso en la industria la podemos clasificar por un lado como: soldadura para producción, en esta se engloban las soldaduras de revestimiento y las soldaduras de unión; por otro lado como: soldaduras para mantenimiento, en esta se engloban las soldaduras de reparación y soldaduras de conservación (Nieto, 2012).

##### 2.1.1. Terminología

###### 2.1.1.1. Material base

Se puede considerar como metal base a cualquier material, ya sea este metálico o no metálico, que se va a someter a un proceso de soldadura, se puede mencionar además que este material base puede tener cualquier forma: cubicas, cilíndricas hasta formas únicas, todo esto dependiendo de la aplicación que le pueda dar (Arriaga y Zarate, 2008).

###### 2.1.1.2. Material de aporte

Se define como el material empleado en el proceso de soldadura para la realización del cordón, dependiendo del electrodo podemos mencionar dos términos núcleo y revestimiento o varilla y

fundente. Teniendo todo esto en consideración podemos clasificar al material de aporte en 4 grupos: electrodos, hilos, varillas, polvos (Federación de Enseñanza, 2010).

- Electrodo

Comúnmente denominado material de aporte, el electrodo está conformado de dos partes: el núcleo, parte que se va solidificar con el material base, ayudando a que se produzca la unión entre ambos; y el revestimiento, parte que recubre al núcleo y que ayuda a mejorar las propiedades de la unión soldada, dependiendo del tipo de revestimiento que se tenga se puede clasificar a los electrodos en 4 tipos: ácidos, básicos, rutilos y celulósicos (Federación de Enseñanza, 2010).

Para García “Los electrodos son aquellos encargados de llenar espacios importantes para lograr la unión de las piezas, existen dos tipos de electrodos, de carbón y metálico” (2020, p. 12).

- Hilos

Este tipo de material de aporte se lo conoce con el nombre de electrodos consumibles, se venden en carretes, para Federación de Enseñanza (2010, pp.8-9), dependiendo de la conformado del mismo se puede establecer dos tipos:

- Hilos macizos, este material de aporte debe tener una composición similar al del material a soldar, este material de aporte se puede utilizar en soldadura por arco sumergido, electroescoria, entre otros.
- Hilos tubulares, su composición depende del tipo de material a soldar, es un alambre hueco cuyo interior posee un fundente.

- Varillas

Este tipo de material de aportación es igual al núcleo de los electrodos con la característica de que estos no poseen recubrimiento, si se analiza en función del tipo de soldadura que se va realizar se tiene:

- Varilla para soldadura Oxiacetilénica, se la utiliza para realizar la soldadura blanda o fuerte, vienen de distinto material, estos pueden ser: aluminio-silicio, estaño-plata, cadmio-cinc, entre otros, donde sus dimensiones están normalizadas. Las propiedades que debe cumplir este tipo de material de aporte son: ayudar en el proceso de soldado, garantizar buenas propiedades

mecánicas, tener un punto de fusión adecuado, se debe utilizar fundente para realizar el proceso de soldadura (Federación de Enseñanza, 2010).

- Varilla para soldadura TIG, en este caso la varilla no necesita de un fundente para poder realizar el procedimiento de soldado, el gas de protección proporciona una atmosfera inerte para que se produzca la soldadura (Federación de Enseñanza, 2010).

- Polvos, arandelas, láminas

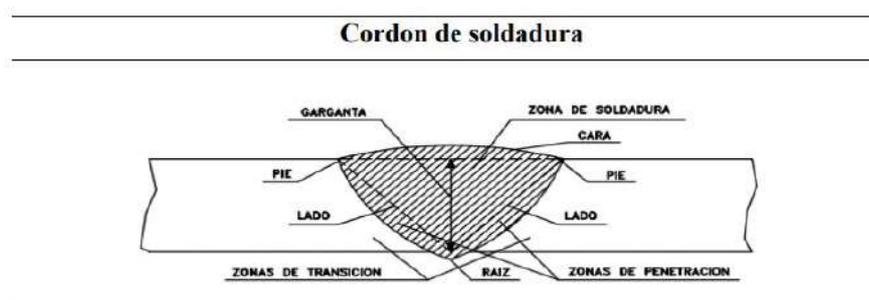
Este tipo de material de aporte se lo puede utilizar de manera automática o manual, según el tipo de proceso que se vaya a realizar, tipo de junta y método de calentamiento.

### 2.1.1.3. Cordón de soldadura

El cordón de soldadura es característico del proceso de soldadura que se emplee, en el momento que se produce la solidificación del cordón se desprenden gases al ambiente, si no se tiene un correcto avance del electrodo, esta solidificación sucede muy rápido y quedan atrapadas burbujas de gas en el mismo, una parte importante de realizar un cordón de soldaduras es evitar en lo posible que tenga discontinuidades y en caso que los tenga que estén en los rangos establecidos en normas (Mayanza y Tuquinga, 2018).

Se puede acotar también que parte característica de los cordones de soldadura, visualmente es su forma, en otras palabras, su geometría, aquí podemos denotar lo siguiente: sobre espesor, penetración y anchura, todos estos parámetros vienen establecidos en normas y dependen del tipo de material a soldar y del proceso que se va emplear (Icaza, 2019).

En el cordón de soldadura, se puede determinar las siguientes partes: cara, garganta, pie, lado, raíz, y podemos observar las siguientes zonas: zonas de transición y zona de penetración, como se puede ver en la Ilustración 1-2.



**Ilustración 1-2:** Partes principales del cordón de soldadura

Fuente: Icaza, 2019

#### 2.1.1.4. Zona afectada por el calor (ZAC)

Realizado el proceso de soldadura, generándose la unión entre del metal base y el metal de aporte, se puede observar una zona de un color ligeramente diferente contigua a la zona del cordón, esta zona se llama zona afectada por el calor o más conocida como ZAC por su abreviatura, esta zona se la puede ver en la Ilustración 2-2. En esta zona se produce en el metal base y sus características depende directamente de la energía calórica que se produjo en la soldadura, en esta zona se tiene cambios estructurales significativos, se puede llegar a tener un tamaño de grano grueso, siendo este más susceptible a rupturas, existen varios parámetros controlan las características de la ZAC, la velocidad de enfriamiento es uno de ellos (Asta, 2007).

Es importante determinar y garantizar que en la ZAC se produzcan buenas propiedades, puesto que la falla se puede producir en esta zona; en concordancia Blanco y Cepeda, exponen que: “Estas dos zonas, ZAC y MS, ya no tienen la misma microestructura original del material base y por lo tanto puede considerarse a este cambio, un efecto no deseable del ciclo térmico de soldadura” (2015, p. 17).



**Ilustración 2-2:** Zona afectada por el calor

Fuente: Asta, 2007, p. 5

## 2.2. Procesos de soldadura

Estos procesos se los clasifica en función al principio de funcionamiento que emplean, del tipo de material de aporte que se utiliza y material base que se necesita soldar, si consideramos la AWS, se establecen 7 tipos principales de procesos de soldadura: blanda, fuerte, de arco, por resistencia, a gas, de estado sólido y otros procesos (Pastor, 2002).

Considerando los procesos de mayor difusión, como se puede ver en la Ilustración 3-2. Cabe mencionar que dentro de un proceso de soldadura pueden existir más procesos, ejemplo de ello es el proceso por arco eléctrico que, solo considerando del material de aporte, se puede tener proceso de electrodo consumible y no consumible.

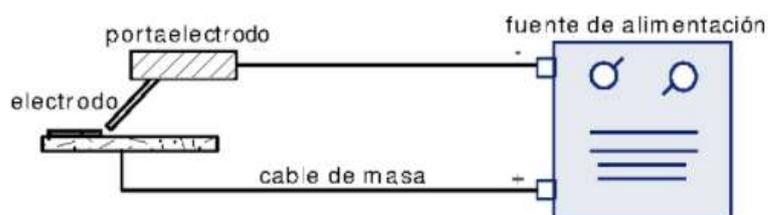


**Ilustración 3-2:** Procesos de soldadura de mayor difusión

Fuente: Adaptado de Pastor, 2002, pp. 1-14

### 2.2.1. Soldadura por arco eléctrico

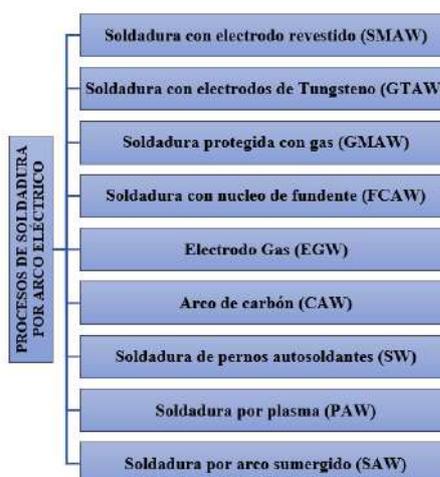
Este proceso busca establecer un circuito eléctrico cerrado entre el metal base conectado al cable de masa y el electrodo conectado al portaelectrodos de un equipo de soldadura eléctrica, como se puede ver en la Ilustración 4-2. Este paso de corriente por el electrodo y por el metal base produce que estos se calienten, alcanzado temperaturas por encima del punto de fusión, ocasionado la unión de ambos (Alonso, 2014).



**Ilustración 4-2:** Esquema de soldadura por arco eléctrico

Fuente: Alonso, 2014, p. 10

Este tipo de proceso es el que más se ha diversificado, un ejemplo claro, es el utilizar dos tipos de corrientes: continua (CC) o alterna (CA), además se puede utilizar dos tipos de electrodos: consumibles y no consumibles (Medina y Vaca, 2020). Existen varios procesos dentro de la soldadura por arco eléctrico, estos se los puede ver en la Ilustración 5-2.



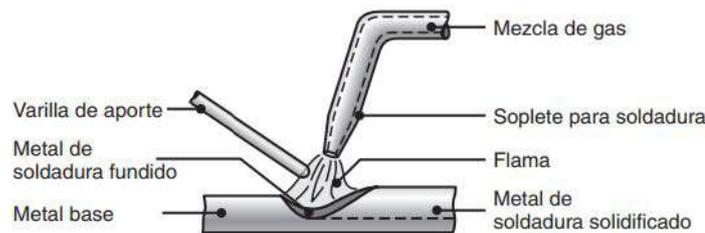
**Ilustración 5-2:** Procesos de soldadura por Arco Eléctrico

Fuente: Adaptado de Medina y Vaca, 2020, p.10

### 2.2.2. Soldadura oxiacetilénica

Este proceso se basa fundir los metales mediante el empleo de altas temperaturas, que se originan por una flama producto de la combustión de dos gases, siendo estos: oxígeno y acetileno. Con esta llama se logra alcanzar una temperatura mayor a 2000 °C, la misma puede ser utilizada tanto para corte como para soldadura (Nieto, 2012); esto está en similitud con Falagan (2019, p.38), que ratifica, que este proceso utiliza dos gases: uno carburante y otro comburente, con estos gases se forma una llama que alcanza altas temperaturas, lo suficiente para funcionar los materiales a soldar.

Para la soldadura oxiacetilénica se necesita los siguientes equipos: cilindros de los gases, mangueras para los gases, válvulas de antirretorno, boquilla y soplete (para producir el corte), si el proceso lo amerita se puede utilizar un material de aporte como se puede ver en la Ilustración 6-2.



**Ilustración 6-2:** Proceso de soldadura oxiacetilénica

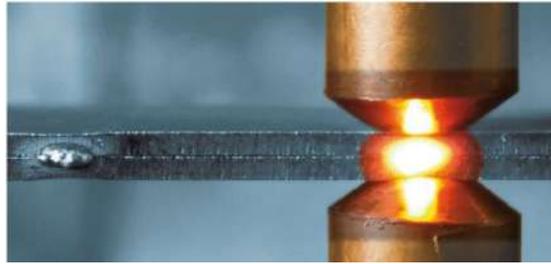
Fuente: Kalpakjian, 2008, p. 942

### 2.2.3. Soldadura por resistencia eléctrica

Este proceso resulta mucho más fácil que los anteriores, consiste básicamente en dos electrodos que continuamente presionan los metales a soldar, a través de estos pasa una corriente eléctrica y el soldado se produce por las altas temperaturas que se produce en la junta y por la presión que se le aplica. Los electrodos que se utilizan, varían de acuerdo a las aplicaciones que se tenga, en base a esto podemos establecer tres procesos en la soldadura por resistencia eléctrica: soldadura por puntos, soldadura a tope y soldadura por costuras (Pacheco, 2015).

Se puede acotar, que este tipo de soldadura se realiza en tiempos menores comparados con otros procesos, y eso se puede explicar fácilmente con teniendo en cuenta que, esta soldadura necesita lapsos de tiempo muy cortos para fundir los metales; en cuanto a su clasificación podemos mencionar que dentro de los tres tipos de soldadura que se tiene, la soldado por puntos es el fácil y rápido, aunque su desventaja se encuentra en la forma de soldado, solo se puede efectuar un

punto de soldadura al mismo tiempo (Pastor, 2002). El principio básico de este proceso se lo puede ver en la Ilustración 7-2.



**Ilustración 7-2:** Soldadura por puntos

Fuente: Bearcat, 2020

#### **2.2.4. Soldadura por electroescoria**

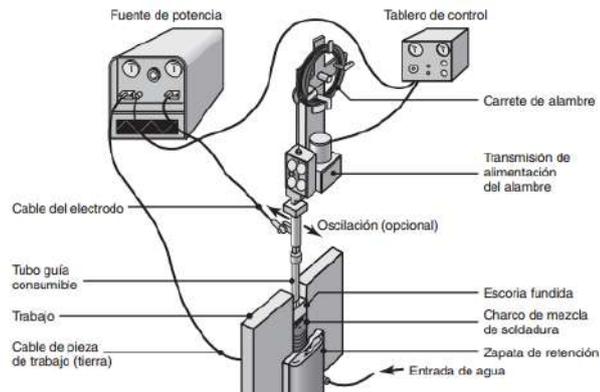
Este proceso tiene similitud con el proceso de arco eléctrico por gas, en referencia a esto Kalpakjian, menciona:

La principal diferencia es que el arco se inicia entre la punta del electrodo y el fondo de la pieza a soldar. Se agrega fundente, el cual se funde por el calor del arco. Después de que la escoria fundida llega a la punta del electrodo, el arco se extingue. El calor se produce en forma continua por la resistencia eléctrica de la escoria fundida. Como el arco se extingue, la ESW no es estrictamente un proceso de soldadura por arco (2008, p. 953).

De manera similar Pástor, indica:

El calor se obtiene de la resistencia eléctrica de la escoria fundida, dentro de la cual un alambre (conductor de electricidad y fuente de material de aportación) está sumergido. La temperatura del baño de escoria es de 1.800 °C, superior al punto de fusión, tanto del metal base como del electrodo. Por consiguiente, la escoria funde los bordes del metal base y simultáneamente funde el electrodo suministrando así el material de aportación necesario (2002, p. 9).

El equipo de soldadura por electroescoria se puede ver en Ilustración 8-2.



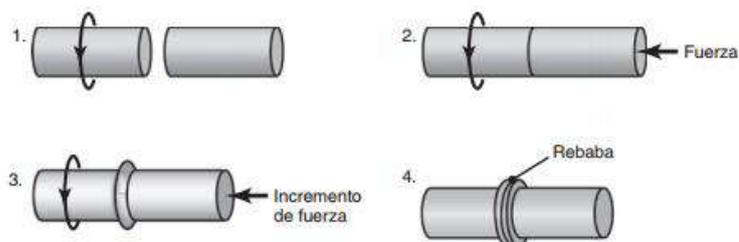
**Ilustración 8-2:** Equipo utilizado para el soldado por electroescoria

Fuente: Kalpakjian, 2008, p. 953

### 2.2.5. Soldadura por fricción

Este tipo de soldadura se caracteriza por que la unión de los materiales se produce al ejercer fricción sobre los mismo, la fricción genera calor y mientras se va aumentando la fuerza de fricción se obtienen elevadas temperaturas, a causa de esto los materiales alcanzan su temperatura de fusión y se solidifican en uno solo (Linch, 2021). Basándose en este principio, han surgido variaciones en cuanto a soldadura por fricción, se puede considerar el tipo de movimiento que se utiliza en lo materiales, se puede considerar la geometría de los materiales, y los instrumentos que se utilicen para el soldado (Kalpakjian, 2008). Considerando lo anterior mencionado, se pueden establecer 4 tipos procesos enmarcados en la soldadura por fricción:

- Soldadura por fricción rotativa, este proceso se caracteriza porque a uno de los dos miembros se le hace rotar, mientras que al otro se le aplica una fuerza axial que lo empuja hacia el otro generando la fuerza de fricción, la ejemplificación de este proceso se puede ver en la Ilustración 9-2. Cabe mencionar que este tipo de soldadura se aplica a materiales de forma cilíndrica y uno de los materiales a soldar está ajustado en un sistema rotatorio (Kalpakjian, 2008).



**Ilustración 9-2:** Paso del proceso de soldadura por fricción rotativa

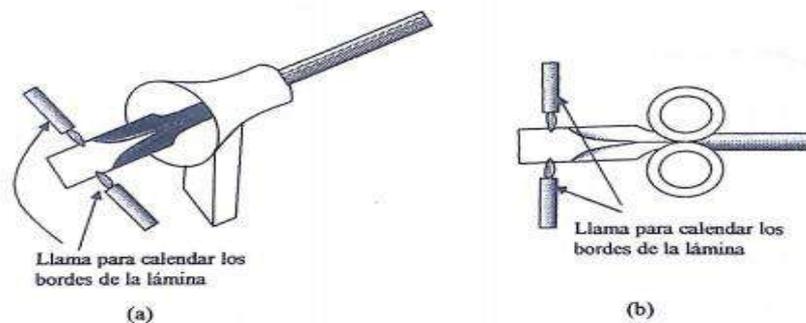
Fuente: Kalpakjian, 2008, p. 983

- Soldadura por Fricción e inercia, se utiliza un volante de inercia para inducir el giro a uno de los materiales, mientras al otro igual que el caso anterior se le aplica una carga axial para genera fricción, estos volantes se calibran de tal manera que, a mayor fuerza de fricción, se empiece a detener el volante (Kalpakjian, 2008).
- Soldadura por Fricción lineal, la geometría de los materiales base varia, pueden ser cuadrado y rectangular, y el principio de soldadura en el mismo.
- Soldadura por Fricción y agitación, se necesita de un tercer cuerpo, esta gira entre las dos superficies a soldar puesto que este acoplado a un sistema rotario, este tercer cuerpo es un material no consumible con una sonda en la punta, que por medio de la fricción se mezcla con los dos materiales a unir (Kalpakjian, 2008).

#### 2.2.6. *Soldadura por forja*

Este es uno de los procesos más básicos de soldadura, consiste en calentar los metales base para que llegue a un estado maleable, pero sin llegar al punto de fusión, alcanzado este punto se puede o no aplicar un fundente, esto depende del tipo de metal base y luego mediante la aplicación de golpes o una fuerza, unir los metales (Kalpakjian, 2008).

Dependiendo de la forma como se unan los metales base después de ser calentados, se puede definir dos tipos de soldadura por forja, la primera llamada soldadura por martillo, como su nombre lo indica consiste en golpear a los metales mediante un objeto de gran dureza, este proceso lo podemos realizar manual o mecánicamente ayudados de alguna máquina, y segundo soldado por dado, este consiste en después de calentar los metales base llevarlos a rodillos para que ahí se genere la fuerza y presión para que se unan (Pástor, 2002). Los procesos anteriormente mencionados se los puede ver en la Ilustración 10-2.



**Ilustración 10-2:** Esquema de soldadura por forja (a) por martillo (b) por dado

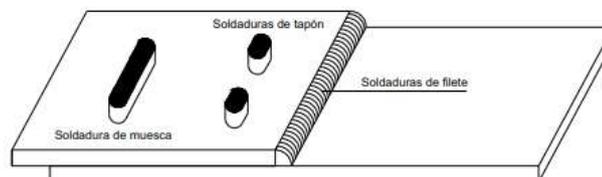
Fuente: Pástor, 2002, p. 5

### 2.3. Tipos de soldaduras

Según a la configuración que tenga la unión soldada se puede clasificar a la soldadura en varios grupos entre lo que destacan, soldadura de filete, soldadura de ranura, soldadura de tapón y soldadura de muesca (Medina y Vaca, 2020).

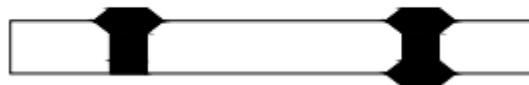
La soldadura de filete, es la más común y se la emplea para soldar metales que están en ángulos rectos, como se puede ver en la Ilustración 11-2. La soldadura de ranura, se la utiliza cuando los elementos están en la misma línea de acción, en otras palabras, sus superficies se encuentran en un mismo plano, como se puede ver en la Ilustración 12-2. La soldadura por tapón, consiste en hacer perforaciones en el metal base y con ayuda de esto realizar la soldadura, como se puede ver en la Ilustración 11-2. La soldadura de muesca, consiste en hacer un agujero más grande que por tapón y mediante esto unir los metales, como se puede ver en la Ilustración 12-2.

Adicionalmente hay que mencionar que se debe realizar preparaciones en las uniones antes de ser soldadas, esto consiste en desbastar parte del material base para dar formas normadas acorde al tipo de soldadura que se tiene, generalmente la nomenclatura está en función de la forma que se observa.



**Ilustración 11-2:** Soldadura de filete, muesca y tapón

Fuente: Capa, 2009



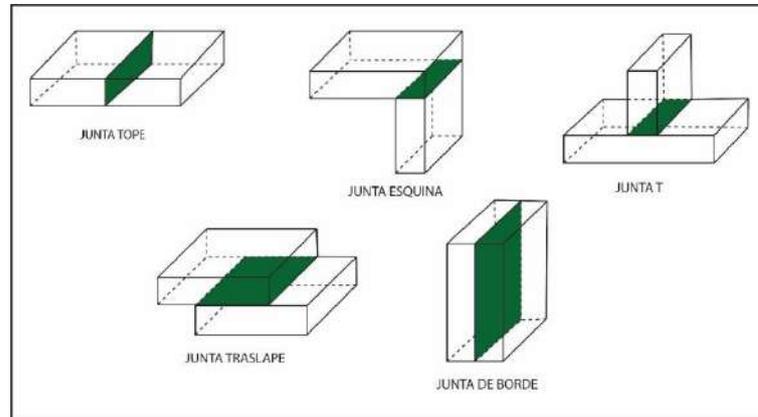
**Ilustración 12-2:** Soldadura por ranura

Fuente: Capa, 2009

### 2.4. Tipos de juntas

Como se definió anteriormente el proceso de soldado consistía en unir dos o más metales para formar un solo cuerpo, pero dependiendo de cómo se colocación que estos tengan, en otras palabras, su configuración geométrica, puede recibir muchos nombres, y del tipo de junta que se tenga depende la preparación que deberá tener antes de ser soldada (Mayanza y Tuquinga, 2018).

Se consideran 5 tipos de juntas o uniones, se puede ver en la Ilustración 13-2. Donde la parte marcada en verde de las imágenes, muestra la superficie en común que tiene los dos metales base antes de ser soldados en sus respectivas posiciones.

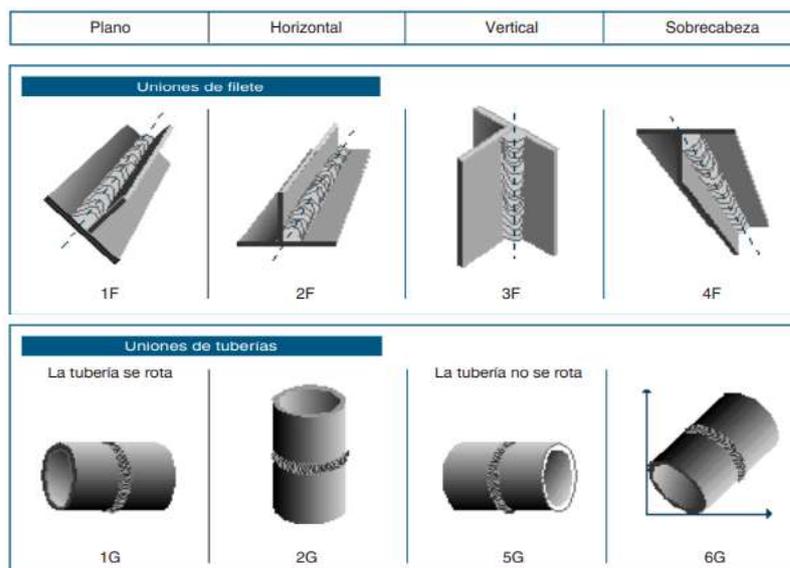


**Ilustración 13-2:** Tipos de juntas

Fuente: Adaptado de: AWS, 2012

## 2.5. Posiciones

Las posiciones de soldadura son las relaciones que pueden tener el eje y el plano de soldadura, dependiendo del rango que se encuentre, se puede mencionar 4 tipos de posiciones para soldar, estas se describen con números del 1 al 4 como se puede ver en la Ilustración 14-2; adicionalmente se puede mencionar que se coloca dos tipos de letras después del número de posición de soldar, F que es la nomenclatura de filete y G que es la nomenclatura de ranura (Samanez, 2021).



**Ilustración 14-2:** Posiciones de soldadura

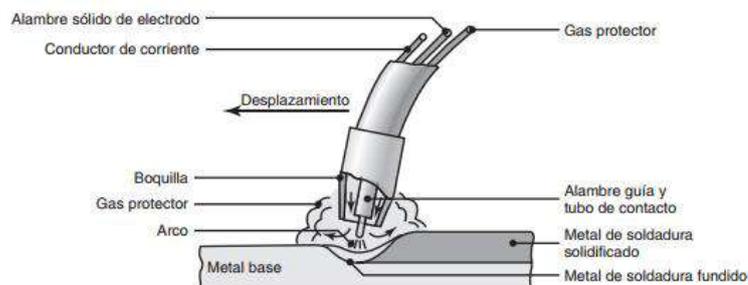
Fuente: Indura, 2007

## 2.6. Proceso GMAW

Es parte del proceso de soldadura por arco eléctrico, sus siglas significan *Gas Metal Arc Welding*, lo que se traduce en soldadura por arco metálico y gas, remontándonos a su inicio este proceso inicialmente se llama MIG (soldadura metálica de gas inerte), este tipo de soldadura consiste en utilización de un gas de protección en la realización del cordón de soldadura, el material de aporte es un electrodo consumible con alimentación automática (Kalpakjian, 2008).

Este proceso hace uso de dos procesos de soldadura ya conocidos, primero se establece un circuito cerrado entre el electrodo consumible de alimentación continua y el metal base, siendo este el principio de soldadura por arco eléctrico; segundo, se logra unir los metales debido a las altas temperaturas generadas, enmarcado en el principio de soldadura por fusión, la particularidad de este proceso recae en la utilización de un gas, pudiendo este ser un gas inerte o gas no inerte, con este gas se logra crear una atmosfera gaseosa que protege en cordón de soldadura (Arriaga, 2008).

En síntesis, se puede denominar a este proceso como similar al de arco eléctrico, adicionando dos particularidades, que se utiliza un material de aporte consumible que tiene alimentación automática y constante, y la protección del cordón se la realiza mediante la utilización de un gas, como se puede ver en la Ilustración 15-2.



**Ilustración 15-2:** Proceso de soldadura GMAW

Fuente: Kalpakjian, 2008, p. 951

### 2.6.1. Gases

Los siguientes gases se usan usualmente en este proceso: helio, este gas eleva más la temperatura en la zona de fusión, siendo esto beneficioso para grandes espesores; argón, el más utilizado para la soldadura, y el dióxido de carbono, que mejora las propiedades del cordón pero que produce más salpicaduras (Pacheco, 2015, p. 134).

Independientemente de que tipo de gas sean, tiene un fuerte impacto en: “las propiedades mecánicas del metal depositado, la estabilidad del arco, presencia de discontinuidades, calidad superficial de la soldadura” (ESAB, 2021).

Considerando las propiedades que deben tener estos gases, se tiene: “energía de ionización, actividad química, disociación molecular, conductividad térmica,” (Arriaga, 2008, p. 91).

De lo antes mencionado se puede decir que los gases empleados en la soldadura GMAW pueden ser inertes o activos, que independiente que de tipo de gas sean, intervienen directamente en la formación del cordón de soldadura y afectan directamente las características del mismo y que dependiendo del material a soldar se puede emplear distintos gases o sus combinaciones como se puede ver en la Tabla 1-2.

**Tabla 1-2:** Gases empleados y sus características

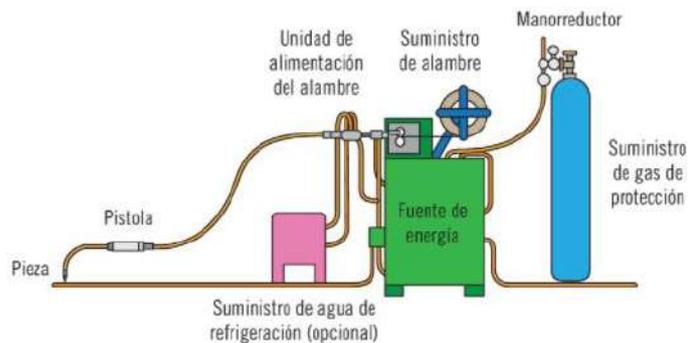
<b>Gases</b>	<b>Características</b>
Argón	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se lo emplea para soldar aluminio, cobre, níquel y titanio.</li> <li>• Si se lo emplea en soldadura de aceros al carbono, puede producir mordeduras y cordones irregulares.</li> </ul>
Helio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se lo emplea para soldar aluminio, cobre, magnesio.</li> </ul>
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se lo emplea principalmente para soldar aceros al carbono.</li> <li>• Soldaduras con mayor penetración, más económico que el argón y otros gases.</li> </ul>
Argón + Oxígeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En la soldadura de aceros inoxidable mejora los bordes del cordón y la penetración.</li> <li>• Se puede utilizar mezclas de argón con oxígeno al (1,2,5) %.</li> </ul>
Argón + CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se lo emplea para soldar aceros al carbono de baja aleación.</li> </ul>

Fuente: ESAB, 2021

Realizado por: Albán, David, 2022

### 2.6.2. Equipos

El equipo utilizado para el proceso de soldadura, se compone de varios componentes como menciona Entrena y se puede ver en la Ilustración 16-2. Siendo estos:



**Ilustración 16-2:** Equipo de soldadura GMAW

Fuente: Entrenan, 2013, p. 27

- Fuente de alimentación: llamado generador, es un aparato que se encarga de producir la tensión e intensidad de corriente necesarios; las fuentes de alimentación las podemos tener de dos tipos: generadores potenciales constante, donde se tiene una tensión constante en el proceso de soldadura, lo que permite la autorregulación, y generadores de intensidad constante, se tiene el voltaje máximo cuando se tiene circuito abierto y corriente máxima cuando empieza el proceso de soldadura.
- Fuente de gas, es el reservorio donde se almacena el gas a presión para ser utilizado para generar la atmósfera protectora, está controlada por una electroválvula.
- Sistema de control, es el encargado del control y selección de todos los parámetros que intervienen en el proceso.
- Alambre, es el metal de aporte de la soldadura, está colocado en un sistema de alimentación automática que permite su continuo uso en el soldado.
- Pistola, son los elementos que nos permiten dirigir el cordón de soldadura, además que permiten la salida del gas de protección y administran la corriente, este elemento está formado por: tubo de contacto del alambre, boquilla, tubo de suministro del gas, tubo de alimentación (2013, pp. 27-32).

### 2.6.3. Tipos de transferencia

La forma en cómo se transfiere el material en la soldadura, según menciona Kalpakjian, existen tres tipos de formas de transferencia, siendo estos:

- Transferencia por aspersión: se refiere a la transferencia mediante gotas del alambre sobre el metal a ser soldado.
- Transferencia globular: se refiere a una transferencia del metal de aporte con más salpicaduras, se puede soldar con velocidad mucho mayor que por aspersión.

- Transferencia en cortocircuito: se refiere a la transferencia mediante gotas en lapsos muy cortos de tiempo (aproximadamente 50 gotas por segundo), puede utilizarse para soldar espesores finos (2008, p. 951).

#### **2.6.4. Variables del proceso**

Para (Arriaga, 2008), las variables del proceso son todos los factores que intervienen y afectan el proceso de soldado, estos parámetros son: tipo de máquina, voltaje, tipo y diámetro del electrodo, velocidad de salida del alambre, distancia de la boquilla al metal base, tipo de gas de protección; en contraste con lo anterior (Pacheco, 2015), menciona que, las variables de este proceso vienen determinadas por su incidencia sobre el mismo, siendo estas: metal de aporte, tipo de corriente, gas protector longitud del arco, inclinación del portaelectrodos.

Como se observa, ambos autores coinciden en gran parte de las variables del proceso, solo variando, la velocidad de salida del alambre y la inclinación del portaelectrodos, y teniendo en común: el tipo de máquina (tipo de corriente) y longitud del arco, por lo que:

- Tipo de corriente: dependiendo de la máquina se puede generar corriente continua o corriente alterna, es recomendable utilizar para este proceso corriente continua, ya que utilizar el otro tipo de corriente puede provocar inestabilidad en el arco (Pacheco, 2015).
- Longitud del arco: es el espacio generado entre de la boquilla y el metal base, esto está en función de qué tipo de material se va a soldar (Arriaga, 2008).
- Velocidad de alimentación: se selecciona y regula directamente en el sistema de control de la soldadora, un parámetro para determinar la velocidad de alimentación es el voltaje con el que se va a trabajar (Arriaga, 2008).
- Inclinación del portaelectrodos: análogamente que, con el soldado por arco eléctrico, se debe orientar al mismo sentido que el avance de la soldadura.
- Gas protector: “influye sobre la transferencia del material, penetración, forma del cordón, e impide que el oxígeno y el nitrógeno del ambiente penetren en la zona de fusión” (Pacheco, 2015).
- Metal de aporte: este dependerá del tipo de material que se vaya a soldar (propiedades mecánicas y composición).

#### **2.6.5. Ventajas y desventajas**

Para Arriaga, las principales ventajas de utilizar el proceso GMAW son:

- Se considera de alta productividad.
- Soldabilidad en metales ferrosos y no ferrosos.
- Se pueden hacer soldaduras continuas de gran longitud
- Se puede soldar en todas posiciones.
- No hay remoción de escoria, en consecuencia, hay ahorro de tiempo.
- Muy poco chisporroteo.
- La distorsión de los metales por el calor es considerablemente reducida.
- Se puede soldar en espesores delgados (hasta 0.024 pulgadas).
- No usa fundente.
- La relativa alta velocidad de aplicación proporciona economías (aproximadamente 1 metro/minuto) (2008, p. 93).

Según menciona Arriaga, las principales desventajas de utilizar el proceso GMAW son:

- Elevado costo en el equipo y accesorios Se requiere gas de protección, por lo que aumenta el costo de producción, aunque muy poco.
- Se requiere de habilidad y capacitación en el soldador para obtener resultados óptimos.
- Se necesita contar con todo el equipo tanto de trabajo como de protección adecuados para evitar accidentes (2008, pp. 93-94).

#### **2.6.6. *Material de aporte***

Son los elementos que generalmente deben tener características similares al metal base e interviene en el proceso de soldadura, su nomenclatura según menciona (AWS A5.18, 2005. p.20), se establece que:

1. Se debe poner primero la letra ER O E, donde E es electrodo y R varilla o alambre.
2. Seguido deben ir dos números, que representan la resistencia a la tracción.
3. Se debe colocar S o C, donde S es sólido y C es compuesto.
5. Se separa por un guion y se coloca un número acorde a la norma donde se establece la composición del material de aporte.

Los materiales de aporte más comunes para este proceso, se pueden ver en la Tabla 2-2.

**Tabla 2-2:** Tipos de alambre en el proceso GMAW

<b>Código AWS</b>	<b>Características</b>
ER70S-2	Presenta desoxidantes, se usa para soldar láminas delgadas de acero, contiene titanio, zirconio y aluminio.
ER70S-3	Es el alambre más común utilizado en este proceso, contiene desoxidantes y presenta una zona de fusión más fluida, formando un cordón ancho y plano. Se utiliza en la fabricación de carrocerías de vehículos, maquinaria agrícola y aparatos electrodomésticos.
ER70S-4	Alambre adecuado para la soldadura de acero. Se usa en estructuras de acero, barcos y recipientes de calderas.
ER70S-5	usado para soldar en posición plana y en aceros con oxidación.
ER70S-6	Alambre con buen rendimiento, contiene silicio y manganeso como desoxidantes. Es adecuado para la soldadura de casi todos los aceros; funciona con las mezclas de gases más usadas y la zona de fusión presenta fluidez. Sus aplicaciones incluyen la fabricación de carrocerías, muebles, extintores, recipiente a presión y soldadura de cañerías, entre otras.

Fuente: Pacheco, 2021, p. 132

Realizado por: Albán, David, 2022

#### **2.6.7. Material aporte ER70S-6**

Según lo mencionado por INFRA, es un “Micro alambre sólido de acero al carbono con manganeso y silicio cubierto de una fina película de cobre que previene la oxidación y facilita la transferencia eléctrica en el material” (2021).

Se lo puede utilizar para varias aplicaciones como: uniones de aceros comerciales, planchas, perfiles, en materiales con residuos en la superficie, en la mayoría de aplicaciones donde se requiere un costo no muy elevado y gran rapidez en el proceso; su buena composición química, le proporciona buenas propiedades al cordón de soldadura además de una apariencia muy limpia en el mismo, se debe procurar que su utilización sea con corriente directa y en electrodo positivo (INFRA, 2021).

#### **2.6.8. Propiedades mecánicas**

Entre las propiedades mecánicas más importantes que posee este alambre, destacan las mostradas Tabla 3-2.

**Tabla 3-2:** Alambre ER70S-6 (Propiedades mecánicas)

<b>PROPIEDADES MECÁNICAS BAJO NORMATIVA A.W.S.</b>	
Resistencia a la tensión	480 MPa (70 000 psi)
Esfuerzo de cedencia	400 MPa (58 000 psi)
Elongación	22 %
Resistencia al impacto	27 J a – 30 °C (20 lb ft a – 20 ° F)

Fuente: INFRA, 2021

Realizado por: Albán, David, 2022

### 2.6.9. Composición química

La composición química de este alambre se la puede ver en la Tabla 4-2.

**Tabla 4-2:** Alambre ER70S-6 (Composición química)

<b>COMPOSICION QUÍMICA</b>	
Carbono	0,06 a 0,15 %
Manganeso	1,40 a 1,85 %
Azufre	0,035 % máximo
Silicio	0,80 a 1,15 %
Fósforo	0,025 % máximo
Cobre	0,50 % total
Níquel	0,15% máximo
Cromo	0,15% máximo
Molibdeno	0,15 % máximo
Vanadio	0,03 % máximo

Fuente: INFRA, 2021

Realizado por: Albán, David, 2022

### 2.7. Acero ASTM A36

Es un tipo de acero con características establecida mediante la norma ASTM A-36, es uno de los aceros estructurales más conocidos, es ampliamente utilizado debido a sus buenas propiedades mecánicas, se desarrolló primero en las Estado Unidos, todo esto buscando el mejoramiento de las propiedades de los aceros elaborados en ese tiempo, mismo que se consiguió aumentando el porcentaje de carbono presente en los aceros (Espinoza y Pasmíño, 2019).

Para Medina y Vaca es “uno de los aceros más comunes y comerciales dentro de los aceros de tipo estructural. En el Ecuador es uno de los metales más utilizados para la construcción de estructuras, puentes y demás aplicaciones estructurales” (2020, p. 29).

### 2.7.1. *Propiedades mecánicas*

Entre las propiedades mecánicas más importantes que posee este acero, se encuentran resistencia a la tracción, límite elástico, elongación y resistencia al impacto, mismas que se pueden ver en la Tabla 5-2.

**Tabla 5-2:** Propiedades mecánicas acero ASTM A36

PROPIEDADES MECÁNICAS		NOTAS
Resistencia a la tracción, MPa (ksi)	400-550 (58-80)	Placas de acero, formas y barras
Límite elástico (Esfuerzo de fluencia), MPa (ksi), $\geq$	250 (36)	Espesor $\leq$ 200mm (8 pulg.)
	220 (32)	Espesor de placas de acero $>$ 200mm (8 pulg.)
Elongación, %, $\geq$	20	Placas y barras en 200 mm (8 pulg.)
	23	Placas y barras en 50 mm (2 pulg.)
Dureza Brinell, HBW	119-162	Basado en la conversión de resistencia a la tracción
Módulo de elasticidad, GPa (ksi)	200 (29 $\times$ 103)	–
Prueba de impacto Charpy con muesca en V, J (ft-lbf), $\geq$	27 (20)	Formas estructurales, ubicación alternativa del núcleo
Módulo de corte, GPa (ksi)	79.3 (11.5 $\times$ 103)	–
Fy del acero A36 (Límite de fluencia), MPa (ksi), $\geq$	250 (36)	–

Fuente: INFRA, 2021

Realizado por: Albán, David, 2022

### 2.7.2. *Composición química*

Los elementos que componen comúnmente el acero ASTM A36 se los puede ver en la Tabla 6-2.

**Tabla 6-2:** Propiedades químicas del acero ASTM A36

	COMPOSICIÓN QUÍMICA					
Acero	C	Si	Mn	P	S	Cu
ASTM A36	0.26	0.40	no requirement	0.04	0.05	0.20

Fuente: INFRA, 2021

Realizado por: Albán, David, 2022

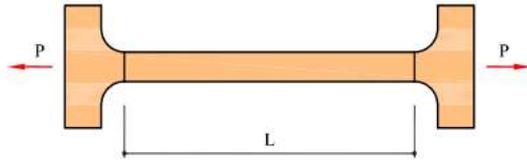
## 2.8. **Propiedades mecánicas**

Son las características propias de cada material, estas se pueden obtener analizando el comportamiento de un material al que se aplica una carga externa, cabe mencionar que estas propiedades están en función de la composición química que posee y de las estructuras que presenta internamente (Espinoza y Pazmiño, 2019).

Para poder trabajar correctamente sobre los materiales es necesario entender qué tipo de propiedades tiene este elemento, en ingeniería se lo puede relacionar con cuanta carga puede soportar, esto es muy útil en las primeras etapas del diseño donde es necesario seleccionar los materiales de acuerdo a cálculos previos y límites establecidos, estas propiedades son: dureza, resistencia, fragilidad, elasticidad, entre otros, donde gran parte de estas propiedades se las obtiene mediante la relación tensión-deformación (Askeland et al, 2013).

### 2.8.1. *Relación tensión-deformación*

Esta relación se obtiene mediante la realización de ensayos, mismos que tienen como objetivo aplicar una fuerza axial a lo largo de una probeta, observando el comportamiento frente a estas fuerzas y así determinando el diagrama esfuerzo-deformación del material (Navas, 2018). En el mismo sentido, para determinar la relación tensión deformación de un material, según Cervera y Blanco (2015, p. 56), es necesario realizar ensayos mecánicos en un laboratorio de resistencia de materiales, entre los ensayos que se comunes que se puede realizar son los de tracción y compresión, estos consisten en aplicar una fuerza P en ambos lados de una probeta como puede ver en la Ilustración 17-2.



**Ilustración 17-2:** Probeta para ensayos de tracción

**Fuente:** Cervera y Blanco, 2015, p. 56

Seguido se va determinando la deformación y el esfuerzo en un intervalo de tiempo; hay que hacer notar, que las probetas deben tener dimensiones normalizadas.

El esfuerzo lo podemos definir como la relación entre: la fuerza P mencionada anteriormente dividido para un área A, siendo esta el área transversal del elemento, expresando la relación en términos algebraicos, se tiene:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

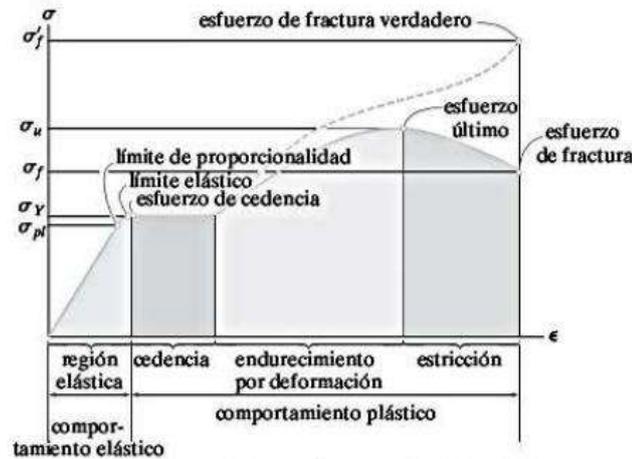
Si por el contrario analizamos la deformación del elemento, esta se debe definir como la relación entre: L, que es la longitud inicial de la probeta y  $\Delta L$ , que es la variación que se obtiene por acción de la fuerza, dicho de otra manera,  $\Delta L$ , es la diferencia de medida que se tiene respecto a la longitud inicial puesto que la longitud de la probeta tiende a sufrir incrementos una vez se aplica la fuerza P, expresando la relación en términos algebraicos, se tiene:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

### 2.8.2. *Diagrama esfuerzo-deformación*

Considerando un espacio bidimensional, y sobre este se coloca un sistema coordenado de modo que el eje horizontal corresponde a los valores de deformación y el eje vertical corresponde a los valores de esfuerzos, la gráfica que une los recibe el nombre de: Diagrama Esfuerzo-Deformación, esto se lo se puede ver en la Ilustración 18-2.

Hay que tener en cuenta que, aunque dos materiales posean graficas similares los valores nunca serán los mismos (Hibbeler, 2011).



**Ilustración 18-2:** Diagrama esfuerzo-deformación para un material dúctil

Fuente: Hibbeler, 2011, p. 84

En el diagrama esfuerzo deformación se puede observar dos comportamientos bien diferenciados, el comportamiento elástico: y comportamiento inelástico (Hibbeler, 2011). En el comportamiento elástico se puede hacer las siguientes apreciaciones:

- Empieza cuando al material se le aplica la carga P.
- Su forma es una línea inclinada y se desarrolla hasta que el esfuerzo alcanza el límite de proporcionalidad  $\sigma_p$ .
- Luego se convierte en una línea curva que tiende aplanarse y doblarse hasta que el esfuerzo alcanza el límite de elástico  $\sigma_y$ .
- Esta región se denomina comportamiento elástico porque el material vuelve a su forma original cuando se elimina la carga aplicada.

En el comportamiento plástico se puede hacer las siguientes apreciaciones:

- Posee tres zonas: cedencia, endurecimiento por deformación y estricción.
- Cedencia se la define como: la zona donde el material es perfectamente plástico, en otros términos, el material sufre una deformación permanente, este estado se alcanza si supera el límite de elástico.
- Endurecimiento por deformación: esta zona se encuentra a continuación de la cedencia, aquí la probeta puede soportar un aumento de la carga, se presenta una curva ascendente con la particularidad que mientras más se acerca al esfuerzo ultimo  $\sigma_u$ , tiende a aplanarse.
- Estricción, esta zona empieza cuando se generan esfuerzos superiores al esfuerzo último, físicamente durante todo el ensayo la sección transversal de la probeta se va reduciendo de

forma homogénea, pero en este punto la reducción se concentra en un punto de la probeta, esta se alargará hasta que la carga genere un esfuerzo que supere al esfuerzo de fractura  $\sigma_f$ , acto seguido la probeta se romperá.

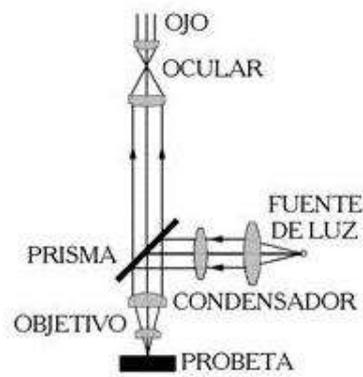
## **2.9. Metalografía**

Es parte de la metalurgia, como característica principal se puede mencionar que se encarga de determinar las propiedades químicas, físicas y mecánicas de materiales, siendo estos: metales y sus aleaciones; mediante la metalografía podemos determinar varias características de estos materiales como: inclusiones, tamaño de grano, fases presentes, entre otros, todo esto se consigue con la ayuda de exámenes metalográficos (Gómez, 2019).

La metalografía es la ciencia que estudia las propiedades de los metales y sus aleaciones, relacionándolas con sus propiedades, para poder determinar estas propiedades es necesario realizar exámenes metalográficos, las características que podemos analizar son: tamaño y forma del grano, inclusiones y distribución de fases, esto lo podemos realizar mediante exámenes metalográficos y uno de los principales instrumentos para poder realizar estos exámenes es el microscopio metalográfico (Quispe y Rospigliosi, 2020).

### **2.9.1. Microscopio metalográfico**

Es un instrumento con funcionamiento parecido al microscopio óptico, la gran diferencia está en su funcionamiento, este es un microscopio por refracción, una fuente genera el haz de luz que se dirige hacia un sistema de espejos, los cuales descomponen y envían el haz de luz hacia la superficie de la probeta a ser analizada, como esta superficie se encuentra pulida el haz de luz choca con la superficie y se refleja por medio del sistema de espejos nuevamente, estos a su vez envían el haz de luz hacia los lentes oculares donde observamos la imagen (Trejo, 2017), como se puede ver en la Ilustración 19-2.



**Ilustración 19-2:** Funcionamiento microscopio metalográfico

El objetivo de utilizar este tipo de microscopios, es poder determinar los constituyentes estructurales de una superficie preparada, el máximo aumento que se puede conseguir es de 1500x y utilizando otros tipos de lentes como: lentes bañadas en aceite, se puede conseguir hasta un aumento de 2000x (Laboratorios y Equipos de Colombia, 2021).

### 2.9.2. *Preparación de muestras metalográficas*

### 2.9.3. *Tamaño*

Generalmente las muestras metalográficas no deben exceder las siguientes dimensiones: 12 a 25 mm si son probetas de 4 lados, 12 a 25 mm de diámetro si son probetas circulares y la longitud de los especímenes debe ser la necesaria para su manipulación (ASTM E3-11, 2017).

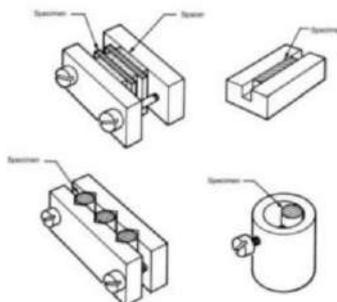
### 2.9.4. *Corte*

Para realizar el corte se tiene tres formas de realizarlo: la primera es el corte manual, es un método fácil y rápido y se aconseja para materiales de dureza menor a 350 HV, la segunda forma es el corte por abrasión, este método se puede utilizar para cortar materiales con dureza mayor a 350 HV, hay que considerar que una mala selección del disco de corte puede derivar en afectaciones microestructurales de la muestra metalográfica (ASTM E3-11, 2017).

### 2.9.5. *Montaje*

Para poder manipular adecuadamente la muestra en los casos que son muy pequeñas o pueden ocasionar cortes, es necesario montar estas muestras por medios mecánicos o a su vez por medio plásticos (ASTM E3-11, 2017).

- El montaje mecánico con en colocar en la muestra en distintas abrazaderas como se puede ver en la Ilustración 20-2.
- En el montaje plástico se tiene dos métodos: moldeo por presión donde se necesita calor y presión para encapsular la muestra y el montaje en frío, donde se vierten dos mezclas poliméricas que se solidifican y encapsulan la muestra (Quispe y Rospigliosi, 2020). Este Tipo de montaje se puede ver en la Ilustración 21-2.



**Ilustración 20-2:** Tipos de montajes mecánicos

Fuente: Quispe y Rospigliosi, 2020.

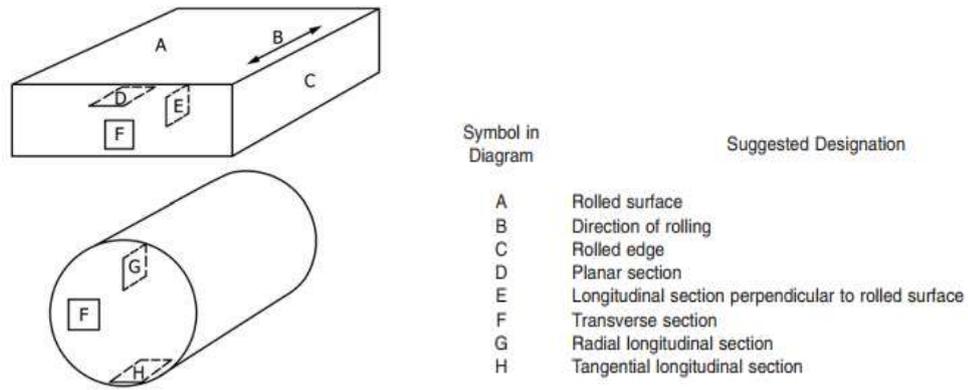


**Ilustración 21-2:** Montaje en plástico

Fuente: Tecmicro,2019.

### 2.9.6. Designación

Es recomendable establecer una identificación de la muestra analizar, dentro de la información que esta muestra tendrá debe contener la letra correspondiendo de la zona del material que se extrajo (ASTM E3-11, 2017). La designación de letras se puede ver en la Ilustración 22-2.



**Ilustración 22-2:** Método de localización de área de extracción

Fuente: ASTM E3-11, 2017

### 2.9.7. *Desbaste*

Para realizar el desbaste se debe considerar el tipo y el número de muestras, partiendo de aquí, se puede tener dos tipos de procesos por desbaste: desbaste manual, en el cual nos ayudamos de material abrasivos y mediante fricción se trabaja la muestra, desbaste automático, que es la utilización de dispositivos que realicen el trabajo de desbaste; es recomendable para el desbaste empezar con el material abrasivo más grueso, para que este elimine los defectos superficiales de la muestra y luego utilizar un material abrasivo de menor tamaño para que este elimine los defectos de anterior y así consecutivamente (ASTM E3-11, 2017).

Para Quispe y Rospigliosi “la finalidad del desbaste no es otra que la de preparar la superficie para el pulido, eliminando las capas distorsionadas, y obtener una superficie plana, ya que el microscopio tiene sólo una pequeña profundidad focal” (2020, p. 30).

### 2.9.8. *Pulido*

El pulido se lo realiza en máquinas pulidoras, estas máquinas utilizan discos laminares de tela abrasiva fina, donde la muestra metalográfica recibirá un acabado superficial tipo espejo, junto con esto se necesitará aplicar un líquido abrasivo (Quintero, 2021).

Se puede considerar dos tipos de pulidos: un pulido áspero cuyos resultados son suficientes para determinar dureza y tamaño de grano y un pulido fino, que se le realiza utilizando pastas pulidoras (ASTM E3-11, 2017).

### **2.9.9. Ataque Químico**

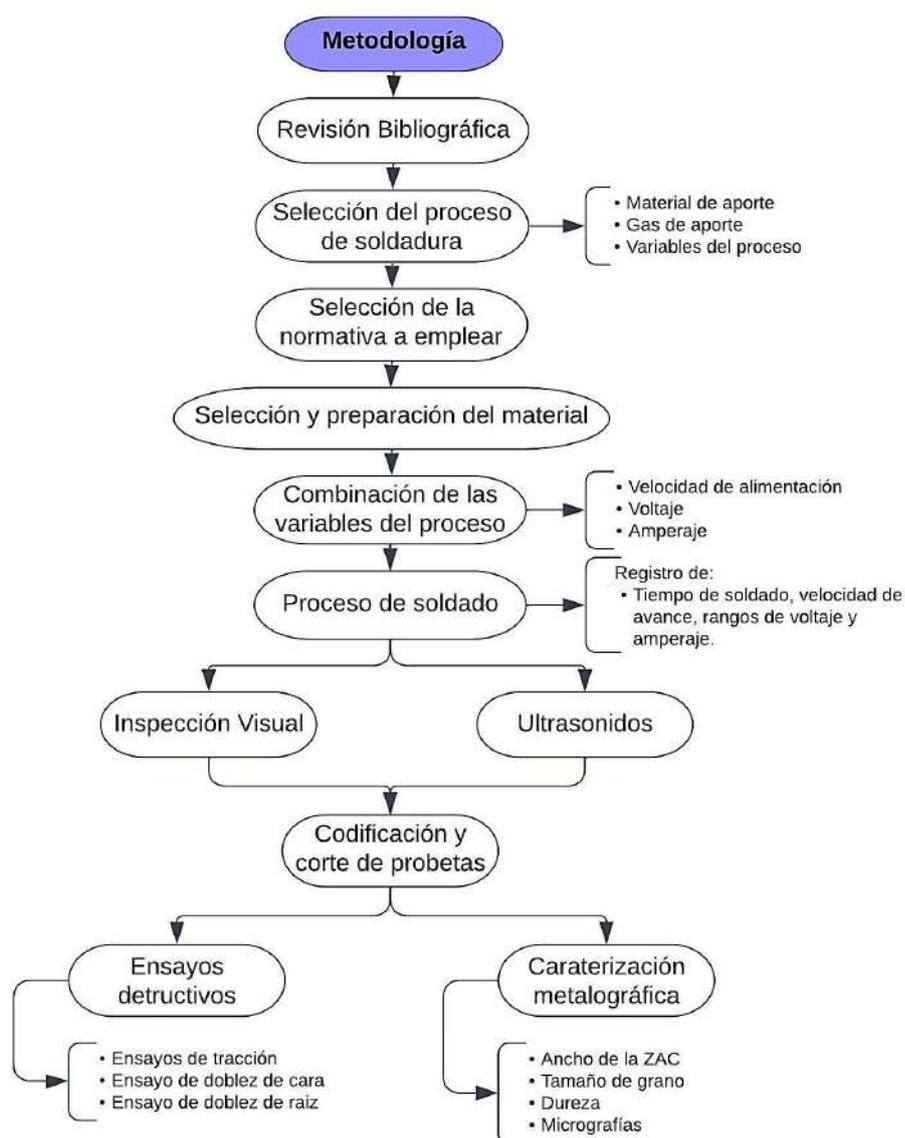
Se lo define como el proceso que se realiza después de pulir la muestra, consiste en aplicar gotas de un reactivo adecuado al tipo de material por un lapso de tiempo, luego esta muestra se limpia por un chorro de agua, se aplica alcohol y se deja secar por medio de corrientes de aire (Encarnación, 2013).

Para poder determinar los tipos de reactivos y los procedimientos a emplear se puede utilizar la norma ASTM E407: *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*, aquí se detalla los reactivos en función del tipo de material siendo este: metal o aleaciones, y se establecen los procedimientos de aplicación de cada reactivo.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se abordará todas las técnicas, métodos y procedimientos utilizados para llevar a cabo la investigación, como se puede ver en Ilustración 1-3.



**Ilustración 1-3:** Diagrama de la metodología empleada

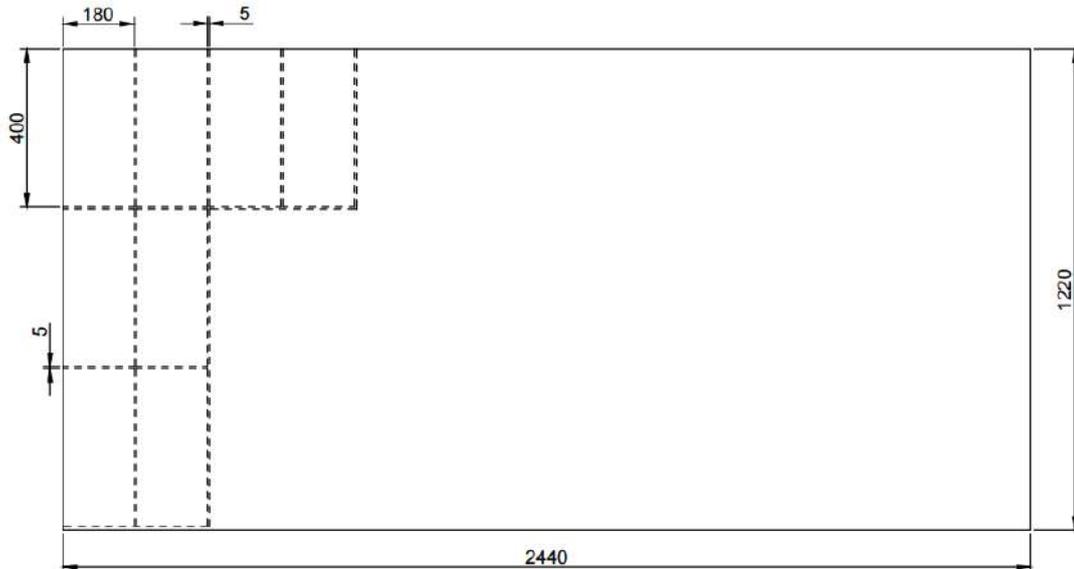
Realizado por: Albán, David, 2022

#### 3.1. Materiales

Se decidió utilizar para el desarrollo de la investigación planchas de acero A36, con la consideración de adquirir tres espesores distintos de las planchas, siendo estos de: 6mm, 8mm y 10mm.

### 3.1.1. Dimensiones de placas

En base a la norma AWS D1.1, sección 4, parte B, se estableció la dimensión de las placas en: 180mm de ancho y 400mm de largo, esta medida está en función de las secciones 3.1.2. Número de probetas y sección 3.1.3. Distribución interna de cupones, expuestas en las secciones a continuación, además se definió la dirección que estos tendrán en referencia al sentido del laminado de las planchas de acero, esto se lo puede ver en la Ilustración 2-3.



**Ilustración 2-3:** Esquema de distribución de placas

Realizado por: Albán, David, 2022

Se puede observar que entre los cupones se indica una distancia de 5mm, esta medida corresponde al material que se pierde en el proceso de corte, esto se indicará en la sección 3.1.2. Corte de cupones.

### 3.1.2. Número de probetas

Para establecer las medidas generales de las placas se tomó en consideración la norma AWS D1.1 sección 4, parte B, donde se establecen el número de probetas dependiendo del tipo de ensayo a realizar y del espesor que se tiene en las planchas, esto se puede ver en la tabla 1-3.

**Tabla 1-3:** Número de probetas por cada espesor

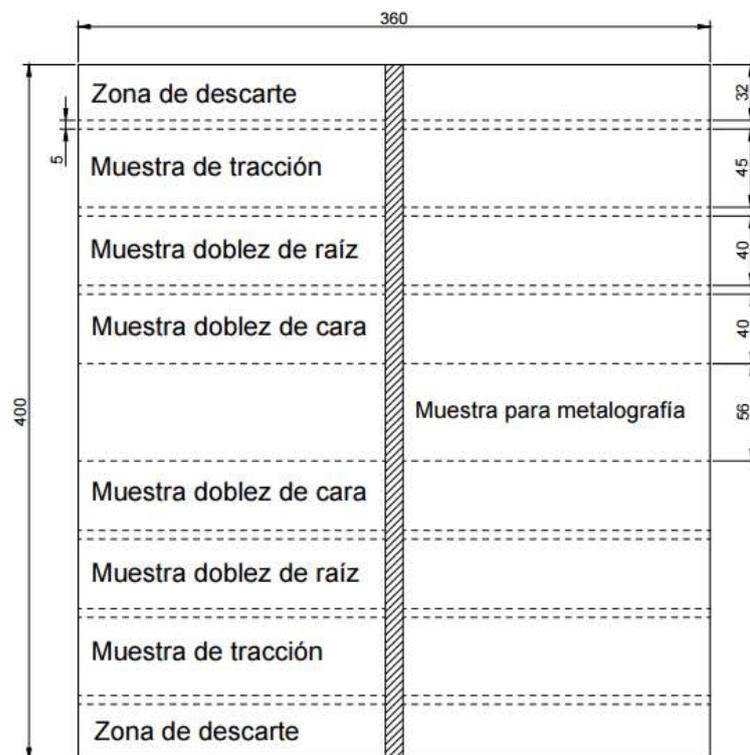
Espesores de las planchas	6 mm	8 mm	10 mm
	<b>N° de probetas</b>		
<b>Ensayo de tracción</b>	2	2	2
<b>Doblez de cara</b>	2	2	2
<b>Doblez de raíz</b>	2	2	2
<b>Ensayo metalográfico</b>	2	2	2

Fuente: AWS D1.1, 2010

Realizado por: Albán, David, 2022

### 3.1.3. Distribución interna de cupones

Una vez se define el número de probetas a ensayar en necesario establecer las dimensiones que tendrán las mismas, en función a la norma AWS D1,1 sección 4, parte B, se estableció la distribución que se puede ver en la Ilustración 3-3.



**Ilustración 3-3:** Distribución de muestras de ensayos

Realizado por: Albán, David, 2022

### 3.1.4. Corte de cupones

#### 3.1.4.1. Equipo

Para el corte de los cupones en las planchas de acero, se optó por utilizar el proceso de oxiacorte, el mismo que se lo realizó en los talleres de DIPAC Riobamba, mediante el empleo de una máquina de oxiacorte PNC-12 Extreme del Fabricante Koike, como se puede ver en la Ilustración 4-3.



**Ilustración 4-3:** Máquina de oxiacorte PNC-12 Extreme

Realizado por: Albán, David, 2022

Las características técnicas de la máquina de corte, se las puede ver en la Tabla 2-3, y el proceso de corte se la puede ver en la Ilustración 5-3.

**Tabla 2-3:** Características PNC-12 Extreme

<b>Fabricante</b>	Koike
<b>Máquina</b>	PNC-12 Extreme
<b>Modelo</b>	1015
<b>Modos de funcionamiento</b>	Oxiacorte y corte por plasma
<b>Área efectiva de corte</b>	1000 x 1500 mm
<b>Máximo espesor de corte (oxiacorte)</b>	50 mm
<b>Velocidad de posicionamiento rápido</b>	4000 mm/min
<b>Velocidad Máxima de corte</b>	3000 mm/min

Fuente: Koike, 2021

Realizado por: Albán, David, 2022



**Ilustración 5-3:** Proceso de corte de las placas

Realizado por: Albán, David, 2022

### 3.1.5. Espectrometría

#### 3.1.5.1. Equipo

Para analizar la composición química del material se utilizó un espectrómetro marca Bruker modelo Q2 ION como se puede ver en la Ilustración 6-3, mismo equipo que está localizado en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.



**Ilustración 6-3:** Equipo para espectrometría

Realizado por: Albán, David, 2022

Las características del equipo se las puede ver en la Tabla 3-3.

**Tabla 3-3:** Características Bruker Q2 ION

<b>Dimensiones y peso</b>	Anchura 440 mm (17 inch). Altura 220 mm (9 inch) Profundidad 390 mm (15 inch). Peso ~ 19 kg (~ 42 lbs)
<b>Datos eléctricos</b>	100 a 240 V (50/60 Hz) 200 W durante la medida y 50 W en reposo. 16 A (240 V) or 25 A (100 V) fusible de ruptura lenta
<b>Generador de fuente</b>	Libre de mantenimiento, generador PWM de dos fases. Frecuencia de 50 a 1000 Hz. Descargas de chispa desde 10 $\mu$ s hasta 2 ms

Fuente: Bruker, 2022

Realizado por: Albán, David, 2022

### 3.1.5.2. *Probetas*

Se obtuvo una probeta por cada plancha, mediante proceso de oxicorte, las dimensiones de las probetas fueron de: 3mm de ancho y 3mm de largo, como se puede ver en la Ilustración 7-3.



**Ilustración 7-3:** Probetas para espectrometría

Realizado por: Albán, David, 2022

### 3.1.5.3. *Procedimiento*

Una vez colocada la probeta se enciende la máquina, lo que genera la chispa por la gran cantidad de energía que se produce entre la placa y el portaelectrodos, la medición de la luz emitida por este proceso permite determinar con certeza todos los elementos que posee el material, para ello se eliminó el recubrimiento que poseían las placas, acto seguido se produjo 5 mediciones en distintas zonas del material para después promediar los resultados.

## 3.2. Soldado de placas

Para la realización de las juntas soldadas se estableció el proceso de soldadura GMAW uno de los procesos más utilizados para soldar acero estructural, se optó por utilizar alambre ER70S6 que es el alambre que mejor se adapta al tipo de material a soldar, y se optó por diámetro de 1,2 mm del alambre en consideración a los espesores de placas que se va a soldar.

### 3.2.1. *Equipo*

Para elaborar los cordones de se utilizó una soldadora Inverter V350 PRO como se puede ver en la ilustración 8-3, está máquina se encuentra localizada en el Laboratorio de Soldadura de la Facultad de Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional.



**Ilustración 8-3:** Soldadora Inverter V350 PRO

Realizado por: Albán, David, 2022

Las características del equipo de las puede ver en Tabla 4-3.

**Tabla 4-3:** Características Inverter V350 PRO

<b>Voltaje de entrada</b>	200-208/230/380/415/460/575/1/3/50/60
<b>Salida nominal de corriente/Voltaje /Ciclo de Trabajo</b>	350 A/34 V/60 % 300 A/32 V/100 %
<b>Corriente de entrada / Salida nominal</b>	3ph: 50/42/28-26/23/18 1ph: 94/85/54/42/37
<b>Rango de salida</b>	5-425A Max OCV: 80V DC
<b>HxWxD Pulgadas(mm)</b>	376x388x709 (14.8x13.3x27.8)
<b>Peso Neto kg(lbs)</b>	81(36.7)

Fuente: Lincoln Electric, 2022

Realizado por: Albán, David, 2022

### 3.2.2. *Parámetros*

Se optó por 3 parámetros para ser modificados en el proceso de soldadura siendo estos: velocidad de alimentación, amperaje y voltaje, analizando la combinación de estos parámetros se puede establecer qué combinaciones presentan mejores resultados al momento de soldar el material.

Las combinaciones a ser empleadas se las estableció en función a los valores mínimos que otorga el fabricante del alambre como se puede en la Ilustración 9-3.

Díámetro, gas protector, polaridad	CTWD <sup>(6)</sup> mm (in)	Velocidad de alimentación de alambre m/min (pulgadas/min)
<b>0.025 pulgadas (0.6 mm), CD+</b>		
Transferencia de corto circuito 100% CO <sub>2</sub>	9-12 (3/8-1/2)	2.5 (100) 6.4 (250)
<b>0.030 pulgadas (0.8 mm), CD+</b>		
Transferencia de corto circuito 100% CO <sub>2</sub>	9-12 (3/8-1/2)	1.9 (75) 3.8 (150) 7.6 (300)
<b>0.035 pulgadas (0.9 mm), CD+</b>		
Transferencia de corto circuito 100% CO <sub>2</sub> <sup>(6)</sup>	9-12 (3/8-1/2)	2.5 (100) 3.8 (150) 6.4 (250)
Transferencia de rocío 90% Ar/10% CO <sub>2</sub>	12-19 (1/2-3/4)	9.5 (375) 12.7 (500) 15.2 (600)
<b>0.045 pulgadas (1.1 mm), DC+</b>		
Transferencia de corto circuito 100% CO <sub>2</sub> <sup>(6)</sup>	12-19 (1/2-3/4)	3.2 (125) 3.8 (150) 5.1 (200)
Transferencia de rocío 90% Ar/10% CO <sub>2</sub>	12-19 (1/2-3/4)	8.9 (350) 12.1 (475) 12.7 (500)

**Ilustración 9-3:** Parámetros alambre ER70S-6

Fuente: Lincoln Electric, 2022

En base a los parámetros dados por el fabricante se observa que para un proceso con transferencia de corto circuito y con diámetro de alambre de 1,1 mm, la velocidad mínima de alimentación es de 125 (pulgadas/min), para este trabajo de investigación de tomo esos valores como los mínimos de cada combinación y en función a estos se realizó los intervalos.

### 3.2.3. Procedimiento de soldado de placas

El soldado de las placas se lo realizó en consideración al proceso a ser empleado y al material base a ser utilizado, así como todas las indicaciones necesarias que se encuentran expresadas en la norma AWS D1,1, sección 3. El procedimiento utilizado se lo puede ver en la Ilustración 10-3.

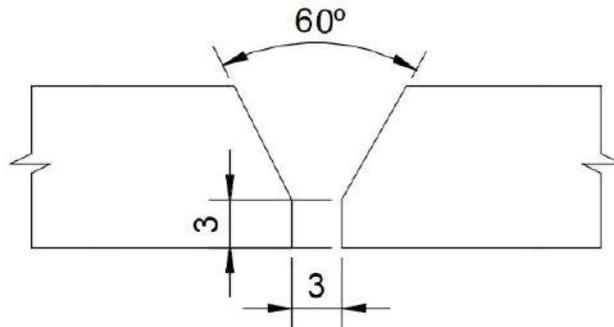


**Ilustración 10-3:** Procedimiento de soldado de placas

Realizado por: Albán, David, 2022

#### 3.2.3.1. Preparación de bordes

Las dimensiones de los bordes que tendrán las placas se encuentran en función a la norma AWS D1.1, sección 3.12, en base a esto se optó por: profundidad de bisel de 3mm con un ángulo de bisel de 30° en relación a la vertical, esto se puede ver en la Ilustración 11-3.



**Ilustración 11-3:** Dimensiones de los bordes de las placas

Realizado por: Albán, David, 2022

Para preparar los bordes, se los mecanizo mediante una fresadora universal Bridgeport Serie 1, teniendo en cuenta las dimensiones antes mencionadas, el proceso de mecanizado se lo puede ver en la Ilustración 12-3, y las placas mecanizadas se las puede ver en la Ilustración 13-3.



**Ilustración 12-3:** Fresado de bordes

Realizado por: Albán, David, 2022



**Ilustración 13-3:** Placas mecanizadas los bordes

Realizado por: Albán, David, 2022

Las características de la maquina se las puede ver en la Tabla 5.3

**Tabla 5-3:** Características Fresadora Bridgeport

<b>Tamaño global</b>	49 x 9in. (1245 x 299mm)
<b>Altura sobre el suelo (máx.)</b>	47.25in. (1200mm)

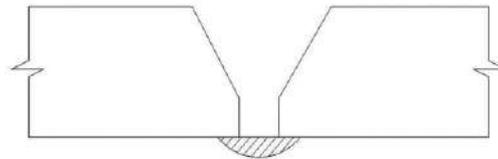
<b>Velocidad Alta (infinitamente variable)</b>	500 – 4200 RPM @ 60 Hz
<b>Potencia de entrada</b>	208/230/460 volts 3 phase, 50/60 cycle
<b>Otros datos</b>	Lectura digital de 2 o 3 ejes

Fuente: Hardinge, 2022

Realizado por: Albán, David, 2022

### 3.2.3.2. Cordones de respaldo

Los cordones de respaldo se los realizó en el lado de las placas donde se encontraba el talón, con la finalidad de que funcione como una placa de respaldo, soportando así la deposición del material de aporte y se permita rangos más amplios de variación de parámetros, el esquema del cordón de respaldo se lo puede ver en la Ilustración 14-3.



**Ilustración 14-3:** Esquema cordón de respaldo

Realizado por: Albán, David, 2022

El procedimiento para realizar los cordones de respaldo se puede ver en la Tabla 6-3.

**Tabla 6-3:** Procedimiento de los cordones de respaldo

Nº	OPERACIÓN	IMAGEN
1	Se puntean las placas a pedazos de platina colocadas en los extremos.	
2	Se realiza el cordón de respaldo	

3	Se elimina el excedente del cordón para dejar las dimensiones originales de los bordes y que funcionen solo como placa de respaldo.	
---	---	--

Realizado por: Albán, David, 2022

### 3.2.3.3. Soldado de placas

El soldado de placas se lo realizó con selección de parámetros que se encuentran en la Tabla 7-3.

**Tabla 7-3:** Parámetros de soldadura.

Espesor	Nº de placa	Nº de pase	Amperaje (A)		Voltaje (V)		Tiempo (seg)	Velocidad de alimentación (IPM)
			Min	Max	Min	Max		
6 mm	Placa 1	P 1 (raíz)	155	161	21	21,1	141	150
		P 2	156	161	21,6	21,8	179	
	Placa 2	P 1 (raíz)	168	172	22,2	22,4	105	200
		P 2	173	181	22,9	23,2	147	
	Placa 3	P 1 (raíz)	188	193	22,2	22,7	87	237
		P 2	207	215	22,5	22,7	163	
	Placa 4	P 1 (raíz)	186	193	22,9	23,2	84	250
		P 2	207	215	24,6	24,8	129	
8 mm	Placa 1	P 1 (raíz)	127	135	23,3	24,0	160	150
		P 2	154	160	23,0	23,2	217	
	Placa 2	P 1 (raíz)	155	161	23,5	24,0	153	200
		P 2	185	190	23,3	23,5	187	
	Placa 3	P 1 (raíz)	186	194	23,9	24,1	103	250
		P 2	205	215	24,8	25,1	163	
	Placa 4	P 1 (raíz)	209	216	24,7	25,1	92	300
		P 2	239	244	25,8	26,0	168	
10 mm	Placa 1	P 1 (raíz)	168	175	23,3	23,5	119	200
		P 2	188	191	24,9	25,2	103	
		P 3	192	196	24,9	25,2	188	
	Placa 2	P 1 (raíz)	192	198	25	25,2	106	250
		P 2	208	213	25,4	25,6	108	
		P 3	206	211	25,4	25,7	152	
	Placa 3	P 1 (raíz)	215	221	25,4	25,7	69	300
		P 2	238	248	25,7	26,1	92	
		P 3	249	257	25,8	26,1	138	
	Placa 4	P 1 (raíz)	225	228	26,9	27,1	60	325
		P 2	254	256	26,9	27	85	
		P 3	252	257	26,9	27,2	130	

Realizado por: Albán, David, 2022

Los valores de la Tabla 6-3, están presentados en rangos a excepción de la velocidad de alimentación que es un valor puntual que se regula en la máquina soldadora, el resto de valores dependen del soldador, están sometidos a variables como: velocidad de avance en el proceso de soldado, altura de la boquilla hacia el metal base. Todas las especificaciones de los procesos se los puede ver en el Anexo A: Especificaciones del proceso de soldadura.

Los valores fueron tomados mientras se realizaba en proceso de soldadura como se puede ver en la Ilustración 15-3.



**Ilustración 15-3:** Toma de datos del proceso de soldadura

Realizado por: Albán, David, 2022

El proceso completo de soldadura se lo puede resumir en pasos como se puede ver en la Tabla 8-3.

**Tabla 8-3:** Procedimiento del soldado de las placas

Nº	OPERACIÓN	IMAGEN
1	Colocación de los puentes en los extremos de las placas a ser soldadas.	
2	Soldado del cordón de raíz.	
3	Limpieza del cordón de raíz mediante una grata.	

4	Soldado del segundo pase y de ser necesario soldado del tercer pase, dependiendo del espesor de las placas.	
---	---	--

Realizado por: Albán, David, 2022

### 3.3. Inspección de soldadura

Conforme a lo estipulado en la norma AWS D1.1, sección 6, parte C, si se requiere calificar un proceso de soldadura este cordón debe pasar primero por una inspección visual, luego se debe llevar a cabo un ensayo no destructivo pudiendo estos ser ultrasonido o radiografía. Para la inspección de los cordones de soldadura se optó por realizar ultrasonidos a los 12 cordones realizados.

#### 3.3.1. Inspección Visual

Con forme a los requerimientos establecidos en la Tabla 6,1 de la norma AWS D1.1, se debe proceder a evaluar todos los cordones realizados, en este procedimiento se busca determinar existencia de grietas, tamaño de la soldadura en función al espesor del material, socavaciones y porosidades.

#### 3.3.2. Ultrasonido

Para realizar los ensayos de ultrasonido se contrató los servicios de SINDESECUADOR S.A, misma que presta los servicios de inspección no destructiva, se realizó la inspección de los 12 cordones de soldadura mediante ultrasonido convencional como se puede ver en la Ilustración 16-3. El informe completo se puede ver en el Anexo B: Resultados de ultrasonidos, y sus resultados se los puede ver en la sección 4.



**Ilustración 16-3:** Ensayo de ultrasonido

Realizado por: Albán, David, 2022

### 3.3.2.1. Equipo

Para la realización del ensayo se utilizó detector de fallas SIUI CTS-9005 como se puede ver en la Ilustración 16-3, las características del equipo se las puede ver en la Tabla 9-3.

**Tabla 9-3:** Características SIUI CTS-9005

<b>Índice de prueba</b>	Error del atenuador dB Cada 12dB $\pm$ 1dB
<b>Error de linealidad</b>	vertical% $\leq$ 3
<b>Rango dinámico</b>	dB $\geq$ 32
<b>Error de linealidad horizontal</b>	% $\leq$ 0.5
<b>Pulsador PRF Hz 20 ~ 2000Hz, paso</b>	20Hz
<b>Amortiguación</b>	Baja / Alta
<b>Receptor</b>	Rango de frecuencia de operación: MHz
<b>Ajuste de ganancia</b>	dB 0 ~ 110, con pasos de 0.5 / 2/6/12

Fuente: Mess, 2022

Realizado por: Albán, David, 2022

### 3.3.2.2. Procedimiento

Lo primero es realizar un barrido por haz recto en las zonas donde se va a realizar el barrido por haz angular y cerciorarnos que no exista indicaciones que interfieran con el proceso, estas indicaciones pueden ser producidas por la laminación del material y no son evaluadas en la soldadura. Acto seguido se realiza el barrido por haz angular en el cordón con un ángulo de 70 grados, cabe mencionar que dependiendo del ángulo y espesor del material se establecen las distancias a la cual se hace el barrido, se la realiza a la derecha e izquierda del cordón, esto es denotado en el informe como lado A y lado B, la máquina esta calibrada conforme la norma utilizada e automáticamente presenta las amplitudes de cada indicación, así como su clase.

## 3.4. Codificación y corte de probetas

### 3.4.1. Codificación

En base a la sección 3.1.3. Distribución Interna de cupones se procedió a señalar los cupones soldados como se puede ver en las Ilustraciones 17-3 y 18-3.



**Ilustración 17-3:** Señalización de cupones

Realizado por: Albán, David, 2022



**Ilustración 18-3:** Cupón codificado

Realizado por: Albán, David, 2022

### 3.4.2. Corte de probetas

Para el corte de cupones se optó por utilizar corte refrigerado debido a que este evita un sobrecalentamiento en el material y se evita alteraciones en la microestructura. Los cupones cortados se pueden ver en la Ilustración 19-3.



**Ilustración 19-3:** Probetas cortadas

Realizado por: Albán, David, 2022

### 3.5. Caracterización mecánica

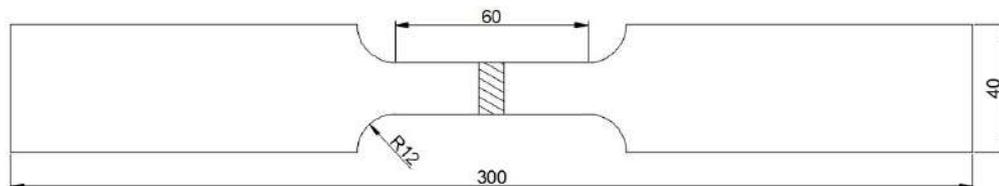
De acuerdo a la sección 3.1.2. Número de probetas, se establecieron el total de probetas y los ensayos que se debía realizar, en las siguientes secciones se indicara las especificaciones de cada uno de los ensayos realizados.

#### 3.5.1. Ensayo de tracción

Este ensayo busca aplicar cargas axiales a la probeta, con la finalidad de comprobar en qué zona de las mismas se produce la fractura, siendo estas zonas: ZAC, metal base y zona del cordón de soldadura.

##### 3.5.1.1. Dimensiones de la probeta

En función a la norma AWS D1.1 sección 4, parte B, las dimensiones de estas probetas se las puede ver en la Ilustración 20-3.



**Ilustración 20-3:** Dimensiones probeta de tracción

Realizado por: Albán, David, 2022

##### 3.5.1.2. Equipo

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de esfuerzo y vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional, el informe del mismo se lo puede ver en el Anexo C: Resultados ensayos de tracción, y las probetas ensayadas se las puede ver en la Ilustración 21-3.



**Ilustración 21-3:** Probeta ensayadas de tracción

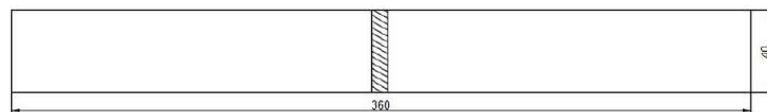
Realizado por: Albán, David, 2022

### 3.5.2. *Ensayo de dobléz de cara*

Este ensayo tiene como objetivo comprobar la ductilidad del material, para este ensayo se debe preparar la zona soldada de la probeta, se debe pulir esta superficie para observar todas las imperfecciones, se denomina ensayo de dobléz de cara porque la superficie a ser analizada es la cara del cordón soldadura.

#### 3.5.2.1. *Dimensiones de la probeta*

En función a la norma AWS D1.1 sección 4, parte B, las dimensiones de las probetas para ensayos de dobléz de cara se las puede ver en la Ilustración 22-3.



**Ilustración 22-3:** Dimensiones de las probetas de doblado de cara

Realizado por: Albán, David, 2022

#### 3.5.2.2. *Equipo*

Estos ensayos se los realizó en la máquina de ensayos en el laboratorio de soldadura de la Escuela Politécnica Nacional como se puede ver en la Ilustración 23-3, esta máquina posee un gato hidráulico de 30 toneladas, una entrada de voltaje de 220v, estructura de acero 1040, con tratamiento térmico de cementado.



**Ilustración 23-3:** Ensayo de dobléz de cara

Realizado por: Albán, David, 2022

Una vez realizado el ensayo se procede a revisar las superficies de las probetas ensayadas como se puede ver en la Ilustración 24-3, los resultados de estos ensayos se los puede ver en el Anexo D: Resultados ensayos de doblez.



**Ilustración 24-3:** Probetas ensayadas doblez de cara

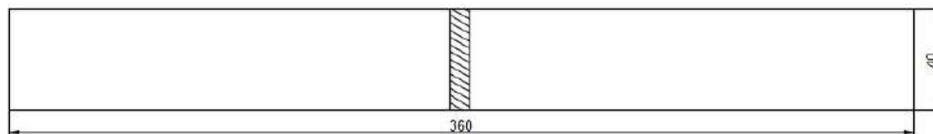
Realizado por: Albán, David, 2022

### 3.5.3. *Ensayo de doblez de raíz*

Este ensayo al igual que el doblez de cara tiene como objetivo analizar la ductilidad del material en este caso la superficie analizar es la correspondiente a la de la raíz del cordón.

#### 3.5.3.1. *Dimensiones de la probeta*

En función a la norma AWS D1.1 sección 4, parte B, las dimensiones de las probetas para ensayos de doblez de raíz se las puede ver en la Ilustración 25-3.



**Ilustración 25-3:** Dimensiones de las probetas de doblado de raíz.

Realizado por: Albán, David, 2022

#### 3.5.3.2. *Equipo*

El ensayo se realizó en la máquina de ensayos en el Laboratorio de Soldadura de la Escuela Politécnica Nacional como se puede ver en la Ilustración 23-3. Los resultados de estos ensayos se los puede ver en el Anexo D: Resultados ensayos de doblez.

### 3.5.4. *Análisis de combinaciones*

Para determinar que combinación de parámetros no presentan defectos en los cordones realizados, es necesario realizar una comparación de todas las probetas, definiendo así los cupones que aprueban todos los ensayos realizados anteriormente.

### 3.6. Caracterización metalográfica

#### 3.6.1. Preparación de la muestra

Las probetas se extraen en sentido longitudinal de las placas cortadas de los cupones, las dimensiones de las probetas se establecen en 90mm de largo y 15mm de ancho como se observa en la Ilustración 26-3.

Para la preparación de las muestras se tomó en consideración lo estipulado en la norma ASTM E3-95.



**Ilustración 26-3:** Probeta para metalografía

Realizado por: Albán, David, 2022

##### 3.6.1.1. Equipos

Para la preparación de las muestras se utiliza los siguientes equipos: bancos de lijado de manual como se puede ver en la Ilustración 27-3 y una pulidora como se puede ver en la Ilustración 28-3. Ambos equipos se encuentran en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.



**Ilustración 27-3:** Bancos de lijado manual

Realizado por: Albán, David, 2022

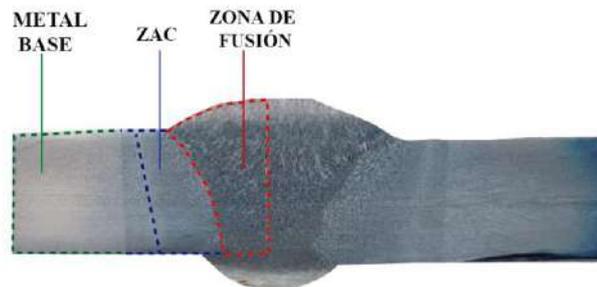


**Ilustración 28-3:** Pulidora

Realizado por: Albán, David, 2022

### 3.6.2. *Ensayo metalográfico*

Para preparar las probetas se utiliza nital al 5% durante un tiempo de 5 segundos, se analiza tres zonas: metal base, ZAC y zona de fusión, como se puede ver en la Ilustración 29-3.



**Ilustración 29-3:** Zonas de análisis

Realizado por: Albán, David, 2022

#### 3.6.2.1. *Equipo*

Para realizar las micrográficas de las 3 zonas se utilizó un microscopio NIKON ECLIPSE E200 localizado en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, como se puede ver en la Ilustración 30-3.



**Ilustración 30-3:** Microscopio NIKON E200

**Realizado por:** Albán, David, 2022

Las características del equipo se las puede ver en la Tabla 10-3.

**Tabla 10-3:** Características Microscopio NIKON E200

<b>Sistema óptico</b>	Sistema óptico infinito CFI60
<b>Iluminación</b>	Iluminador LED blanco de alta luminiscencia (Eco-iluminación) Lente ojo de mosca incorporada Se pueden instalar hasta dos filtros de 45 mm de diámetro*1 Función de gestión de intensidad de luz (LIM) incluida
<b>Enfoque</b>	Enfoque coaxial grueso / fino (ubicado en ambos lados), guía de rodillo transversal, trazo de enfoque: arriba 2 mm / abajo 13 mm, grueso: 37,7 mm por rotación, fino: 0,2 mm por rotación, lectura mínima: 2 $\mu$ m Con perilla de enfoque grueso anillo de ajuste de par y tope de movimiento vertical de la platina

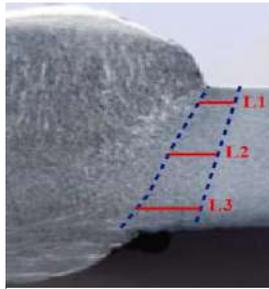
**Fuente:** Nikon, 2022

**Realizado por:** Albán, David, 2022

### 3.6.3. *Tamaño de la ZAC*

#### 3.6.3.1. *Método experimental*

Para determinar el tamaño de la ZAC de todas las probetas se opta por tomar una foto de cada una de ellas, luego se aplica una escala y se realizan tres líneas dentro de la zona, posteriormente se mide cada una de ellas, como se puede ver en la Ilustración 31-3. Se realiza un promedio para determinar la longitud de la ZAC.



**Ilustración 31-3:** Longitud de la ZAC

Realizado por: Albán, David, 2022

### 3.6.3.2. Método analítico

Para determinar el ancho de la ZAC analíticamente, primero se necesita calcular el aporte de calor del proceso, el mismo que está en función de los siguientes parámetros: voltaje, amperaje, velocidad de avance y eficiencia del proceso, como se puede ver en la Ecuación 1,

$$H_{neto} = \frac{(V) \cdot (I)}{v} \cdot (f) \quad (1)$$

Donde:

H<sub>neto</sub> = aporte de calor (J/mm)

V = voltaje (voltios)

I = amperaje (amperios)

v = velocidad de avance (mm/seg)

f = eficiencia del proceso (porcentaje /100%) como se puede ver en la Ilustración

Proceso	Eficiencia
Oxiacetilénico	35%
GTAW (TIG)	20-50%
GMAW (MIG)	70-85%
SMAW	70-80%
FCAW	65-85%
SAW	90-99%

**Ilustración 32-3:** Eficiencia del proceso

Fuente: Fosca, 2007, p. 86

Para determinar el ancho de la ZAC, es necesario reemplazar el valor obtenido anteriormente en la Ecuación 2.

$$\frac{1}{T_{max} - T_o} = \frac{(4,13) \cdot (\rho) \cdot (C) \cdot (t) \cdot Y_{ZAC}}{H_{neto}} + \frac{1}{T_{fusión} - T_o} \quad (2)$$

Donde:

T<sub>max</sub> = temperatura a la cual empiezan cambios microestructurales en estado sólido (°C)

T<sub>o</sub> = valor inicial de temperatura del metal base (°C)

T<sub>FUSIÓN</sub> = temperatura de fusión del metal base (°C)

ρ = densidad (g/mm<sup>3</sup>)

C = Calor específico (J/g·°C)

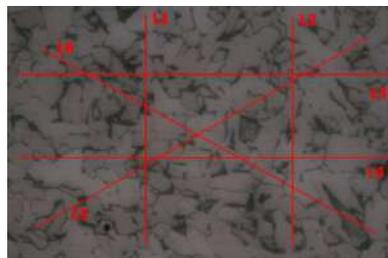
t = espesor del material base (mm)

Y<sub>ZAC</sub> = ancho de la ZAC (mm)

H<sub>neto</sub> = aporte de calor (J/mm)

#### 3.6.4. *Tamaño de grano*

Se utilizó el método de intersección para determinar el tamaño de grano, el cual consiste en trazar líneas en la micrografía, para luego medir las líneas y contar cuantos granos la atraviesan, como se puede ver en la Ilustración 33-3.



**Ilustración 33-3:** Trazado de líneas, método de intersección

Realizado por: Albán, David, 2022

La norma empleada es la ASTM E112, donde se establecen las directrices para determinar el tamaño de grano, una vez se selecciona la imagen de la micrografía a utilizar es imprescindible escalarla, para ello es necesario conocer el tamaño de la imagen de acuerdo a la ampliación utilizada, se utilizó una ampliación de 40x correspondiéndole un tamaño de imagen de 182 micras de largo por 121 micras de alto, con estos valores se determina mediante regla de tres su equivalencia en cm, para después trazar las líneas que determinan la norma, se optó por trazar 6 líneas: 2 horizontales, 2 verticales y 2 inclinadas; se debe determinar cuántos granos completos e incompletos atraviesa la línea, mediante cálculo se determina el tamaño de grano por el método de intersección.

### 3.6.5. Dureza

Para medir la dureza se lo realiza en consideración a la norma ASTM E10, norma que nos establece las condiciones estándar para realizar el ensayo, siendo de: 3000 kp de fuerza y 10mm el diámetro del indentador, así mismo se establece que el ensayo se puede realizar con valores menores de fuerza y con valores menores del diámetro de indentador, siempre y cuando se cumpla la relación fuerza-diámetro que es un valor constante dependiendo del tipo de material, para el caso del acero este valor es de  $C=30$ . Para determinar este valor se puede utilizar la Ecuación 3.

$$C = \frac{P}{D^2} \quad (3)$$

Donde:

P= carga del indentador (kgf).

D= diámetro del indentador (mm).

Se va utilizar un indentador de diámetro de 2,5mm, reemplazando los valores en la Ecuación 3 se determina que se necesita aplicar una fuerza de 187,5 kgf.

#### 3.6.5.1. Procedimiento

Se realizan indentaciones con una esfera de 2,5 mm de diámetro por medio de un durómetro aplicando una carga de 187,5 kgf durante 5 segundos, en total se realizan tres indentaciones en las tres zonas a medir la dureza como se puede ver en la Ilustración 34-3.



**Ilustración 34-3:** Zonas para medir dureza

Realizado por: Albán, David, 2022

Posteriormente se miden los diámetros de las indentaciones de manera horizontal y vertical, luego se realiza un promedio de las mismas y se reemplaza los datos en la Ecuación 4.

$$HB = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (4)$$

Donde:

P= carga del indentador (kgf).

D= diámetro del indentador (mm).

d= diámetro promedio de las indentaciones (mm).

### 3.6.5.2. Equipos

Para realizar las indentaciones en las 3 zonas se utilizó un durómetro modelo HBRV-187.5 cómo se puede ver en la Ilustración 35-3, el equipo está localizados en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.



**Ilustración 35-3:** Durómetro Modelo HBRV-187,5

Realizado por: Albán, David, 2022

Las características del equipo se las puede ver en la Tabla 11-3.

**Tabla 11-3:** Características Durómetro Modelo HBRV- 187,5

<b>Parámetros de dureza</b>	Rockwell, Brinell, Vickers
<b>Especificaciones ópticas</b>	Ampliación del lente óptico 15x
<b>Ampliación del microscopio</b>	Brinell 37,5 x , Vickers 75 x
<b>Cargas para pruebas Brinell</b>	30kgf(294,2N), 31,25kgf(306,5N), 62,5kgf(612,9N), 100kgf(980,7N), 187,5kgf(1838N)
<b>Tiempo de permanencia</b>	0-60 seg (incrementos de 5 seg)
<b>Dimensiones (L*W*H)</b>	Rockwell: 170mm; Brinell, Vickers: 140 mm
<b>Fuente de alimentación</b>	220V o 110V , 50Hz o 60 Hz

Fuente: Direct Industry, 2022

Realizado por: Albán, David, 2022

Para medir las indentaciones se utilizó un microscopio MITUTOYO SERIE TM como se puede ver en la Ilustración 36-3, el equipo está localizados en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.



**Ilustración 36-3:** Microscopio MITUTOYO Serie TM

**Realizado por:** Albán, David, 2022

Las características del equipo se las puede ver en la Tabla 12-3.

**Tabla 12-3:** Características MITUTOYO TM-101

<b>Fuente de alimentación</b>	V 50-60 Hz
<b>Consumo de energía</b>	8 VA
<b>Parte óptica</b>	Lente ocular de 15x, lente objetivo de 2x
<b>Mesa</b>	Ajuste micrométrico en dos ejes, graduación de 0,0001.

**Fuente:** Cardon, 2022

**Realizado por:** Albán, David, 2022

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

En el presente capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos de las probetas después de realizarse los ensayos destructivos y no destructivos, así como toda la información de la caracterización metalográfica, además se establece que combinaciones presentan los mejores resultados.

#### 4.1. Ensayos no destructivos

##### 4.1.1. Espectrometría

Analizadas las tres probetas de distintos espesores se determinó la composición química de cada una de ellas, cuyos resultados promediados se pueden ver en la Tabla 1-4.

**Tabla 1-4:** Resultados espectrometría

<b>Bruker Analysis Report</b>				
<b>C [%]</b>	<b>Si [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>P [%]</b>	<b>S [%]</b>
0,243	0,052	0,757	<0,0030	<0,0030
<b>Cr [%]</b>	<b>Mo [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Al [%]</b>
0,066	0,033	0,033	0,033	0,085
<b>Co [%]</b>	<b>Nb [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>W [%]</b>
<0,0030	<0,0050	<0,0020	0,0075	<0,020
<b>B [%]</b>	<b>Sn [%]</b>	<b>Fe [%]</b>		
<0,0010	0,016	98,67		

Realizado por: Albán, David, 2022

Como se observa los valores de la composición química están dentro del rango de valores que corresponden a un acero ASTM A36, así como los valores provistos por el fabricante del material.

##### 4.1.2. Ensayos de ultrasonido

Realizados los ensayos no destructivos de los 12 cordones se estableció cuales cordones no presentaban discontinuidades los mismo que se les dio la calificación de Aprueba como se puede ver en la Tabla 2-4.

**Tabla 2-4:** Resultados de ultrasonidos

<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>RESULTADOS</b>
<b>GMAW-150-6</b>	Aprueba
<b>GMAW-200-6</b>	Aprueba
<b>GMAW-237-6</b>	No aprueba
<b>GMAW-250-6</b>	Aprueba
<b>GMAW-150-8</b>	Aprueba
<b>GMAW-200-8</b>	No aprueba
<b>GMAW-250-8</b>	Aprueba
<b>GMAW-300-8</b>	No aprueba
<b>GMAW-200-10</b>	No aprueba
<b>GMAW-250-10</b>	Aprueba
<b>GMAW-300-10</b>	No aprueba
<b>GMAW-325-10</b>	Aprueba

Realizado por: Albán, David, 2022

Los valores de la Tabla 2-4, corresponden a los resultados obtenidos del informe, se puede apreciar que en los cupones que no aprueban el ensayo se presentan discontinuidades TIPO A, en todas las probetas la ubicación de estas se encuentra cerca de la raíz del cordón, lo que indica una falta de penetración, el informe completo de los ensayos no destructivos se lo puede ver en el Anexo B.

## **4.2. Ensayos destructivos**

### **4.2.1. Ensayos de Doble de cara y raíz**

Para que un cupón apruebe el ensayo, deben aprobar todas las probetas los ensayos que se realizan, siendo estos ensayos: doble de cara y doble de raíz. Al momento de efectuar el ensayo de doblado las discontinuidades presentes como poros tienden a mostrarse en la superficie, varias probetas presentaron poros con dimensiones dentro del rango de aceptación determinados en la norma correspondiente. Los resultados se los puede ver en la Tabla 3-4.

**Tabla 3-4:** Resultados ensayos de dobléz

CODIFICACIÓN	ENSAYOS				RESULTADOS
	CARA 1	CARA 2	RAIZ 1	RAIZ 2	
<b>GMAW-150-6</b>	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba
<b>GMAW-200-6</b>	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba
<b>GMAW-237-6</b>	No aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba	No aprueba
<b>GMAW-250-6</b>	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba
<b>GMAW-150-8</b>	No aprueba	No aprueba	Aprueba	Aprueba	No aprueba
<b>GMAW-200-8</b>	No aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba	No aprueba
<b>GMAW-250-8</b>	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba
<b>GMAW-300-8</b>	No aprueba	No aprueba	Aprueba	Aprueba	No aprueba
<b>GMAW-200-10</b>	No aprueba				
<b>GMAW-250-10</b>	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba
<b>GMAW-300-10</b>	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba
<b>GMAW-325-10</b>	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba

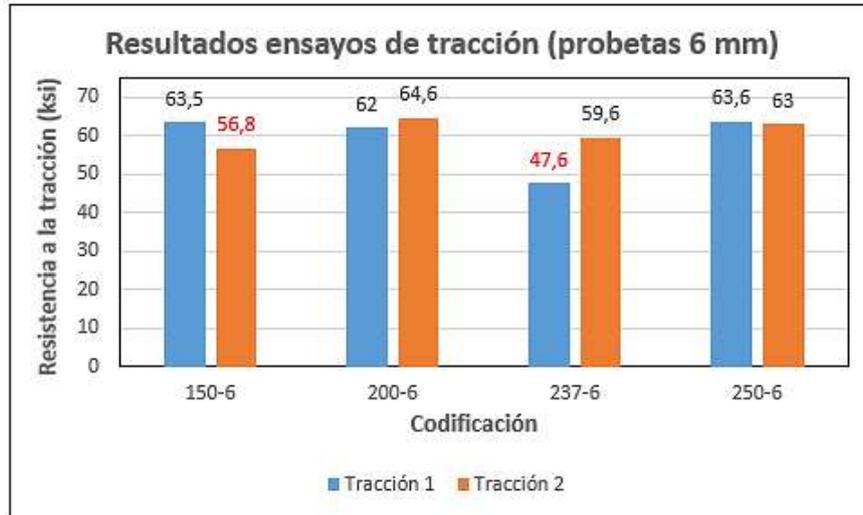
Realizado por: Albán, David, 2022

Los resultados presentados en la Tabla 3-4, están dispuestos a modo de resumen, en el informe completo se puede observar las distintas indicaciones de cada probeta, así como imágenes que fueron tomadas de cada una de ellas. El informe completo se puede ver en el Anexo D.

#### **4.2.2. Ensayos de tracción**

Una vez realizados los ensayos de tracción en las distintas probetas es necesario analizar y determinar que probetas aprueban el ensayo, para ello se debe analizar la zona de rotura de las mismas, siendo la zona del metal base la única zona aceptable.

La resistencia a la tracción obtenida de las probetas de 6 mm se la puede ver en la Ilustración 1-4.

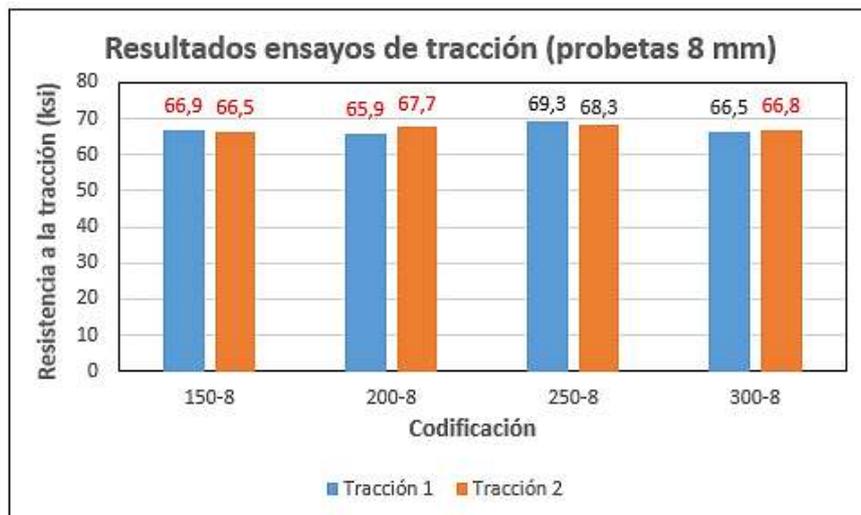


**Ilustración 1-4:** Resistencia a la tracción (probetas 6 mm)

Realizado por: Albán, David, 2022

Los valores corresponden a la resistencia a la tracción en ksi, de las dos probetas por cupón establecidas en la norma, los valores que se indican en rojo corresponden a la resistencia a la tracción de aquellas probetas que sufrieron la rotura en la zona afectada por el calor o en la zona de fusión y que son descartadas, el valor promedio de la resistencia la tracción de las probetas de 6 mm que si aprobaron el ensayo es de 62,7 ksi.

La resistencia a la tracción obtenida de las probetas de 8 mm se la puede ver en la Ilustración 2-4.

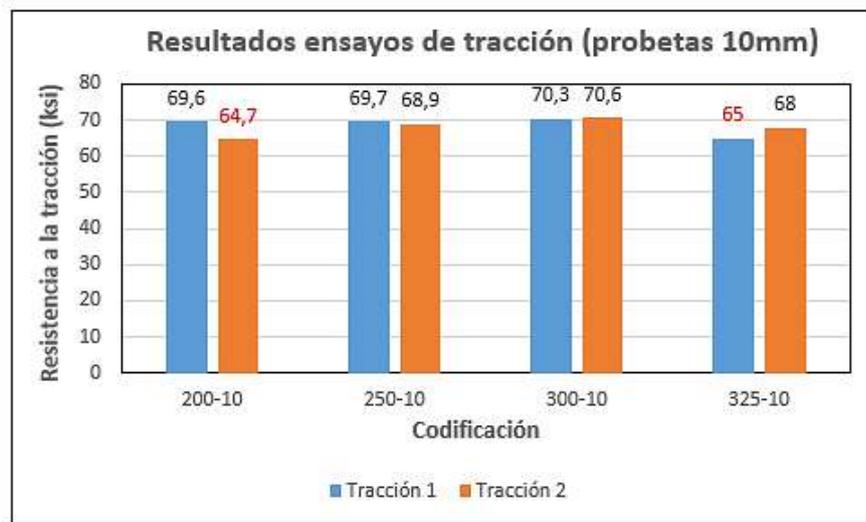


**Ilustración 2-4:** Resistencia a la tracción (probetas 8 mm)

Realizado por: Albán, David, 2022

Los valores corresponden a la resistencia a la tracción en ksi, de las dos probetas por cupón establecidas en la norma, los valores que se indican en rojo corresponden a la resistencia a la tracción de aquellas probetas que sufrieron la rotura en la zona afectada por el calor o en la zona de fusión y que son descartadas, el valor promedio de la resistencia la tracción de las probetas de 8 mm que si aprobaron el ensayo es de 68 ksi.

La resistencia a la tracción obtenida de las probetas de 8 mm se la puede ver en la Ilustración 3-4.



**Ilustración 3-4:** Resistencia a la tracción (probetas 10 mm)

Realizado por: Albán, David, 2022

Los valores corresponden a la resistencia a la tracción en ksi, de las dos probetas por cupón establecidas en la norma, los valores que se indican en rojo corresponden a la resistencia a la tracción de aquellas probetas que sufrieron la rotura en la zona afectada por el calor o en la zona de fusión y que son descartadas, el valor promedio de la resistencia la tracción de las probetas de 8 mm que si aprobaron el ensayo es de 69,5 ksi.

Para que un cupón apruebe, los ensayos de tracción de las dos placas deben aprobar. El análisis de este criterio se los puede ver en la Tabla 4-4.

**Tabla 4-4:** Resultados ensayos de tracción.

CODIFICACIÓN	ENSAYOS		RESULTADOS
	TRACCIÓN 1	TRACCIÓN 2	
<b>GMAW-150-6</b>	Aprueba	No aprueba	No aprueba
<b>GMAW-200-6</b>	Aprueba	Aprueba	Aprueba
<b>GMAW-237-6</b>	Aprueba	No aprueba	No aprueba
<b>GMAW-250-6</b>	Aprueba	Aprueba	Aprueba
<b>GMAW-150-8</b>	No aprueba	No aprueba	No aprueba
<b>GMAW-200-8</b>	No aprueba	No aprueba	No aprueba
<b>GMAW-250-8</b>	Aprueba	Aprueba	Aprueba
<b>GMAW-300-8</b>	Aprueba	No aprueba	No aprueba
<b>GMAW-200-10</b>	Aprueba	No aprueba	No aprueba
<b>GMAW-250-10</b>	Aprueba	Aprueba	Aprueba
<b>GMAW-300-10</b>	Aprueba	Aprueba	Aprueba
<b>GMAW-325-10</b>	No aprueba	Aprueba	No aprueba

Realizado por: Albán, David, 2022

La calificación de Aprueba, corresponde a todas las probetas que durante el ensayo se fracturaron en la zona del material base, puesto que para que una soldadura aprueba, como mínimo debe garantizar la misma resistencia que el material base. Los resultados presentados en la tabla están dispuestos a modo de resumen, el informe completo se lo puede ver en el Anexo C.

#### 4.3. Análisis de resultados de los ensayos

Realizados todos los ensayos es necesario determinar que cupones cumplen con todas las condiciones para ser aprobados, los resultados de este análisis se lo puede ver en la Tabla 5-4.

**Tabla 5-4:** Resultados de los ensayos

CODIFICACIÓN	ENSAYOS			RESULTADOS
	ULTRASONIDO	DOBLEZ	TRACCIÓN	
<b>GMAW-150-6</b>	Aprueba	Aprueba	No aprueba	No aprueba
<b>GMAW-200-6</b>	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba
<b>GMAW-237-6</b>	No aprueba	No aprueba	No aprueba	No aprueba
<b>GMAW-250-6</b>	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba
<b>GMAW-150-8</b>	Aprueba	Aprueba	No aprueba	No aprueba
<b>GMAW-200-8</b>	No aprueba	No aprueba	No aprueba	No aprueba

<b>GMAW-250-8</b>	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba
<b>GMAW-300-8</b>	No aprueba	No aprueba	No aprueba	No aprueba
<b>GMAW-200-10</b>	No aprueba	No aprueba	No aprueba	No aprueba
<b>GMAW-250-10</b>	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba
<b>GMAW-300-10</b>	No aprueba	Aprueba	Aprueba	No aprueba
<b>GMAW-325-10</b>	Aprueba	Aprueba	Aprueba	Aprueba

Realizado por: Albán, David, 2022

Como se observa, se obtuvo cinco cupones que aprobaron todos los ensayos y calificaron su proceso de soldadura, siendo estos: dos cupones de espesor de 6mm, un cupón de 8 mm y dos cupones de 10mm. Las especificaciones completas de los procedimientos de soldadura se los puede ver en el Anexo A.

El primer cupón aprobado es el de codificación GMAW-200-6, con un espesor de 6mm y que fue soldado con una velocidad de alimentación de 200 IPM, con un rango de voltaje de (22-23) voltios y un rango de amperaje de (168 – 181) amperes, comprendidos entre el pase de raíz y el pase final.

El segundo cupón aprobado es el de codificación GMAW-250-6, con un espesor de 6 mm y que fue soldado con una velocidad de alimentación de 250 IPM, con un rango de voltaje de (22.9-24.9) voltios y un rango de amperaje de (185 – 215) amperes, comprendidos entre el pase de raíz y el pase final.

El tercer cupón aprobado es el de codificación GMAW-250-8, con un espesor de 8 mm y que fue soldado con una velocidad de alimentación de 250 IPM, con un rango de voltaje de (23.9-25) voltios y un rango de amperaje de (185 – 215) amperes, comprendidos entre el pase de raíz y el pase final.

El cuarto cupón aprobado es el de codificación GMAW-250-10, con un espesor de 10 mm y que fue soldado con una velocidad de alimentación de 250 IPM, con un rango de voltaje de (25-25.7) voltios y un rango de amperaje de (192 – 211) amperes, comprendidos entre el pase de raíz y el pase final.

El quinto cupón aprobado es el de codificación GMAW-325-10, con un espesor de 10 mm y que fue soldado con una velocidad de alimentación de 325 IPM, con un rango de voltaje de (26.9-27.2) voltios y un rango de amperaje de (225 – 255) amperes, comprendidos entre el pase de raíz y el pase final.

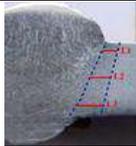
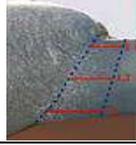
#### 4.4. Caracterización metalográfica

##### 4.4.1. Ancho de la ZAC

###### 4.4.1.1. Método experimental

Los valores presentados en la Tabla 6-4 corresponden a los valores de la ZAC de las probetas con un espesor de 6 mm.

**Tabla 6-4:** Ancho de la ZAC, probetas 6mm

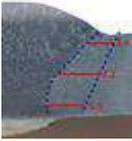
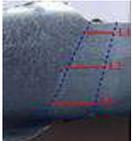
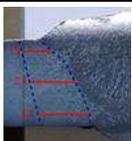
Codificación	Imagen	Mediciones (L) mm	(L) Promedio Ancho ZAC mm
150-6		1,828	2,50
		2,438	
		3,231	
200-6		3,069	3,67
		4,052	
		3,876	
237-6		3,058	4,08
		4,033	
		5,144	
250-6		2,528	3,41
		3,352	
		4,36	

Realizado por: Albán, David, 2022

Como se observa los valores de la ZAC son directamente proporcionales a la energía calórica que se le adiciona, los valores van aumentando a raíz que se aumenta la velocidad de alimentación del alambre a excepción de la ZAC de la probeta 250-6 que por causas propias del proceso de soldadura la zona se reduce en relación a la anterior.

Los valores presentados en la Tabla 7-4 corresponden a los valores de la ZAC de las probetas con un espesor de 8 mm.

**Tabla 7-4:** Ancho de la ZAC, probetas 8mm

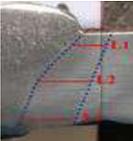
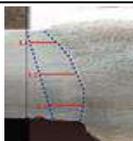
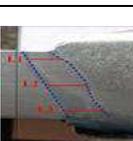
Codificación	Imagen	Mediciones (L) mm	(L) Promedio Ancho ZAC mm
150-8		2,473	3,39
		4,04	
		3,649	
200-8		3,306	4,15
		4,096	
		5,036	
250-8		3,817	4,25
		4,618	
		4,302	
300-8		3,222	4,52
		4,859	
		5,489	

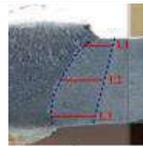
Realizado por: Albán, David, 2022

Como se observa los valores de la ZAC son directamente proporcionales a la energía calórica que se le adiciona, los valores de las dimensiones van aumentando a raíz que se aumenta la velocidad de alimentación del alambre en el proceso de soldado.

Los valores presentados en la Tabla 8-4 corresponden a los valores de la ZAC de las probetas con un espesor de 10 mm.

**Tabla 8-4:** Ancho de la ZAC, probetas 10mm

Codificación	Imagen	Mediciones (L) mm	(L) Promedio Ancho ZAC mm
200-10		3,803	4,29
		4,882	
		4,185	
250-10		3,533	4,31
		4,817	
		4,593	
300-10		3,815	4,38
		4,198	
		5,122	

325-10		3,154	4,58
		5,206	
		5,378	

Realizado por: Albán, David, 2022

Como se observa los valores de la ZAC son directamente proporcionales a la energía calórica que se le adiciona, los valores de las dimensiones van aumentando a raíz que se aumenta la velocidad de alimentación del alambre en el proceso de soldado.

#### 4.4.1.2. Método analítico

Conforme el procedimiento establecido en la sección anterior para determinar el ancho de la ZAC de manera analítica se necesita de varios datos, correspondientes a las Ecuaciones 2 y 3, conociendo que el material base es acero A36 y los espesores de 6, 8 y 10 mm, se tendría las consideraciones iniciales:

$f = 0,8$  correspondiente a la eficiencia del proceso

$T_{max} = 723 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , correspondiente a la línea A1 del diagrama hierro-carbono.

$T_o$  = está en fusión a la temperatura alcanzada antes del pase final.

$T_{FUSIÓN} = 1480 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$\rho = 0,785 \text{ g/mm}^3$

$C = 0,465 \text{ J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$

$t = 6, 8 \text{ y } 10 \text{ mm}$

En base a estos valores y reemplazándolos en las Ecuaciones 2 y 3, se determinó el tamaño del ancho de la ZAC, como se puede ver en la Tabla 9-4.

**Tabla 9-4:** Ancho de la ZAC

CODIFICACIÓN	$T_o$	$H_{NETO}$	$Y_{ZAC}$
<b>GMAW-150-6</b>	675	1084,61	2,35
<b>GMAW-200-6</b>	692	997,79	3,42
<b>GMAW-237-6</b>	693	1149,36	4,07
<b>GMAW-250-6</b>	691	1039,22	3,44
<b>GMAW-150-8</b>	692	1282,70	3,30
<b>GMAW-200-8</b>	695	1394,60	3,98
<b>GMAW-250-8</b>	697	1323,72	4,08
<b>GMAW-300-8</b>	696	1537,61	4,56

<b>GMAW-200-10</b>	704	1253,41	4,27
<b>GMAW-250-10</b>	704	1272,18	4,33
<b>GMAW-300-10</b>	705	1246,24	4,49
<b>GMAW-325-10</b>	706	1230,68	4,70

Realizado por: Albán, David, 2022

#### 4.4.2. Tamaño de grano

Los valores del tamaño de grano de las dos zonas analizadas: metal base y zona afectada por el calor, analizadas en las probetas de espesor 6 mm, se los puede ver en la Tabla 10-4.

**Tabla 10-4:** Tamaño de grano probetas de 6mm

MB			ZAC		
Línea	G	G Promedio	Línea	G	G Promedio
L1	9,30	9	L1	11,11	10
L2	9,94		L2	11,01	
L3	8,95		L3	10,12	
L4	9,40		L4	10,12	
L5	8,90		L5	9,91	
L6	8,65		L6	10,23	
L1	9,94	10	L1	11,30	10
L2	9,79		L2	11,21	
L3	9,40		L3	10,28	
L4	9,78		L4	10,12	
L5	8,90		L5	9,91	
L6	9,64		L6	9,99	
L1	9,47	9	L1	10,70	10
L2	10,22		L2	11,11	
L3	9,40		L3	9,96	
L4	8,95		L4	9,96	
L5	8,65		L5	9,35	
L6	8,65		L6	10,07	
L1	9,64	9	L1	11,30	11
L2	9,94		L2	11,11	
L3	8,95		L3	10,28	
L4	9,60		L4	10,12	
L5	9,35		L5	10,38	
L6	9,02		L6	10,15	

Realizado por: Albán, David, 2022

Como se observa los valores de tamaño de grano del metal base y zona afectada por el calor difieren, se tiene un valor de tamaño de grano mayor en la zona afectada por el calor, lo cual contrasta con las micrografías tomadas en esta zona y con los valores de dureza medidos en la zona. Se puede establecer la relación, que a mayor de tamaño de grano se ha determinado según

ASTM E112, mayor será la dureza. Los valores se encuentran redondeados según las recomendaciones de la norma y por tal razón hay valores de tamaño de grano numéricamente similares entre la zona afectada por el calor y el metal base.

Los valores del tamaño de grano de las dos zonas analizadas: metal base y zona afectada por el calor, analizadas en las probetas de espesor 8 mm, se los puede ver en la Tabla 11-4.

**Tabla 11-4:** Tamaño de grano probetas de 8mm

MB			ZAC		
Línea	G	G Promedio	Línea	G	G Promedio
L1	9,64	10	L1	11,30	10
L2	9,94		L2	11,11	
L3	9,19		L3	9,96	
L4	9,78		L4	10,28	
L5	9,35		L5	9,82	
L6	9,24		L6	10,23	
L1	9,30	9	L1	11,11	10
L2	9,79		L2	11,11	
L3	9,40		L3	10,12	
L4	9,60		L4	10,28	
L5	9,24		L5	10,07	
L6	9,64		L6	10,23	
L1	9,64	9	L1	11,30	11
L2	9,30		L2	11,11	
L3	9,29		L3	10,12	
L4	9,40		L4	10,43	
L5	9,55		L5	10,23	
L6	9,35		L6	10,15	
L1	9,30	9	L1	10,91	10
L2	9,47		L2	11,11	
L3	8,95		L3	9,96	
L4	9,60		L4	10,28	
L5	9,35		L5	10,30	
L6	9,35		L6	10,38	

Realizado por: Albán, David, 2022

Como se observa los valores de tamaño de grano del metal base y zona afectada por el calor difieren, se tiene un valor de tamaño de grano mayor en la zona afectada por el calor, lo cual contrasta con las micrografías tomadas en esta zona y con los valores de dureza medidos en la zona. Se puede establecer la relación, que a mayor de tamaño de grano se determinado según ASTM E112, mayor será la dureza. Los valores se encuentran redondeados según las recomendaciones de la norma y por eso hay valores de tamaño de grano numéricamente similares entre la zona afectada por el calor y el metal base.

Los valores del tamaño de grano de las dos zonas analizadas: metal base y zona afectada por el calor, analizadas en las probetas de espesor 8 mm, se los puede ver en la Tabla 12-4.

**Tabla 12-4:** Tamaño de grano probetas de 6mm

Línea	G	G Promedio	Línea	G	G Promedio
L1	9,30	9	L1	11,30	10
L2	9,64		L2	11,11	
L3	9,19		L3	9,96	
L4	9,29		L4	10,28	
L5	9,55		L5	9,82	
L6	9,35		L6	10,23	
L1	9,47	9	L1	11,11	10
L2	9,30		L2	11,11	
L3	9,40		L3	10,12	
L4	9,40		L4	10,28	
L5	9,55		L5	10,07	
L6	9,45		L6	10,23	
L1	9,64	9	L1	11,30	11
L2	9,47		L2	11,11	
L3	9,19		L3	10,12	
L4	9,19		L4	10,43	
L5	9,35		L5	10,23	
L6	9,45		L6	10,15	
L1	9,30	9	L1	10,91	10
L2	9,47		L2	11,11	
L3	9,19		L3	9,96	
L4	9,40		L4	10,28	
L5	9,13		L5	10,30	
L6	9,24		L6	10,38	

Realizado por: Albán, David, 2022

Como se observa los valores de tamaño de grano del metal base y zona afectada por el calor difieren, se tiene un valor de tamaño de grano mayor en la zona afectada por el calor, lo cual contrasta con las micrografías tomadas en esta zona y con los valores de dureza medidos en la zona.

Se puede establecer la relación, que a mayor de tamaño de grano se determinado según ASTM E112, mayor será la dureza. Los valores se encuentran redondeados según las recomendaciones de la norma y por eso hay valores de tamaño de grano numéricamente similares entre la zona afectada por el calor y el metal base.

#### 4.4.3. Dureza

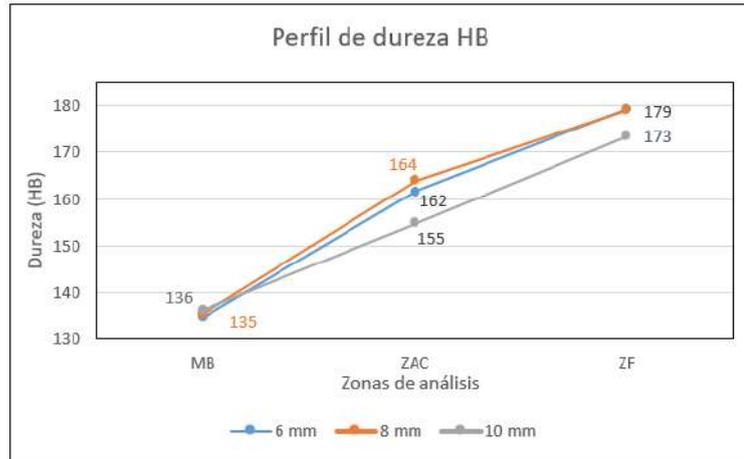
En función al procedimiento mencionado en la sección anterior, se procedió a medir la dureza en las 3 zonas establecidas, adicional a eso se obtuvo tres mediciones en cada zona y el promedio se muestra en la Tabla 13-4.

**Tabla 13-4:** Resultados de dureza HB

CODIFICACIÓN	ZONAS DE ANALISIS		
	METAL BASE	ZAC	ZONA DE FUSIÓN
<b>GMAW-150-6</b>	135	145	180
<b>GMAW-200-6</b>	133	166	185
<b>GMAW-237-6</b>	134	168	176
<b>GMAW-250-6</b>	137	168	176
<b>GMAW-150-8</b>	137	162	181
<b>GMAW-200-8</b>	137	165	175
<b>GMAW-250-8</b>	133	161	177
<b>GMAW-300-8</b>	135	168	183
<b>GMAW-200-10</b>	137	153	167
<b>GMAW-250-10</b>	135	164	177
<b>GMAW-300-10</b>	136	153	175
<b>GMAW-325-10</b>	137	149	175

Realizado por: Albán, David, 2022

Los valores presentados corresponden a los resultados promedio de dureza de cada zona, como se observa se obtuvo un valor de dureza mucho mayor en la zona de fusión, seguido de la zona afectada por el calor y por último de la zona del metal base, del mismo modo se puede construir el perfil de durezas en función al espesor y analizar los resultados, como se puede ver en la Ilustración 4-4.



**Ilustración 4-4:** Perfil de dureza HB

Realizado por: Albán, David, 2022

Los valores que se indican, corresponden al promedio de dureza obtenido por cada espesor, como se observa los valores de dureza en el metal base están muy próximos, obteniéndose una dureza en el metal base de 135 HB en los espesores de 6 y 8 mm, y de 136 HB en el espesor de 10 mm.

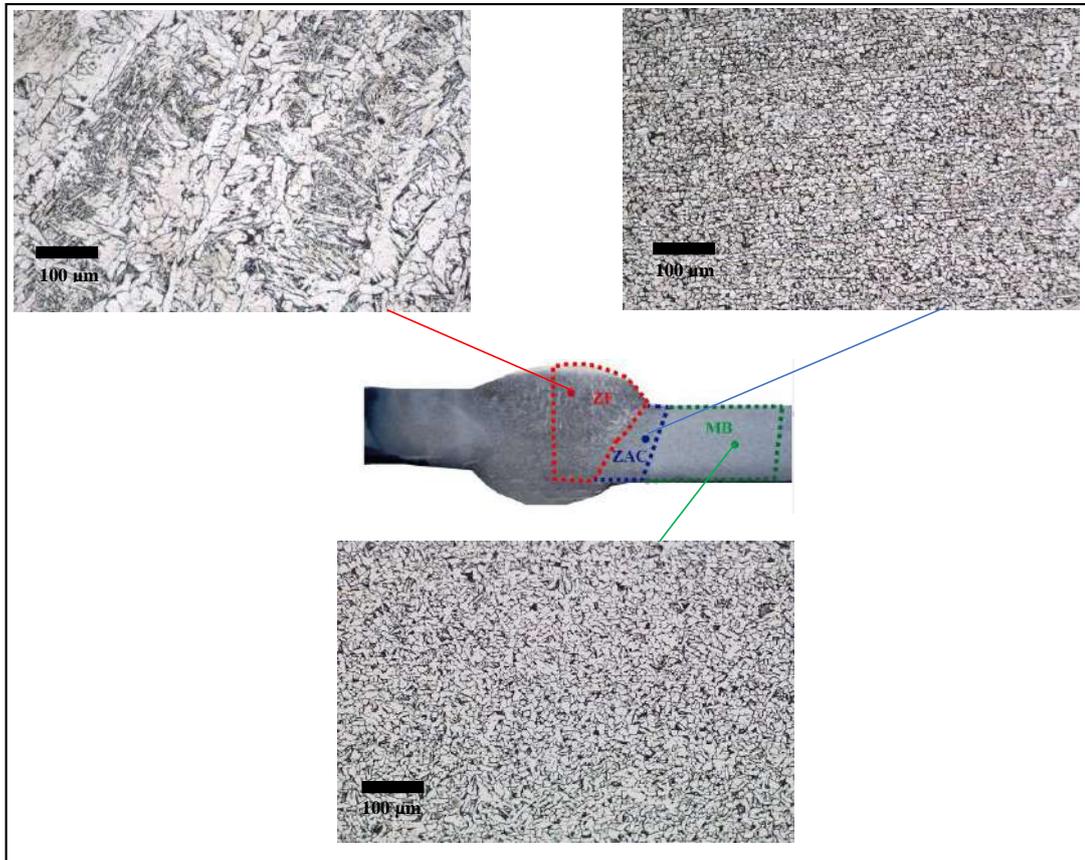
En la zona afectada por el calor se observa una variabilidad de los resultados entre la dureza de 155 HB obtenida en el espesor de 10 mm, con las durezas de 162 HB Y 164 HB obtenida en los espesores de 6 mm y 8 mm respectivamente, esto puede deberse a la localización de las indentaciones realizadas, conociendo que dentro de la ZAC existen varias zonas con diferentes microestructuras, las mismas que están en función a la cantidad de calor y a los tiempos de enfriamiento que tuvo en el proceso de soldadura.

En la zona de fusión se observa que existe gran similitud de los resultados, se obtuvo una dureza de 179 HB en los espesores de 6 mm y 8mm, y una dureza de 173 HB en el espesor de 10mm, determinándose así que el valor más alto de dureza se encuentra en la zona de fusión.

#### 4.4.4. Micrografías

Las micrografías fueron realizadas a un aumento de 10x en las siguientes zonas: ZF zona de fusión, ZAC zona afectada por el calor y MB zona del metal base

#### 4.4.4.1. Probeta GMAW-150-6



**Ilustración 5-4:** Micrografías probeta 150-6

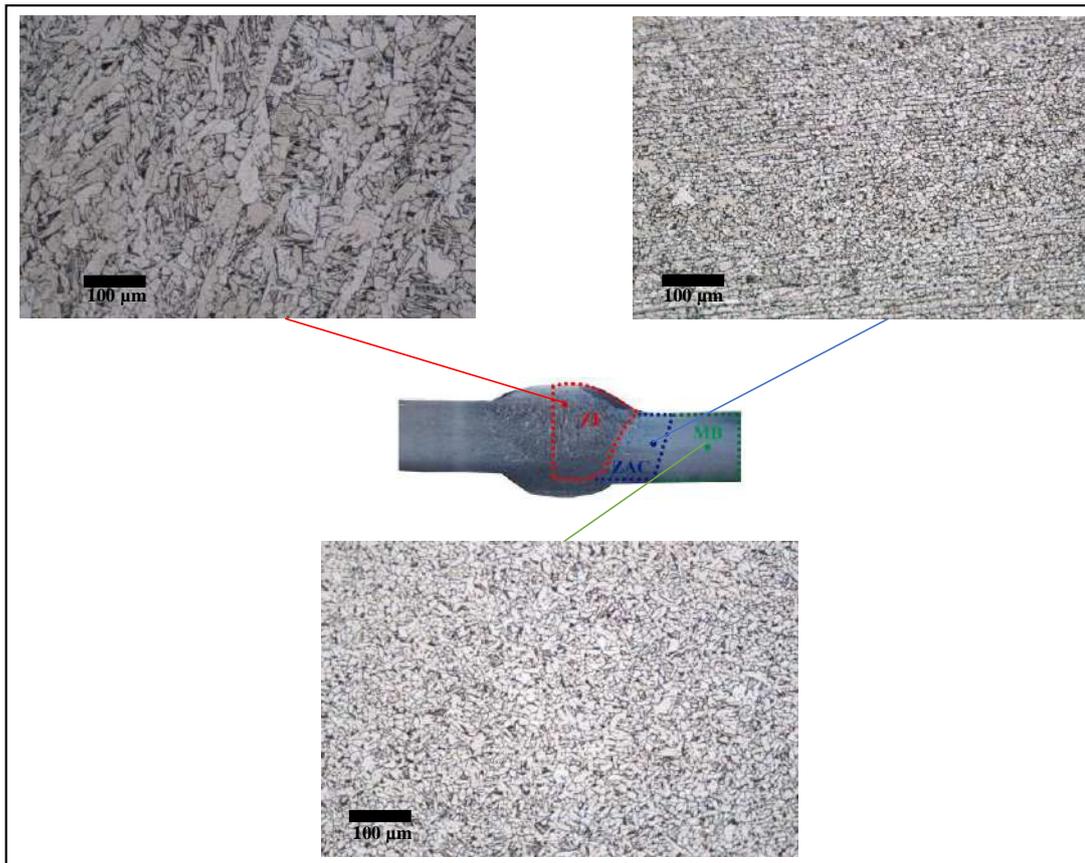
Realizado por: Albán, David, 2022

MB: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte negra es perlita, estructura característica de los aceros de bajo carbono.

ZAC: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte oscura perlita, se observa que existe una leve disminución del tamaño de grano esto debido a que la ZAC presenta varias microestructuras a lo largo de toda su longitud producto del calor, por la ubicación de donde se tomó la micrografía y la estructura que se obtuvo se deduce que es la fase de recrystalización de la ZAC, se observa además que los granos de perlita se encuentran alineados horizontalmente debido a la adicción de calor y al laminado en caliente del material.

ZF: se observa la presencia de ferrita acicular, estructuras en forma de aguja, así como la estructura ferrítica de Widmanstätten en forma de granos desordenados, se observa además la presencia de inclusiones (puntos negros).

#### 4.4.4.2. Probeta GMAW-200-6



**Ilustración 6-4:** Micrografías probeta 200-6

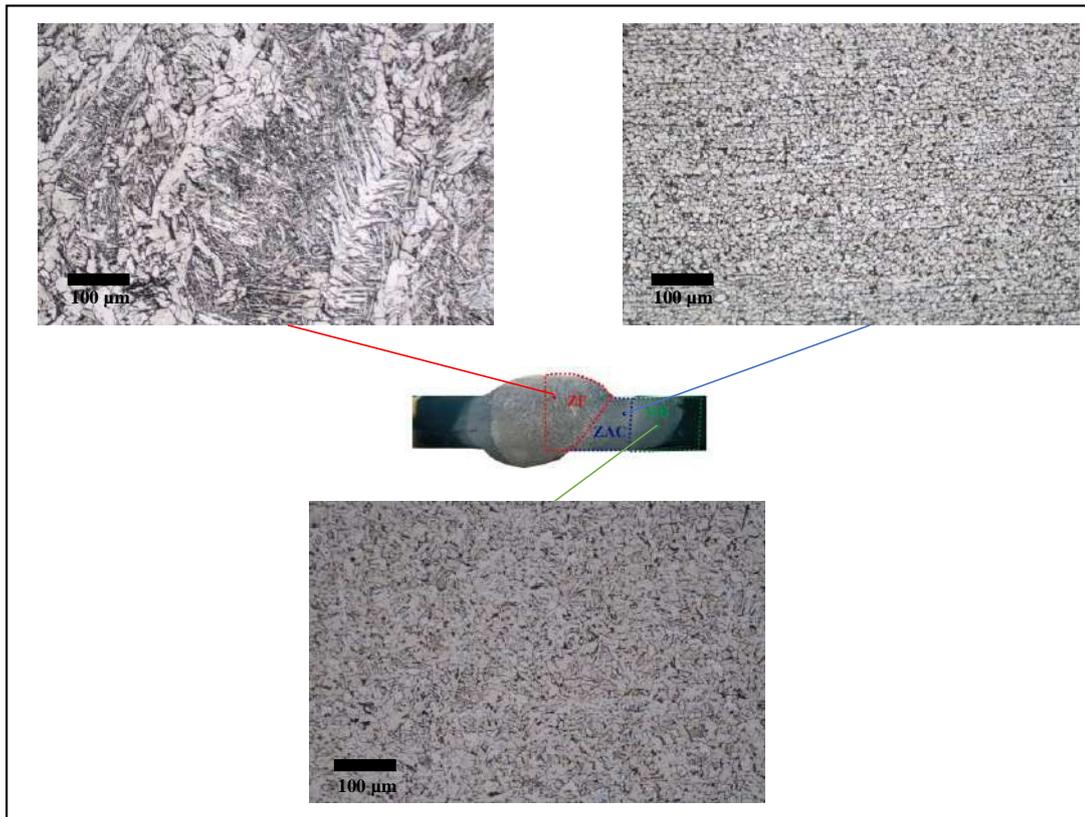
Realizado por: Albán, David, 2022

MB: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte negra es perlita, estructura característica de los aceros de bajo carbono.

ZAC: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte oscura perlita, se observa que existe una leve disminución del tamaño de grano esto debido a que la ZAC presenta varias microestructuras a lo largo de toda su longitud producto del calor, por la ubicación de donde se tomó la micrografía y la estructura que se obtuvo se deduce que es la fase de recristalización de la ZAC, se observa además que los granos de perlita se encuentran alineados horizontalmente debido a la adición de calor y al laminado en caliente del material.

ZF: se observa la presencia de ferrita acicular, estructuras en forma de aguja, así como la estructura ferrítica de Widmanstätten en forma de granos desordenados, se observa además la presencia de inclusiones (puntos negros).

#### 4.4.4.3. Probeta GMAW-237-6



**Ilustración 7-4:** Micrografías probeta 237-6

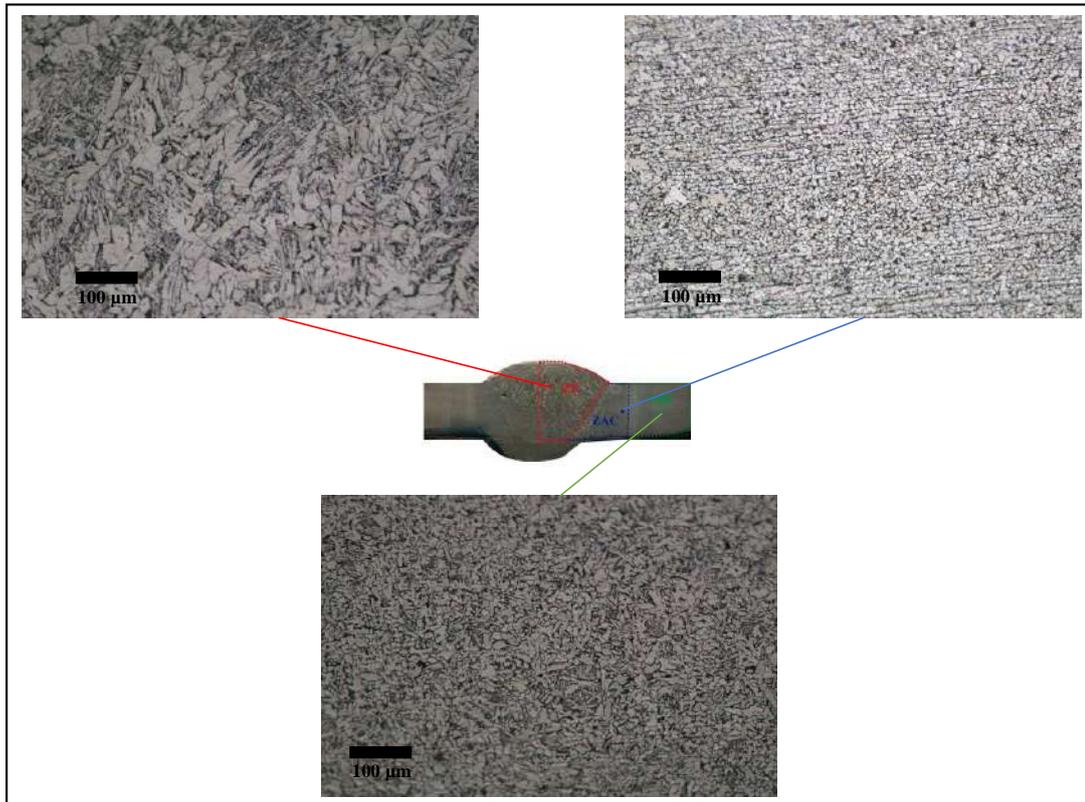
Realizado por: Albán, David, 2022

MB: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte negra es perlita, estructura característica de los aceros de bajo carbono.

ZAC: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte oscura perlita, se observa que existe una leve disminución del tamaño de grano esto debido a que la ZAC presenta varias microestructuras a lo largo de toda su longitud producto del calor, por la ubicación de donde se tomó la micrografía y la estructura que se obtuvo se deduce que es la fase de recrystalización de la ZAC, se observa además que los granos de perlita se encuentran alineados horizontalmente debido a la adicción de calor y al laminado en caliente del material.

ZF: se observa la presencia de ferrita acicular, estructuras en forma de aguja, así como la estructura ferrítica de Widmanstätten en forma de granos desordenados, se observa además la presencia de inclusiones (puntos negros).

#### 4.4.4.4. Probeta GMAW-250-6



**Ilustración 8-4:** Micrografías probeta 250-6

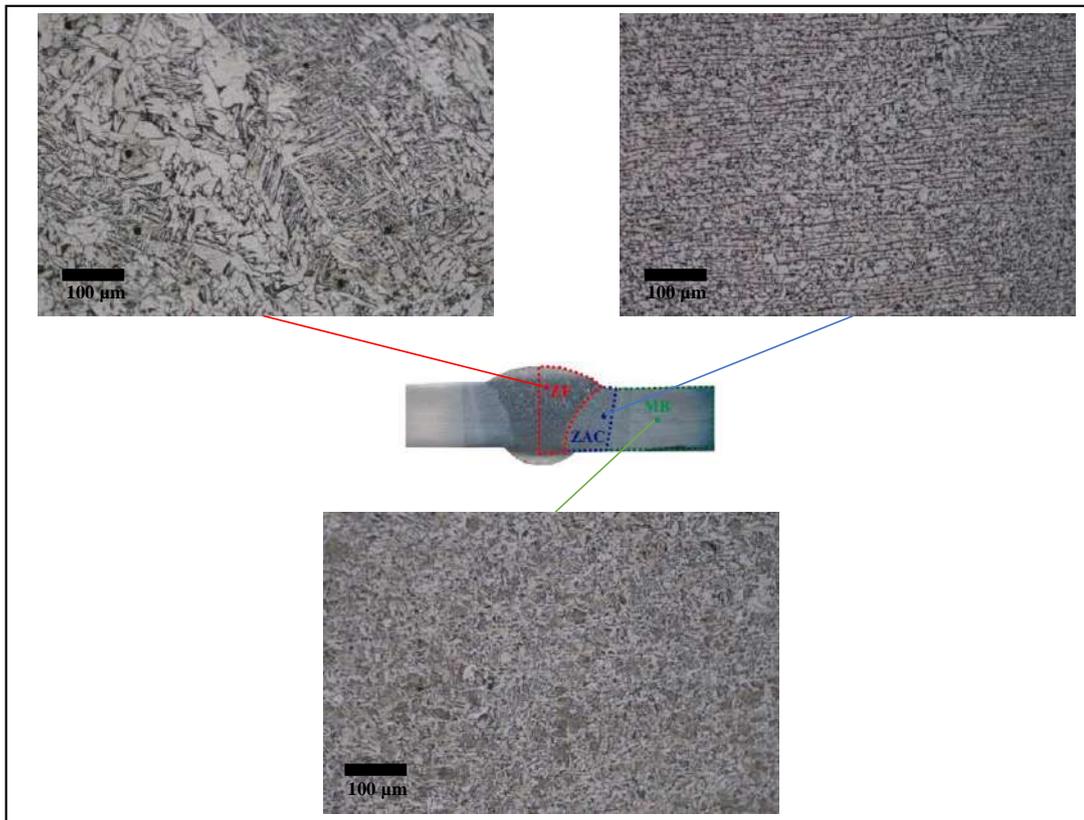
Realizado por: Albán, David, 2022

MB: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte negra es perlita, estructura característica de los aceros de bajo carbono.

ZAC: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte oscura perlita, se observa que existe una leve disminución del tamaño de grano esto debido a que la ZAC presenta varias microestructuras a lo largo de toda su longitud producto del calor, por la ubicación de donde se tomó la micrografía y la estructura que se obtuvo se deduce que es la fase de recrystalización de la ZAC, se observa además que los granos de perlita se encuentran alineados horizontalmente debido a la adicción de calor y al laminado en caliente del material.

ZF: se observa la presencia de ferrita acicular, estructuras en forma de aguja, así como la estructura ferrítica de Widmanstatten en forma de granos desordenados, se observa además la presencia de inclusiones (puntos negros), este tipo de estructura se observa solo en las partes más altas del cordón de soldadura.

#### 4.4.4.5. Probeta GMAW-150-8



**Ilustración 9-4:** Micrografías probeta 150-8

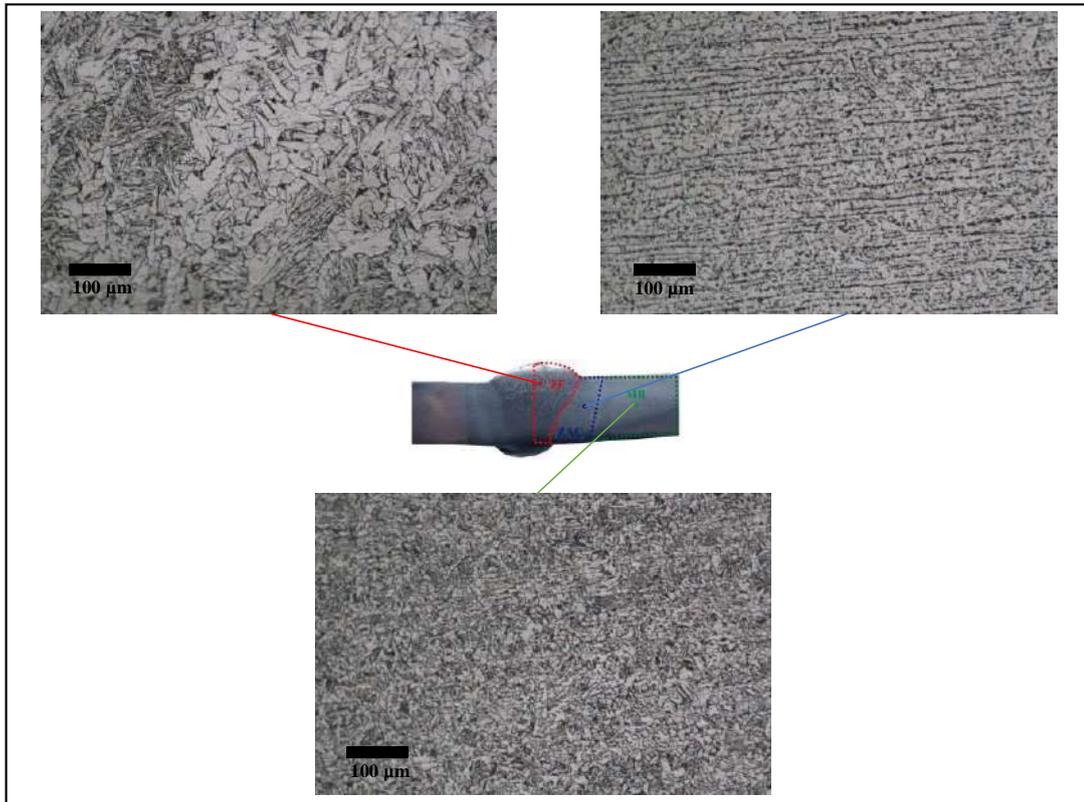
**Realizado por:** Albán, David, 2022

MB: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte negra es perlita, estructura característica de los aceros de bajo carbono.

ZAC: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte oscura perlita, se observa que existe una leve disminución del tamaño de grano esto debido a que la ZAC presenta varias microestructuras a lo largo de toda su longitud producto del calor, por la ubicación de donde se tomó la micrografía y la estructura que se obtuvo se deduce que es la fase de recristalización de la ZAC, se observa además que los granos de perlita se encuentran alineados horizontalmente debido a la adicción de calor y al laminado en caliente del material.

ZF: se observa la presencia de ferrita acicular, estructuras en forma de aguja, así como la estructura ferrítica de Widmanstätten en forma de granos desordenados, se observa además la presencia de inclusiones (puntos negros), este tipo de estructura se observa solo en las partes más altas del cordón de soldadura.

#### 4.4.4.6. Probeta GMAW-200-8



**Ilustración 10-4:** Micrografías probeta 200-8

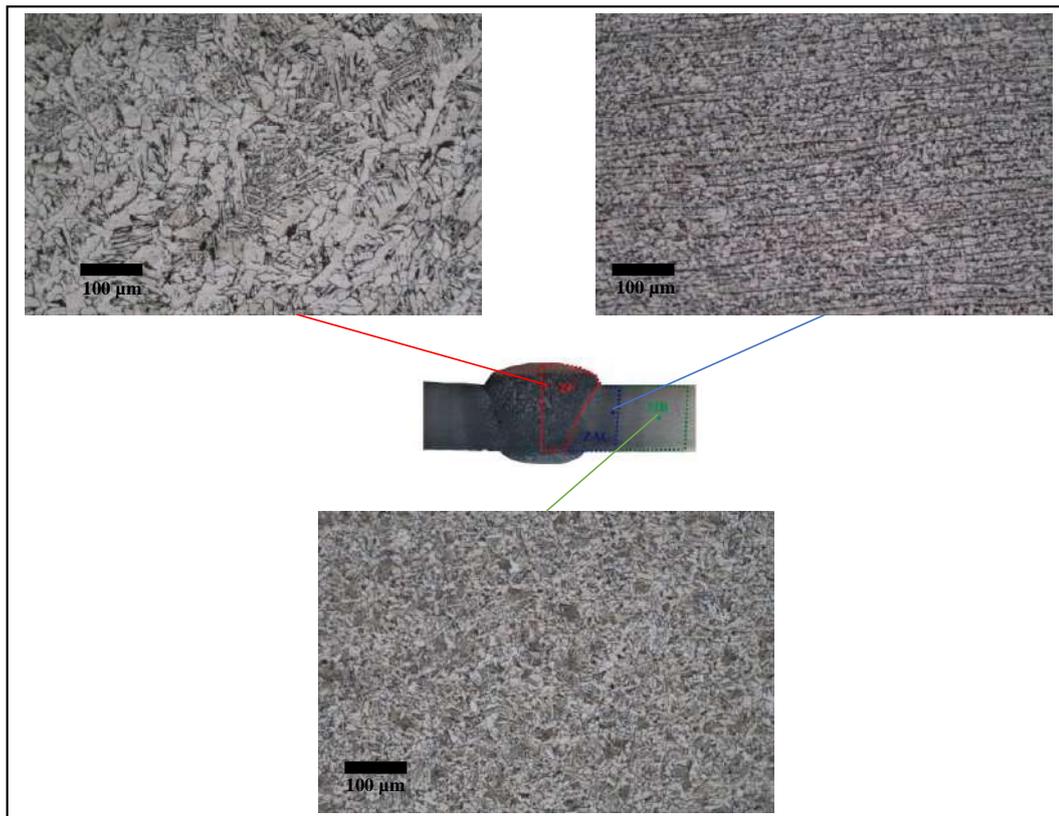
**Realizado por:** Albán, David, 2022

**MB:** se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte negra es perlita, estructura característica de los aceros de bajo carbono.

**ZAC:** se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte oscura perlita, se observa que existe una leve disminución del tamaño de grano esto debido a que la ZAC presenta varias microestructuras a lo largo de toda su longitud producto del calor, por la ubicación de donde se tomó la micrografía y la estructura que se obtuvo se deduce que es la fase de recrystalización de la ZAC, se observa además que los granos de perlita se encuentran alineados horizontalmente debido a la adicción de calor y al laminado en caliente del material.

**ZF:** se observa la presencia de ferrita acicular, estructuras en forma de aguja, así como la estructura ferrítica de Widmanstätten en forma de granos desordenados, se observa además la presencia de inclusiones (puntos negros), este tipo de estructura se observa solo en las partes más altas del cordón de soldadura.

#### 4.4.4.7. Probeta GMAW-250-8



**Ilustración 11-4:** Micrografías probeta 250-8

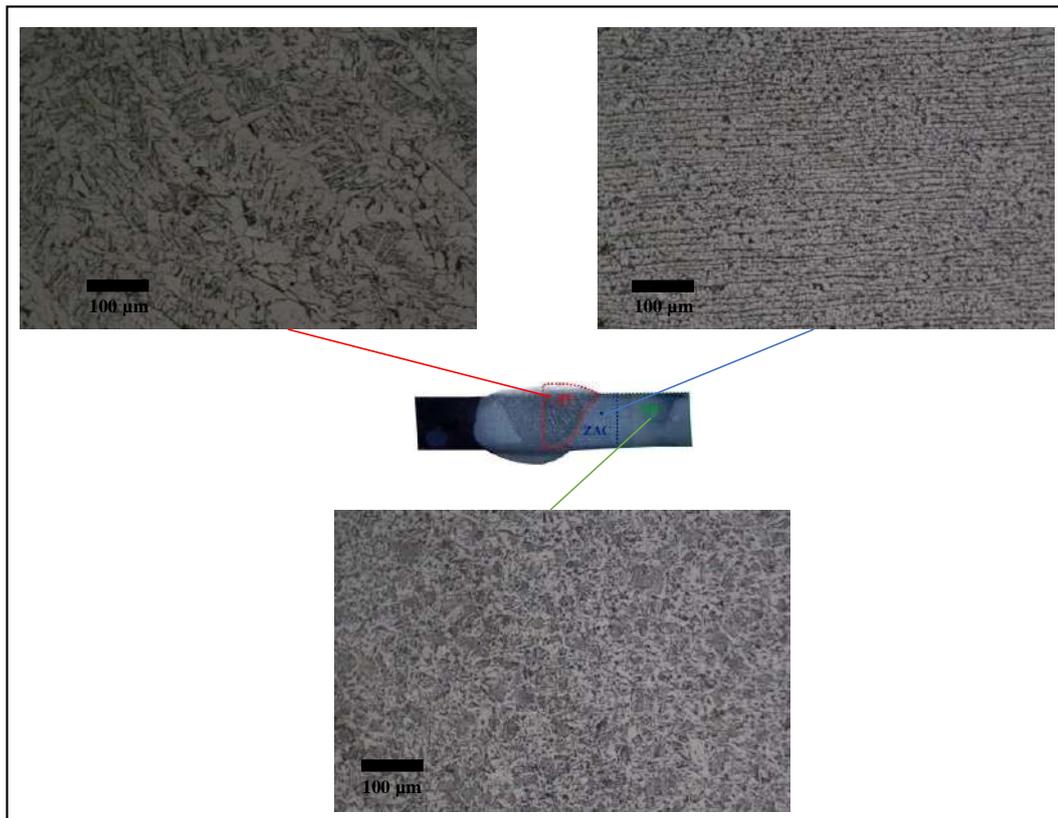
Realizado por: Albán, David, 2022

MB: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte negra es perlita, estructura característica de los aceros de bajo carbono.

ZAC: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte oscura perlita, se observa que existe una leve disminución del tamaño de grano esto debido a que la ZAC presenta varias microestructuras a lo largo de toda su longitud producto del calor, por la ubicación de donde se tomó la micrografía y la estructura que se obtuvo se deduce que es la fase de recrystalización de la ZAC, se observa además que los granos de perlita se encuentran alineados horizontalmente debido a la adicción de calor y al laminado en caliente del material.

ZF: se observa la presencia de ferrita acicular, estructuras en forma de aguja, así como la estructura ferrítica de Widmanstätten en forma de granos desordenados, se observa además la presencia de inclusiones (puntos negros), este tipo de estructura se observa solo en las partes más altas del cordón de soldadura.

#### 4.4.3.8. Probeta GMAW-300-8



**Ilustración 12-4:** Micrografías probeta 300-8

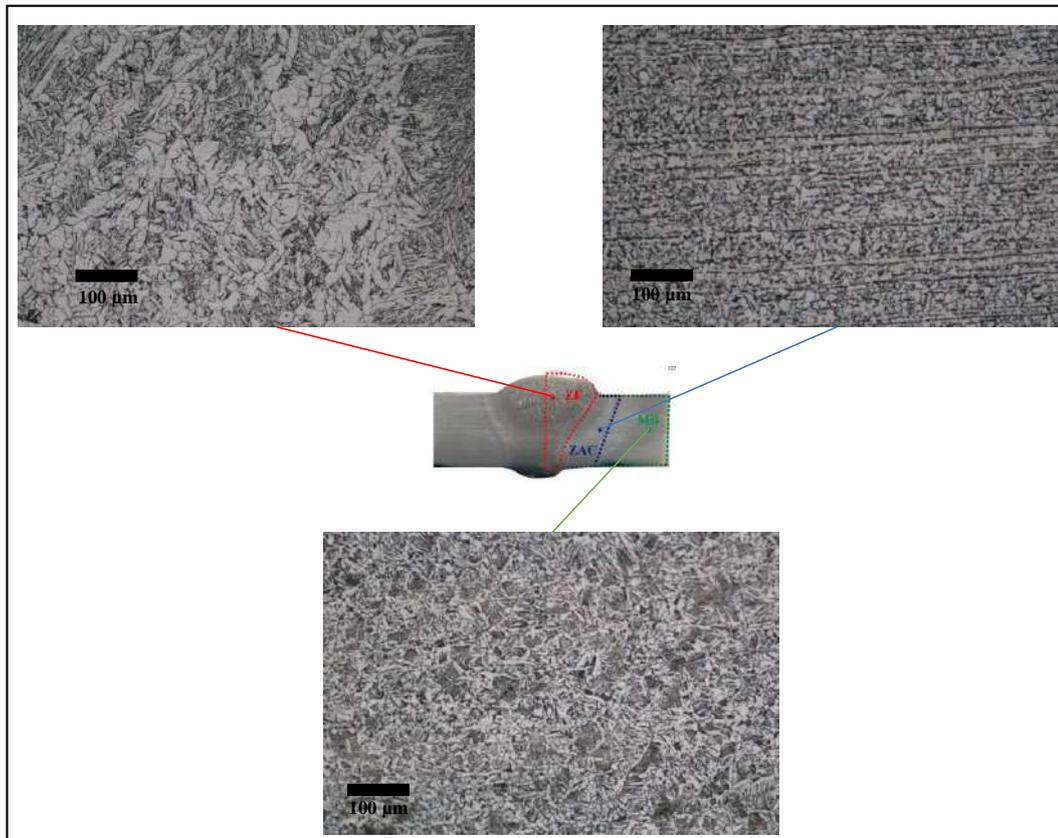
Realizado por: Albán, David, 2022

MB: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte negra es perlita, estructura característica de los aceros de bajo carbono.

ZAC: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte oscura perlita, se observa que existe una leve disminución del tamaño de grano esto debido a que la ZAC presenta varias microestructuras a lo largo de toda su longitud producto del calor, por la ubicación de donde se tomó la micrografía y la estructura que se obtuvo se deduce que es la fase de recristalización de la ZAC, se observa además que los granos de perlita se encuentran alineados horizontalmente debido a la adicción de calor y al laminado en caliente del material.

ZF: se observa la presencia de ferrita acicular, estructuras en forma de aguja, así como la estructura ferrítica de Widmanstätten en forma de granos desordenados, se observa además la presencia de inclusiones (puntos negros), este tipo de estructura se observa solo en las partes más altas del cordón de soldadura.

#### 4.4.4.9. Probeta GMAW-200-10



**Ilustración 13-4:** Micrografías probeta 200-10

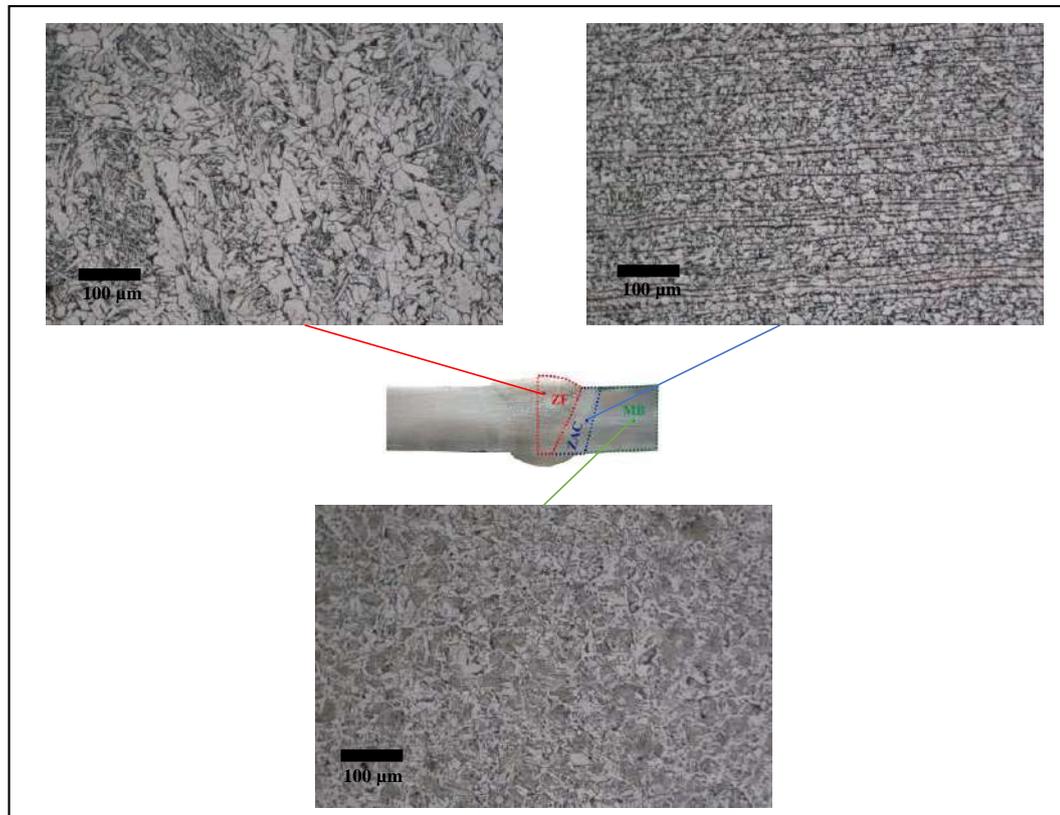
**Realizado por:** Albán, David, 2022

MB: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte negra es perlita, estructura característica de los aceros de bajo carbono.

ZAC: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte oscura perlita, se observa que existe una leve disminución del tamaño de grano esto debido a que la ZAC presenta varias microestructuras a lo largo de toda su longitud producto del calor, por la ubicación de donde se tomó la micrografía y la estructura que se obtuvo se deduce que es la fase de recristalización de la ZAC, se observa además que los granos de perlita se encuentran alineados horizontalmente debido a la adicción de calor y al laminado en caliente del material.

ZF: se observa la presencia de ferrita acicular, estructuras en forma de aguja, así como la estructura ferrítica de Widmanstätten en forma de granos desordenados, se observa además la presencia de inclusiones (puntos negros), este tipo de estructura se observa solo en las partes más altas del cordón de soldadura.

#### 4.4.4.10. Probeta GMAW-250-10



**Ilustración 14-4:** Micrografías probeta 250-10

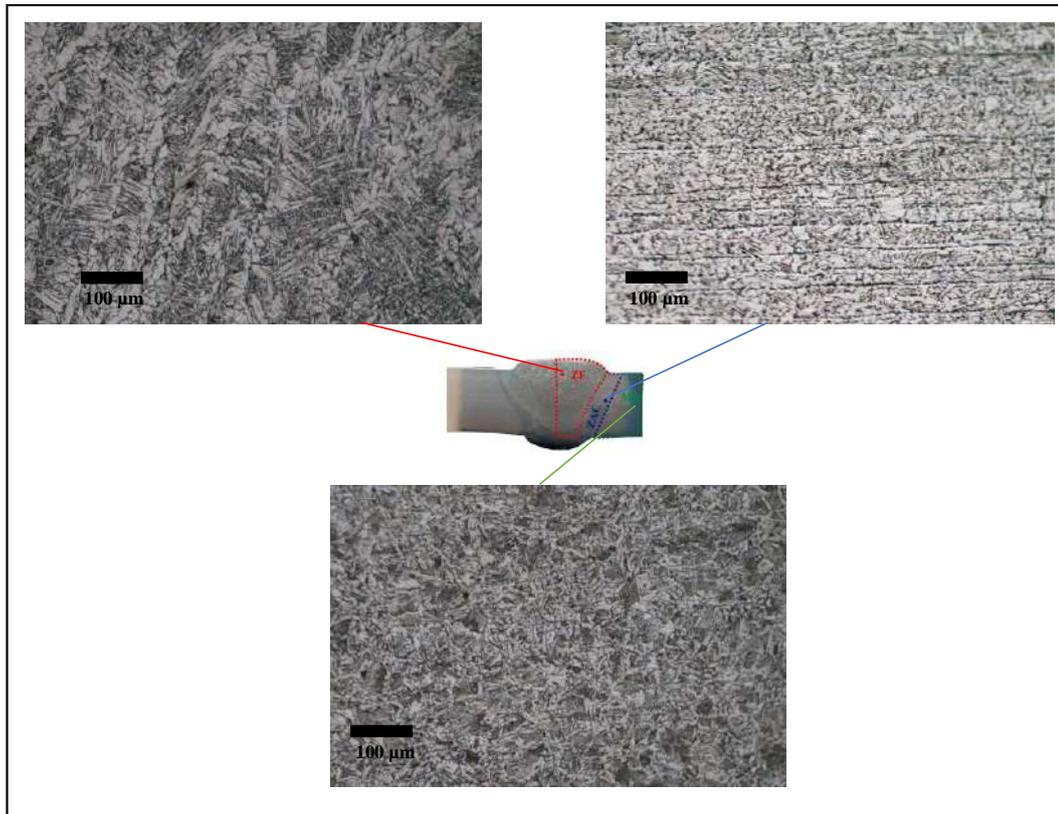
**Realizado por:** Albán, David, 2022

MB: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte negra es perlita, estructura característica de los aceros de bajo carbono.

ZAC: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte oscura perlita, se observa que existe una leve disminución del tamaño de grano esto debido a que la ZAC presenta varias microestructuras a lo largo de toda su longitud producto del calor, por la ubicación de donde se tomó la micrografía y la estructura que se obtuvo se deduce que es la fase de recrystalización de la ZAC, se observa además que los granos de perlita se encuentran alineados horizontalmente debido a la adicción de calor y al laminado en caliente del material.

ZF: se observa la presencia de ferrita acicular, estructuras en forma de aguja, así como la estructura ferrítica de Widmanstätten en forma de granos desordenados, se observa además la presencia de inclusiones (puntos negros), este tipo de estructura se observa solo en las partes más altas del cordón de soldadura.

#### 4.4.4.11. Probeta GMAW-300-10



**Ilustración 15-4:** Micrografías probeta 300-10

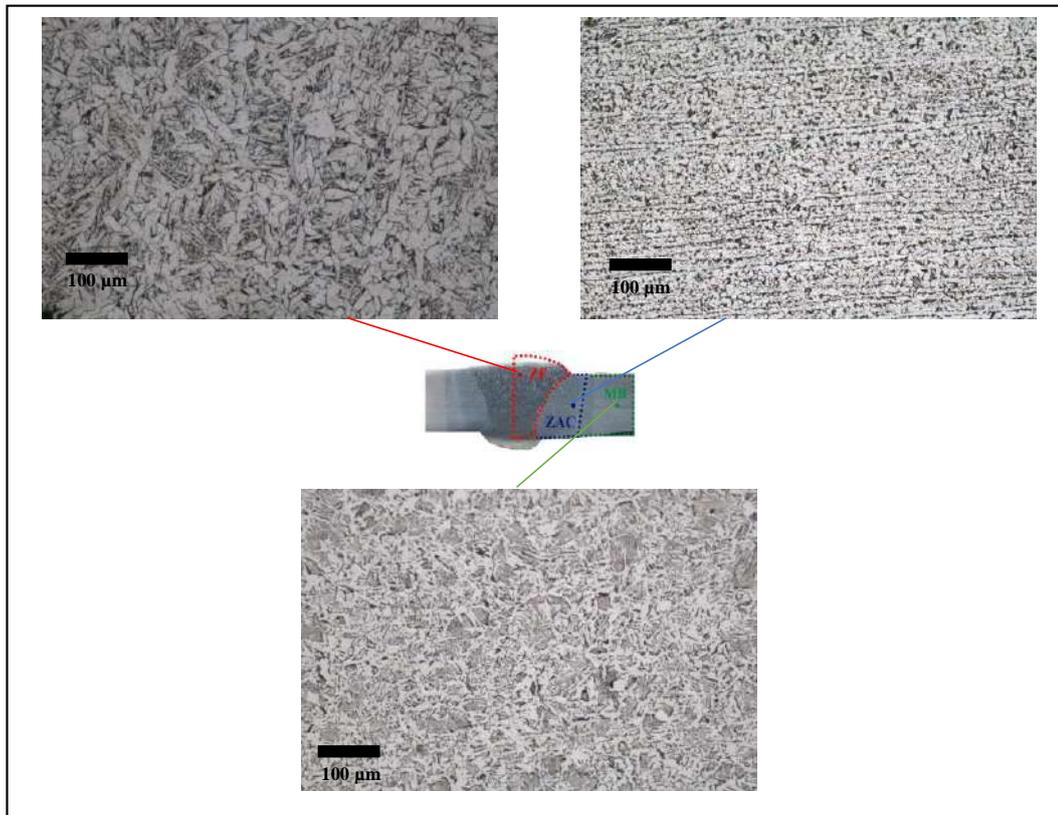
Realizado por: Albán, David, 2022

MB: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte negra es perlita, estructura característica de los aceros de bajo carbono.

ZAC: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte oscura perlita, se observa que existe una leve disminución del tamaño de grano esto debido a que la ZAC presenta varias microestructuras a lo largo de toda su longitud producto del calor, por la ubicación de donde se tomó la micrografía y la estructura que se obtuvo se deduce que es la fase de recrystalización de la ZAC, se observa además que los granos de perlita se encuentran alineados horizontalmente debido a la adicción de calor y al laminado en caliente del material.

ZF: se observa la presencia de ferrita acicular, estructuras en forma de aguja, así como la estructura ferrítica de Widmanstätten en forma de granos desordenados, se observa además la presencia de inclusiones (puntos negros), este tipo de estructura se observa solo en las partes más altas del cordón de soldadura.

#### 4.4.4.12. Probeta GMAW-325-10



**Ilustración 16-4:** Micrografías probeta 325-10

Realizado por: Albán, David, 2022

MB: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte negra es perlita, estructura característica de los aceros de bajo carbono.

ZAC: se observa una matriz ferrítica-perlítica, en donde la parte blanca es ferrita y la parte oscura perlita, se observa que existe una leve disminución del tamaño de grano esto debido a que la ZAC presenta varias microestructuras a lo largo de toda su longitud producto del calor, por la ubicación de donde se tomó la micrografía y la estructura que se obtuvo se deduce que es la fase de recrystalización de la ZAC, se observa además que los granos de perlita se encuentran alineados horizontalmente debido a la adicción de calor y al laminado en caliente del material.

ZF: se observa la presencia de ferrita acicular, estructuras en forma de aguja, así como la estructura ferrítica de Widmanstatten en forma de granos desordenados, se observa además la presencia de inclusiones (puntos negros), este tipo de estructura se observa solo en las partes más altas del cordón de soldadura.

## CONCLUSIONES

Se observó que existe una relación directamente proporcional entre la velocidad de alimentación del alambre con el amperaje, de igual manera se puede establecer que la máquina soldadora al ser de voltaje constante, minimiza las variaciones de voltaje compensándolos con incrementos y reducciones en el amperaje, lo que explica la amplia variación de estos valores durante el proceso de soldado.

Por medio del ensayo de ultrasonido se determinó que cordones presentaron discontinuidades, las mismas que generalmente se localizaron cerca de la zona de la raíz, lo que indica una falta de penetración, influyendo directamente en el resultado de los ensayos de las probetas obtenidas.

Se determinó que los valores de resistencia a la tracción del metal base fueron de: 62.5 ksi, 68 ksi y 69,5 ksi para los espesores de 6mm, 8mm y 10mm respectivamente, las probetas ensayadas que sufrieron la fractura en la ZAC o en zona de fusión, tuvieron valores menores de resistencia a la tracción, lo que señala que la combinación de parámetros no era la adecuada.

Se observó que para una velocidad de alimentación del alambre de 250 IPM se obtuvo buenos resultados independientemente del espesor del material, siendo los rangos de voltaje y amperaje utilizados, de: (185 a 215) amperios y (22,9 a 25,7) voltios comprendidos entre el pase de raíz y pase final.

La dureza obtenida en las zonas de análisis está en función al tamaño de grano que esta presenta, aun tamaño menor de grano corresponderá un valor de dureza mayor, en concordancia con los valores de dureza de cada zona y el tamaño de grano observado en las micrografías.

Se observó en el perfil de dureza con tendencia al incremento, obteniéndose en el metal base una dureza de 135 HB, en la ZAC de 160 HB y en la zona de fusión de 177 HB, por lo que se afirma que este proceso brinda una dureza más alta en la zona de fusión.

En términos generales el proceso GMAW, es un proceso con tiempos de soldado más rápidos, produce poca escoria, con una buena selección de parámetros se evitan discontinuidades que generalmente aparecen en otros procesos, posee alimentación continua del metal de aporte, en el cordón de soldadura se aprecian valores de resistencia a la tracción superiores a los del metal base, de igual manera se presentan valores de dureza superiores, sin perder la ductilidad.

## **RECOMENDACIONES**

Se sugiere establecer las variables del proceso de soldadura en función al grado tecnológico de la máquina utilizada para soldar y en función al control que podamos tener de las mismas, se puede involucrar más parámetros en las combinaciones e indicar las relaciones que se producen entre ellos.

Se recomienda analizar la combinación de parámetros con una velocidad de alimentación del alambre de 250 IPM, dado que este valor con distintos valores de voltaje y amperaje, presentaron buenas propiedades en el cordón en los tres espesores.

Como complemento a esta investigación se puede analizar las distintas estructuras presentes en la zona de fusión, puesto que dependiendo de las temperaturas que se alcanza mientras se realizan los distintos pases en el cordón, se producen distintas estructuras con propiedades diferentes.

Se recomienda analizar la zona afectada por el calor y establecer todas las fases presentes en la misma, comparando sus estructuras y las propiedades que estas presentan.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ALONSO, C.** *Manual de prácticas de soldadura* [En Línea]. Barcelona-España: Cano pina, 2014 [Consulta: 13 noviembre 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esepoch/43058>

**ARRIAGA, L & y ZARATE, L.** *Procesos de soldadura* [En Línea]. D.F-México: Instituto Politécnico Nacional, 2008 [Consulta: 11 noviembre 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esepoch/74742>

**ASKELAND, D, FULAY, P, y WRIGHT, W.** *Ciencia e Ingeniería de los Materiales* [en línea]. 6.<sup>a</sup> ed. México D.F-México: Impresos Vacha, 2013. [Consulta: 03 noviembre 2021]. Disponible en: <https://osvaldoweb.files.wordpress.com/2016/04/ciencia-e-ingenieria-de-materiales-sexta-edicion3b3n.pdf>

**ASTA, E.** *Criterios técnicos básicos para una adecuada soldadura de los aceros estructurales* [En Línea]. ESAB-CONARCO. 2007. [Consulta: 13 noviembre 2021]. Disponible en: [https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/boletin\\_soldar/upload/boletin\\_tecnico\\_129.pdf](https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/boletin_soldar/upload/boletin_tecnico_129.pdf)

**ASTM International,** ASTM E3-11: Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. 2017. 12 pp.

**AWS,** AWS A5.18: Specification for carbon steel electrodes and rods for gas shielded arc welding. 2005. 44 pp.

**AWS,** AWS D1.1: Structural Welding Code-Steel. 2010. 470 pp.

**BEARCAT.** La soldadura por resistencia por Puntos [blog]. Barcelona-España, 2020. [Consulta: 13 noviembre 2021]. Disponible en: <https://bearcat.es/blog/2020/12/17/la-soldadura-por-resistencia-por-puntos/>

**BLANCO GARCIA, Orlando & CEPEDA GÓMEZ, Elmer.** Efecto de la variación de temperatura entre pases en el acero al carbono ASTM A 106 Grado B [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Libre, Bogotá, Colombia. 2015. 56 pp. [Consulta: 2021-11-13]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10901/8452>

**BRUKER.** Productos y Soluciones [En Línea]. 2022. [Consulta: 13 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.bruker.com/es/products-and-solutions/elemental-analyzers/optical-emission-spectrometers/q2-ion.html>

**CAPA GUACHÓN, Vicente Eduardo.** Diseño de Conexiones Soldadas [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2009. 169 pp. [Consulta: 2021-11-13]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8497>

**CARDON.** Measuring & Inspection [En Línea]. 2022. [Consulta: 13 noviembre 2022]. Disponible en: <https://cardontools.com/shop/mitutoyo-toolmakers-microscope-tm-101-made-in-japan/>

**CERVERA, M & BLANCO, E.** Resistencia de Materiales [en línea]. Barcelona-España: [s.n.], 2015. [Consulta: 08 noviembre 2021]. Disponible en: <http://cervera.rmee.upc.edu/libros/Resistencia%20de%20Materiales.pdf>

**COLLANTES CUMBAL, Silvia Elizabeth & SÁNCHEZ ROSAS, Mauricio Fernando.** Estudio del comportamiento de las juntas soldadas utilizando acero HSLA con el proceso gas metal arc welding (GMAW) en la fabricación de vehículos de transporte de pasajeros [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2019. 199 pp. [Consulta: 2021-11-19]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20413>

**DE LA CRUZ TORRES, Ramiro & MUÑOZ VELASCO, Germán.** Efecto de los parámetros de soldeo con el proceso GMAW robotizado en un acero ASTM A-36 [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Libre, Bogotá, Colombia. 2019. 89 pp. [Consulta: 2021-11-19]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10901/15854>

**DIRECT INDUSTRY.** Leader Precision Instrument Co. Ltd [En Línea]. 2022. [Consulta: 13 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/leader-precision-instrument-co-ltd/product-99497-1576942.html>

**ENCARNACIÓN VERA, Jorge Vladimir.** Dotación de Infraestructura Básica en Laboratorio para Realizar Metalografía de campo mediante replicas [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. 2013. 160 pp. [Consulta: 2021-11-10]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/25401>

**ENTRENA, F.J.** *Soldadura MAG de estructuras de acero al carbono* [En Línea]. Antequera-España: IC Editorial, 2013 [Consulta: 14 noviembre 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/45007>

**EQUIPOS Y LABORATORIO DE COLOMBIA.** Microscopio metalográfico [en línea]. 2021.[Consulta: 2021-11-09]. Disponible en: <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/microscopio-metalografico>

**ESAB.** Guía de Gases de Protección para Soldadura [blog]. 2021. [Consulta: 14 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/gases-de-proteccion-para-soldadura.cfm>

**ESPINOZA DE LA VEGA, Karla Mishelle & PAZMIÑO GUEVARA, Esteban Mauricio.** Evaluación experimental de las propiedades mecánicas de los aceros estructurales, a-36, a-572 y a-588, para la obtención de los diagramas de esfuerzo-deformación [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. 2019. pp. 15-53. [Consulta: 2021-11-02]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/17648>

**FALAGAN CASADO, Gonzalo.** Riesgos laborales en los procesos de soldadura por fusión [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad de León, España. 2019. 129 pp. [Consulta: 2021-11-13]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10612/11271>

**FEDERACIÓN DE ENSEÑANZA CC.OO. DE ANDALUCIA,** Materiales de aportación, Revista digital para profesionales de la enseñanza [en línea], 2010, (España), pp. 1-12. [Consulta: 11 noviembre 2021]. ISSN 1989-4023. Disponible en: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd7564.pdf>

**GARCÍA FERNÁNDEZ, Oscar Giovanni.** Aplicación para dar a conocer los elementos y acciones básicas de soldadura por arco eléctrico manual desde virtualidad aumentada [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2020. 31 pp. [Consulta: 2021-11-10]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12209/13166>

**GOMES, Antonio José de Carvalho, QUEIROZ, Samuel Soares, Jorge, Jorge Carlos Ferreira, SOUZA, Luís Felipe Guimarães de; MENDES, Matheus Campolina, ARAUJO, Leonardo Sales.** “Propriedades mecânicas e microestrutura de metais de solda de alta resistência obtidos pelos processos GMAW e SMAW”. ABM Annual Congress [en línea], 2017, (Brazil)

72(1), pp. 1177-1186. [Consulta: 20 noviembre 2021]. ISSN 2594-5327. Disponible en: DOI 10.5151/1516-392X-30429

**GOMEZ GALVIS, Javier Andrés.** Desarrollo de prácticas profesionales para realización de actividades de mantenimiento preventivo y cumplimiento de funciones del rol de auxiliar en el laboratorio de resistencia de materiales y metalografía de las unidades tecnológicas de. Santander [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Unidades Tecnológicas de Santander, Bucaramanga, Colombia. 2019. pp. 13-14. [Consulta: 2021-11-09]. Disponible en: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/1374>

**HARDINGE.** Serie 1 [En Línea]. 2022. [Consulta: 13 noviembre 2022]. Disponible en: [https://es.hardinge.com/wp-content/uploads/1330J\\_BridgeportSeriesI.pdf](https://es.hardinge.com/wp-content/uploads/1330J_BridgeportSeriesI.pdf)

**HIBBELER, R. C.** *Mecánica de Materiales*. 8.<sup>a</sup> ed. México D.F-México: Pearson Educación, 2011, ISBN (978-607-32-0559-7), pp. 65-130.

**ICAZA LLUGLLA, Alfredo Adrián.** Validación QA/QC (Quality Assurance/ Quality Control) Del Proceso De Soldadura Por Arco De Metal y Gas GMAW, Utilizado en la Construcción De Estructuras Metálicas y/o Auto Partes Estructurales para Carrocerías de Buses en la Industria Ecuatoriana [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador. 2019. 126 pp. [Consulta: 2021-11-13]. Disponible en: <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3304>

**INDURA.** Manual de Sistema y Materiales y Soldadura [En Línea]. Santiago de Chile-Chile: Ograma, 2007. [Consulta: 11 noviembre 2021]. Disponible en: <http://www.indura.com.ar/content/storage/ar/biblioteca/57635ba3431f41aea58748d4662f578b.pdf>

**KOIKE.** Máquinas CNC [En Línea]. 2021. [Consulta: 25 diciembre 2021]. Disponible en: [https://www.koike-europe.com/en/Portable\\_Cutting\\_Machines/PNC-12\\_Extreme](https://www.koike-europe.com/en/Portable_Cutting_Machines/PNC-12_Extreme)

**KALPAKJIAN, S & SCHMID, S. R.** *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. 5.<sup>a</sup> ed. Mexico: Pearson Educación, 2008, ISBN (978-970-26-1026-7), pp. 936-1034.

**LINCH PEÑA, Cesar Manuel.** Modelado del proceso de soldadura por fricción rotativa [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional De Trujillo, Trujillo, Perú. 2021.

pp. 4-11. [Consulta: 2021-11-13]. Disponible en:  
<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/18172>

**LINCOLN ELECTRIC.** Soldadora Multiprocesos [En Línea]. 2022. [Consulta: 13 noviembre 2022]. Disponible en: [https://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/K2437-2/e591\\_Invertec\\_V350\\_PRO\\_ES-MX.pdf](https://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/K2437-2/e591_Invertec_V350_PRO_ES-MX.pdf)

**MAYANZA BALLA, Janneth Alexandra & TUQUINGA SAGÑAY, Gricelda Patricia.** Análisis del comportamiento termo mecánico de la junta soldada tipo k, aplicada en la fabricación de carrocería de autobuses interprovinciales [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. 109 pp. [Consulta: 2021-11-13]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9930>

**MEDINA GUAMAN, Erika Pahola & VACA GUADALUPE, Ronald Patricio.** Estudio de los efectos de la temperatura de precalentamiento sobre la microestructura y propiedades mecánicas de aceros ASTM A36 y ASTM 572 GR. 50 soldados mediante proceso SMAW [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2020. pp. 21-180. [Consulta: 2021-11-02]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14527>

**MESS.** Detector de fallas SIUI CTS-9005 [En Línea]. 2022. [Consulta: 13 noviembre 2022]. Disponible en: <https://messmedicion.com.ar/productos/ultrasonido-phased-array/detectores-de-fallas/detector-de-fallas-con-scan-a-y-b-cts-9005/#:~:text=Caracter%C3%ADsticas%20superiores%3A%20Velocidad%20de%20muestreo,durante%20la%20detecci%C3%B3n%20de%20fallas.>

**MYKYROD. Alcavil:** Soldadura por Resistencia [en línea]. México, 2015. [Consulta: 2021-11-12]. Disponible en: <https://www.alcavil.com.mx/author/mikyrod/>

**NAVAS MARTOS, Francisco Javier.** Influencia del porcentaje de Nanopartículas de sepiolita en las Propiedades de materiales Poliméricos de uso industrial y en su procesado por tecnología de Soldadura láser [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Jaén, España. 2018. pp. 22-297. [Consulta: 2021-11-03]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10953/1102>

**NIETO, V.** *Soldadura* [En Línea]. D.F-México: Grupo Editorial Éxodo, 2012 [Consulta: 11 noviembre 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esPOCH/128559>

**NIKON.** Productos [En Línea]. 2022. [Consulta: 13 noviembre 2022]. Disponible en: [https://www.microscope.healthcare.nikon.com/es\\_AMS/products/upright-microscopes/eclipse-si/specifications](https://www.microscope.healthcare.nikon.com/es_AMS/products/upright-microscopes/eclipse-si/specifications)

**NUÑEZ RUIZ, Elver.** Modelado del proceso de soldadura TIG por métodos numéricos [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional De Trujillo, Trujillo, Perú. 2020. pp. 16-30. [Consulta: 2021-11-13]. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/16459>

**PACHECO, P.** *Procesos en soldadura* [En Línea]. D.F-México: Grupo Editorial Éxodo, 2015. [Consulta: 11 noviembre 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/128566>

**PÁSTOR, M.** *Introducción a la Metalurgia de la Soldadura*. Riobamba-Ecuador: ESPOCH, 2002, 161 pp.

**QUINTERO, Aníbal Rosales.** Automatización del sistema de pulido de probetas metálicas [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad de la Lagunas, Tenerife, España. 2021. 313 pp. [Consulta: 2021-11-10]. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/24230>

**QUISPE HANCCO, Luis Enrique & ROSPIGLIOSI CHAVEZ, María Edith.** Obtención de multifases en un acero SAE: 1045 con tratamiento térmico de temple y su caracterización microestructural mediante metalografía a color [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Colombia. 2020. pp. 25-145. [Consulta: 2021-11-09]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12773/11636>

**RODRÍGUEZ, O. H.** *Metalurgia de la soldadura* [En Línea]. La Habana-Cuba: Editorial Universitaria, 2013 [Consulta: 12 noviembre 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/100767>

**SAMANEZ AMADOR, Jesús Eduardo.** Soldadura SMAW y la seguridad industrial en el taller de construcción metálica de la institución educativa emblemática Pedro e. Paulet Huacho 2020 [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Perú. 2021. 81 pp. [Consulta: 2021-11-014]. Disponible en: <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/4980>

**TECMICRO.** Consumibles Metalografía – Encapsulamiento [en línea]. 2019. [Consulta: 2021-11-09]. Disponible en: <https://materialografia.es/encapsulamiento/>

**TORRES CAMARGO, Julián Camilo, ROMERO RUEDA, Víctor José, y ORDOÑEZ MORALES, Eduardo Alejandro.** Análisis del comportamiento mecánico y microestructural de las transformaciones de fase en la zona afectada por el calor (ZAC) en juntas soldadas a tope para aceros estructurales por medio del proceso gas metal arc welding (GMAW) y con alambre para soldar ER70S-6 [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Libre, Bogotá, Colombia. 2013. pp. 12-62. [Consulta: 2021-11-02]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10901/7837>

**TREJO, J.** Conversión de Microscopio Metalográfico Convencional en Innovador Microscopio Metalográfico Digital [en línea]. La Libertad-El salvador: ITCA Editores, 2017. [Consulta: 09 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.itca.edu.sv/wp-content/uploads/2018/03/06-Microscopio-metalografico.pdf>

**VERA PACHERRE, Julio.** Evaluación de los procesos de soldadura MAG y SMAW en el grado de resistencia 2019 mecánica a la tracción de los cordones de soldadura en los aceros de bajo carbono [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad César Vallejo, Chiclayo, Perú. 2019. pp. 13-47. [Consulta: 2021-11-02]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/41191>

# ANEXOS

## ANEXO A: ESPECIFICACIONES DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA.

### ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA

ESPOCH-ALBAN-8210

Nombre de la compañía \_\_\_\_\_

Ing. Gabriel E. Velastegui MSc. 14/02/2022

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

Materiales base	Especificación	Tipo o Grado	Grupo AWS N.º
Materia Base	ASTM A 36	-	I
Soldado a	ASTM A 36	-	I
Materia de respaldo	A5.18	ER70S-6	-
Otro			

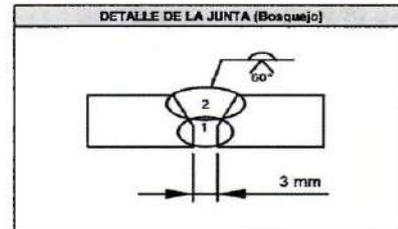
**Detalles de la Junta**

Tipo de ranura	Junta a tope de ranura en V individual
Angulo de ranura	60°
Abertura de la Raíz	3 mm
Cara de la Raíz	3 mm
Ranurado del lado opuesto	Si
Método	Arrolado

**Tratamiento térmico posterior a la soldadura**

Temperatura	Ninguno
Tiempo de la temperatura	-
Otro	-

1		1	
N° de WPS		N° de rev	
NO		NO	
PQR(s) de respaldo	Informe CVN	Informe CVN	
Espesor del material	Tal como se soldo	Con PWNT	
Soldadura en ranura con CJP	6 mm	-	
Ranura CJP o CVN	-	-	
Soldadura en ranura con PJP	-	-	
Soldadura en filete	-	-	
Diámetro	-	-	



Procedimiento		1	2						
Capa(s) de soldadura		1	2						
Pasada(s) de soldadura		1	2						
Proceso		GMAW	GMAW						
Tipo (Sem automático, mecanizado, etc)		Semiautomático	Semiautomático						
Posición		1G	1G						
Progresión vertical		-	-						
Metal de aporte(espec. De AWS)		A5.18	A5.18						
Clasificación de AWS		ER70S-6	ER70S-6						
Diámetro		1,2 mm	1,2 mm						
Fabricación/Nombre comercial		ELEKTRO	ELEKTRO						
Gas de protección (composición)		100% CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>						
Caudal		20 - 25 lb/min	20 - 25 lb/min						
Tamaño de Boquilla		15,9 mm	15,9 mm						
Temperatura de precalentamiento		15° C	15° C						
Temperatura entre pasadas		No aplica	No aplica						
Características eléctricas		-	-						
Polaridad y tipo de corriente		DCEP	DCEP						
Modo de transferencia		Cortocircuito	Cortocircuito						
Tipo de fuente de alimentación		CV	CV						
Amperios [A]		155 - 161	155 - 161						
Volts [V]		21 - 21,1	21,5 - 21,8						
Velocidad de alimentación alambre [IPM]		150	150						
Velocidad de desplazamiento [mm/seg]		2,64	2,23						
Entrada de calor máxima [calles/mm]		937,9	1231,32						
Técnicas		-	-						
Enfriador o Tejido		Tejido	Tejido						
Pasada múltiple o única (por lado)		Múltiple	Múltiple						
Oscilación (mecánica/electromagnética)		No aplica	No aplica						
Longitud transversal		-	-						
Velocidad transversal		-	-						
Tiempo de permanencia		-	-						
Número de electrodos		1	1						
Distancia del tubo de contacto al trabajador		20 mm	20 mm						
Martillado		Ninguno	Ninguno						
Limpieza entre pasadas		Capillo alambre	Capillo alambre						
Otro		-	-						

Realizado por:

  
 Sr. David Andrés Albán Naranjo  
 Estudiante Ingeniería Mecánica Espoch

Revisado por:

  
 Ing. Gabriel E. Velastegui MSc.  
 Inspector De Soldadura Certificado (CVN)  
 Responsable Técnico del Laboratorio De Soldadura





## ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA

ESPOCH-ALBAN-8210	
Nombre de la compañía	
Ing. Gabriel E. Velásquez MSc.	14/02/2022
Autorizado por	Fecha

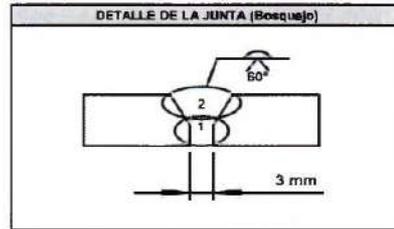
Materiales base	Especificación	Tipo e Grado	Grupo AWS N.º
Materia Base	ASTM A 36	-	I
Soldado a	ASTM A 36	-	I
Materia de respaldo	A5.18	ER70S-6	-
Otro			

Detalles de la Junta	
Tipo de ranura	Junta a tope de ranura en V individual
Ángulo de ranura	60°
Abertura de la Raíz	3 mm
Cara de la Raíz	3 mm
Ranurado del lado opuesto	SI
Método	Amolado

Tratamiento térmico posterior a la soldadura	
Temperatura	Ninguno
Tiempo de la temperatura	-
Otro	-

Procedimiento		1	2
Capa(s) de soldadura		1	2
Pasada(s) de soldadura		1	2
Proceso		GMAW	GMAW
Tipo (Semiautomático, mecanizado, etc.)		Semiautomático	Semiautomático
Posición		1G	1G
Proyección vertical		-	-
Metal de aporte (espec. De AWS)		A5.18	A5.18
Clasificación de AWS		ER70S-6	ER70S-6
Diámetro		1.2 mm	1.2 mm
Fabricación/Nombre comercial		ELEKTRO	ELEKTRO
Gas de protección (composición)		100% CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>
Caudal		20 - 25 lb/min	20 - 25 lb/min
Tamaño de Roquilla		15,9 mm	15,9 mm
Temperatura de precalentamiento		15° C	15° C
Temperatura entre pasadas		No aplica	No aplica
<b>Características eléctricas</b>			
Polaridad y tipo de corriente		DCEP	DCEP
Modo de transferencia		Corbocircuito	Corbocircuito
Tipo de fuente de alimentación		CV	CV
Amperios [A]		188 - 193	207 - 215
Voltios [V]		22,2 - 22,7	22,5 - 22,7
Velocidad de alimentador alambre [IPM]		237	237
Velocidad de desplazamiento [mm/seg]		4,6	2,45
Entrada de calor máxima [joules/mm]		744,15	1564,56
<b>Técnicas</b>			
Encendedor o Tejido		Tejido	Tejido
Pase(s) múltiple o única (por lado)		Múltiple	Múltiple
Orientación (mecanizada/automática)		No aplica	No aplica
Longitud transversal		-	-
Velocidad Transversal		-	-
Tiempo de permanencia		-	-
Numero de electrodos		1	1
Distancia del tebo de contacto al trabajador		20 mm	20 mm
Martillado		Ninguno	Ninguno
Limpieza entre pasadas		Cepillo-alambre	Cepillo-alambre
Otro		-	-

3	1	
N° de WPS	N° de rev	
NO	NO	
PQR(s) de respaldo	Informe CVN	
	Informe CVN	
Espesor del material	Tal como se soldo	Con PWHT
Soldadura en ranura con C/P	6 mm	-
Ranura C/P e/CVN	-	-
Soldadura en ranura con P/P	-	-
Soldadura en filete	-	-
Diámetro	-	-



Realizado por:

Sr. David Andrés Albán Naranjo  
Estudiante Ingeniería Mecánica Espoch

Revisado por:

Ing. Gabriel E. Velásquez MSc.  
Inspector De Soldadura Certificado CVN  
Responsable Técnico del Laboratorio De Soldadura

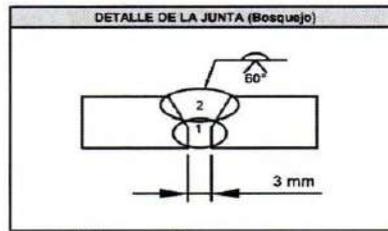


## ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA

ESPOCH-ALBAN-8210			
Nombre de la compañía			
Ing. Gabriel E. Velásquez MSc.		14/02/2022	
Autorizado por		Fecha	
Material base	Especificación	Tipo o Grado	Grupo AWS N.º
Metal Base	ASTM A 36	-	I
Soldado a	ASTM A 36	-	I
Material de respaldo	A5.16	ER70S-6	-
Otro			
Detalles de la Junta			
Tipo de junta	Junta a tope de ranura en V individual		
Angulo de ranura	60°		
Abertura de la Raíz	3 mm		
Cara de la Raíz	3 mm		
Ranurado del lado opuesto	Si		
Método	Amolado		
Tratamiento térmico posterior a la soldadura			
Temperatura	Ninguno		
Tiempo de la temperatura	-		
Otro	-		

Procedimiento			
Capa(s) de soldadura	1	2	
Pasada(s) de soldadura	1	2	
Proceso	GNAW	GMAW	
Tipo (Semiautomático, mecanizado, etc)	Semiautomático	Semiautomático	
Posición	1G	1G	
Proyección vertical	-	-	
Metal de aporte (espec. De AWS)	A5.16	A5.16	
Clasificación de AWS	ER70S-6	ER70S-6	
Diámetro	1,2 mm	1,2 mm	
Fabricación/Nombre comercial	ELEKTRO	ELEKTRO	
Gas de protección (composición)	100% CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>	
Caudal	20 - 25 l/min	20 - 25 l/min	
Tamaño de Boquilla	15,9 mm	15,9 mm	
Temperatura de precalentamiento	15° C	15° C	
Temperatura entre pasadas	No aplica	No aplica	
Características eléctricas	-	-	
Polaridad y tipo de corriente	DCEP	DCEP	
Modo de transferencia	Corotransferencia	Corotransferencia	
Tipo de fuente de alimentación	CV	CV	
Amperios [A]	186 - 193	207 - 215	
Voltios [V]	22,9 - 23,2	24,6 - 24,8	
Velocidad de alimentador alambre [IPM]	250	250	
Velocidad de desplazamiento [mm/seg.]	4,76	3,1	
Entrada de calor máxima [joules/mm]	733,82	1344,62	
Técnicas	-	-	
Encendedor o Tejido	Tejido	Tejido	
Pasada múltiple o única (por lado)	Múltiple	Múltiple	
Oscilación (mecanizada/automática)	No aplica	No aplica	
Longitud transversal	-	-	
Velocidad transversal	-	-	
Tiempo de permanencia	-	-	
Número de electrodos	1	1	
Distancia del tubo de contacto al trabajador	20 mm	20 mm	
Martillado	Ninguno	Ninguno	
Limpieza entre pasadas	Cepillo-alambre	Cepillo-alambre	
Otro	-	-	

4		1	
Nº de WPS		Nº de rev	
NO		NO	
PQR(s) de respaldo	Informe CVN	Informe CVN	
Espesor del material	Tal como se soldó	Con PWHT	
Soldadura en ranura con GJP	6 mm	-	
Ranura GJP o CVN	-	-	
Soldadura en ranura con PJP	-	-	
Soldadura en filete	-	-	
Diámetro	-	-	



Realizado por:



Sr. David Andrés Albán Naranjo  
Estudiante Ingeniería Mecánica EsPOCH

Revisado por:

  
Ing. Gabriel E. Velásquez MSc.  
Inspector De Soldadura Certificado CVN  
Responsable Técnico del Laboratorio De Soldadura



## ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA

ESPOCHALBAN-8210

Nombre de la compañía \_\_\_\_\_

Ing. Gabriel E. Velastegui MSc. 14/02/2022

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

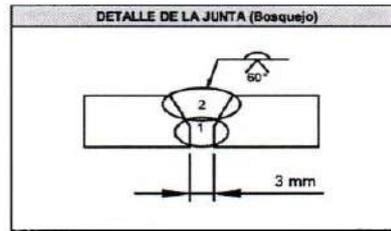
Materiales base	Especificación	Tipo o Grado	Grupo AWS N.º
Materia Base	ASTM A 35	-	I
Soldado a	ASTM A 35	-	I
Materia de repaste	A5.18	ER70S-6	-
Otro			

Detalles de la Junta	
Tipo de ranura	Junta a tope de ranura en V individual
Angulo de ranura	60 °
Abertura de la Raiz	3 mm
Cera de la Raiz	3 mm
Ranurado del lado opuesto	SI
Método	Arcoabierto

Tratamiento térmico posterior a la soldadura	
Temperatura	Ninguno
Tiempo de la temperatura	-
Otro	-

Procedimiento	
Capas(s) de soldadura	1 2
Pasadas(s) de soldadura	1 2
Proceso	GMAW GMAW
Tipo (Semiautomático, mecanizado, etc)	Semiautomático Semiautomático
Posición	1G 1G
Progresión vertical	- -
Metal de aporte (espec. De AWS)	A5.18 A5.18
Clasificación de AWS	ER70S-6 ER70S-6
Díametro	1.2 mm 1.2 mm
Fabricación/Nombre comercial	ELEKTRO ELEKTRO
Gas de protección (composición)	100% CO <sub>2</sub> 100% CO <sub>2</sub>
Caudal	20 - 25 l/min 20 - 25 l/min
Tamaño de boquilla	15.9 mm 15.9 mm
Temperatura de precalentamiento	15° C 15° C
Temperatura entre pasadas	No aplica No aplica
<b>Características eléctricas</b>	
Polaridad y tipo de corriente	DCEP DCEP
Modo de transferencia	Corriente Corriente
Tipo de fuente de alimentación	CV CV
Amperios (A)	127 - 135 154 - 180
Volts (V)	23.3 - 24 23 - 23.2
Velocidad de alimentador alambre (IPM)	150 150
Velocidad de desplazamiento (mm/seg)	2.5 1.84
Entrada de calor máxima [joules/mm]	991.41 1573.09
<b>Técnicas</b>	
Encendedor o Tejido	Tejido Tejido
Fasea múltiple o única (por lado)	Múltiple Múltiple
Oscilación (mecanizada/automática)	No aplica No aplica
Longitud transversal	- -
Velocidad transversal	- -
Tiempo de permanencia	- -
Número de electrodos	1 1
Distancia del tubo de contacto al trabajador	20 mm 20 mm
Metilado	Ninguno Ninguno
Limpieza entre pasadas	Cepillo-alambre Cepillo-alambre
Otro	- -

5		1	
N° de WPS		N° de rev	
NO		NO	
PQR(s) de respaldo	Informe CVN	Informe CVN	
Espesor del material	Tal como se soldo	Con PWHT	
Soldadura en ranura con CJP	8 mm	-	
Ranura CJP a CVN	-	-	
Soldadura en ranura con FJP	-	-	
Soldadura en filete	-	-	
Díametro	-	-	



Realizado por:

Sr. David Andrés Albán Naranjo  
Estudiante Ingeniería Mecánica Espoch

Revisado por:

Ing. Gabriel E. Velastegui MSc.  
Inspector De Soldadura Certificado EPN  
Responsable Teórico del Laboratorio de Soldadura



## ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA

ESPOCH-ALBAN-8210	
<b>Nombre de la compañía</b>	
Ing. Gabriel E. Velastegui MSc.	14/02/2022
<b>Autorizado por</b>	<b>Fecha</b>

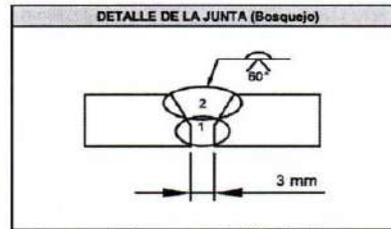
Materiales base	Especificación	Tipo o Grado	Grupo AWS N.º
Materia Base	ASTM A 36	-	I
Soldado a	ASTM A 36	-	I
Materia de respaldo	A5.18	ER70S-6	-
Otro			

Detalles de la Junta	
Tipo de ranura	Junta a tope de ranura en V individual
Angulo de ranura	60 °
Abertura de la Raiz	3 mm
Cara de la Raiz	3 mm
Ranurado del lado opuesto	Si
Metodo	Amolado

Tratamiento térmico posterior a la soldadura	
Temperatura	Ninguno
Tiempo de la temperatura	-
Otro	-

Procedimiento		1	2
Capas de soldadura		1	2
Pasada(s) de soldadura		1	2
Proceso		GMAW	GMAW
Tipo (Semiautomático, mecanizado, etc)		Semiautomático	Semiautomático
Posición		1G	1G
Progresión vertical		-	-
Metálico de aporte (espes. De AWS)		A5.18	A5.18
Clasificación de AWS		ER70S-6	ER70S-6
Diametro		1,2 mm	1,2 mm
Fabricación/Nombre comercial		ELEKTRO	ELEKTRO
Gas de protección (composición)		100% CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>
Calcular		20 - 25 lb/min	20 - 25 lb/min
Tamaño de Bocal		15,9 mm	15,9 mm
Temperatura de precalentamiento		15° C	15° C
Temperatura entre pasadas		No aplica	No aplica
Características eléctricas		-	-
Polaridad y tipo de conexión		DCEP	DCEP
Modo de transferencia		Corbocircuito	Corbocircuito
Tipo de fuente de alimentación		CV	CV
Amperios [A]		155 - 161	165 - 190
Voltios [V]		23,5 - 24	23,3 - 23,5
Velocidad de alimentador alambre [IPM]		200	200
Velocidad de desplazamiento [mm/seg.]		2,61	2,14
Entrada de calor máxima [joules/mm]		1148,27	1640,63
Técnicas		-	-
Encordador o Tejido		Tejido	Tejido
Pasada múltiple o única (por lado)		Múltiple	Múltiple
Oscilación (mecanizada/automática)		No aplica	No aplica
Longitud transversal		-	-
Velocidad Transversal		-	-
Tiempo de permanencia		-	-
Numero de electrodos		1	1
Distancia del tubo de contacto al trabajador		20 mm	20 mm
Martillado		Ninguno	Ninguno
Limpieza entre pasadas		Cepillo-alambre	Cepillo-alambre
Otro		-	-

6 N° de WPS	1 N° de rev	
NO	NO	
PQR(s) de respaldo	Informe CVN	Informe CVN
Espesor del material	Tal como se soldo	Con PWHT
Soldadura en ranura con CJP	8 mm	-
Ranura CJP o CVN	-	-
Soldadura en ranura con FJP	-	-
Soldadura en filete	-	-
Diametro	-	-



Realizado por:

Sr. David Andrés Albán Naranjo  
Estudiante Ingeniería Mecánica Espoch

Revisado por:

Ing. Gabriel E. Velastegui MSc.  
Inspector De Soldadura Certificado CVN  
Responsable Técnico de Laboratorio De Soldadura



### ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA

ESPOCH-ALBAN-8210

Nombre de la compañía: \_\_\_\_\_  
 Ing. Gabriel E. Velastegui MSc. 14/02/2022  
 Autorizado por: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

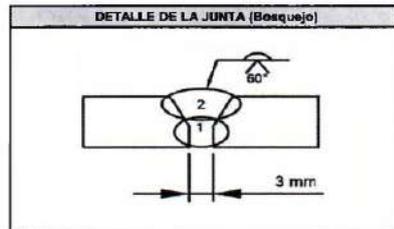
Materiales base	Especificación	Tipo o Grado	Grupo AWS N.º
Materia Base	ASTM A 36	-	I
Soldado a	ASTM A 36	-	I
Materia de respaldo	A5.16	ER70S-6	-
Otro			

Detalles de la Junta	
Tipo de ranura	Junta a tope de ranura en V individual
Ángulo de ranura	60°
Abertura de la Raíz	3 mm
Cara de la Raíz	3 mm
Ranurado del lado opuesto	Si
Método	Amolado

Tratamiento térmico posterior a la soldadura	
Temperatura	Ninguno
Tiempo de la temperatura	-
Otro	-

Procedimiento		1	2						
Capa(s) de soldadura		1	2						
Pasada(s) de soldadura		1	2						
Proceso		GMAW	GMAW						
Tipo (Semiautomático, mecanizado, etc)		Semiautomático	Semiautomático						
Posición		1G	1G						
Progresión vertical		-	-						
Metal de aporte (espec. De AWS)		A5.16	A5.16						
Clasificación de AWS		ER70S-6	ER70S-6						
Diametro		1.2 mm	1.2 mm						
Fabricación/Nombre comercial		ELEKTRO	ELEKTRO						
Gas de protección (composición)		100% CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>						
Caudal		20 - 25 l/min	20 - 25 l/min						
Tamaño de Boquilla		15.9 mm	15.9 mm						
Temperatura de precalentamiento		15° C	15° C						
Temperatura entre pasadas		No aplica	No aplica						
Características eléctricas		-	-						
Polaridad y tipo de conexión		DCEP	DCEP						
Modo de transferencia		Contacto	Contacto						
Tipo de fuente de alimentación		CV	CV						
Amperios [A]		186 - 194	205 - 215						
Volts [V]		23.9 - 24.1	24.8 - 25.1						
Velocidad de alimentador alambre [IPM]		250	250						
Velocidad de desplazamiento [mm/seg]		3.88	2.45						
Entrada de calor máxima [joules/mm]		939.36	1708.08						
Técnica		-	-						
Encendido e Tejido		Tejido	Tejido						
Pasada múltiple o única (por lado)		Múltiple	Múltiple						
Oscilación (mecanizada/automática)		No aplica	No aplica						
Longitud transversal		-	-						
Velocidad Transversal		-	-						
Tiempo de permanencia		-	-						
Número de electrodos		1	1						
Distancia del tubo de contacto al trabajador		20 mm	20 mm						
Mantillado		Ninguno	Ninguno						
Limpieza entre pasadas		Cepillo-alambre	Cepillo-alambre						
Otro		-	-						

PQR(s) de respaldo	NO	
	Informe CVN	Informe CVN
Espeor del material	tal como se soldo	Con PWHT
Soldadura en ranura con CJP	8 mm	-
Ranura CJP a CVN	-	-
Soldadura en ranura con PJP	-	-
Soldadura en filete	-	-
Diametro	-	-



Realizado por:

*[Firma manuscrita]*

Sr. David Andrés Albán Naranjo  
Estudiante Ingeniería Mecánica Espoch

Revisado por:

*[Firma manuscrita]*

Ing. Gabriel E. Velastegui MSc.  
Inspector De Soldadura Certificado CVN  
Responsable Técnico del Laboratorio de Soldadura



## ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA

ESPOCH-ALBAN-0210

Nombre de la compañía \_\_\_\_\_

Ing. Gabriel E. Velastegui MSc. 14/02/2022

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

Materiales base	Especificación	Tipo o Grado	Grupo AWS N.*
Material Base	ASTM A 36	-	I
Soldadura	ASTM A 36	-	I
Material de respaldo	A5.18	ER70S-6	-
Otro			

Detalles de la Junta	
Tipo de ranura	Junta a tope de ranura en V individual
Angulo de ranura	60°
Abertura de la Raíz	3 mm
Cera de la Raíz	3 mm
Ranurado del lado opuesto	Si
Velocidad	Arcado

Tratamiento térmico posterior a la soldadura	
Temperatura	Ninguno
Tiempo de la temperatura	-
Otro	-

Procedimiento		1	2						
Capas de soldadura		1	2						
Pasadas de soldadura		1	2						
Proceso		GMAW	GMAW						
Tipo (Semi-automático, mecanizado, etc)		Semi-automático	Semi-automático						
Posición		1G	1G						
Progresión vertical		-	-						
Material de aporte (espec. De AWS)		A5.18	A5.18						
Clasificación de AWS		ER70S-6	ER70S-6						
Diametro		1,2 mm	1,2 mm						
Fabricación/Nombre comercial		ELEKTRO	ELEKTRO						
Gas de protección (composición)		100% CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>						
Caudal		20 - 25 l/min	20 - 25 l/min						
Tamaño de Hoquilla		15,9 mm	15,9 mm						
Temperatura de precalentamiento		15° C	15° C						
Temperatura entre pasadas		No aplica	No aplica						
Características eléctricas									
Polaridad y tipo de corriente		DCEP	DCEP						
Modo de transferencia		Corotocircuito	Corotocircuito						
Tipo de fuente de alimentación		CV	CV						
Amperios [A]		209 - 216	239 - 244						
Volts [V]		24,7 - 25,1	25,8 - 26						
Velocidad de alimentador alambre [IPM]		300	300						
Velocidad de desplazamiento [mm/seg.]		4,35	2,38						
Entrada de calor máxima [joules/mm.]		973,59	2101,63						
Técnicas									
Encordado o Tejido		Tejido	Tejido						
Pasada múltiple o única (por lado)		Múltiple	Múltiple						
Osilación (mecanizada/automática)		No aplica	No aplica						
Longitud transversal		-	-						
Velocidad Transversal		-	-						
Tiempo de permanencia		-	-						
Numero de electrodos		1	1						
Distancia del tubo de contacto al trabajador		20 mm	20 mm						
Martillado		Ninguno	Ninguno						
Limpeza entre pasadas		Cepillo-alambre	Cepillo-alambre						
Otro									

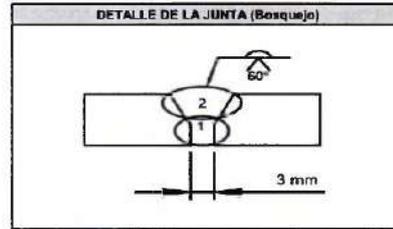
8 1

N° de WPS N° de rev

NO NO

PQR(s) de respaldo Informe CVN Informe CVN

Esesor del material	Tal como se solda	Con PWHT
Soldadura en ranura con CJP	8 mm	-
Ranura CJP o CVN	-	-
Soldadura en ranura con PJP	-	-
Soldadura en filete	-	-
Diametro	-	-



Realizado por:

Sr. David Andrés Albán Naranjo  
Estudiante Ingeniería Mecánica EsPOCH

Revisado por:

Ing. Gabriel E. Velastegui MSc.  
Inspector De Soldadura EsPOCH-ALBAN-0210  
Responsable Técnico del Laboratorio De Soldadura



## ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA

ESPOCH-ALBAN-8210

Nombre de la compañía \_\_\_\_\_

9  
N° de WPS

1  
N° de rev

Ing. Gabriel E. Velastegui MSc. 14/02/2022

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

NO NO  
PQR(s) de respaldo Informe CVN Informe CVN

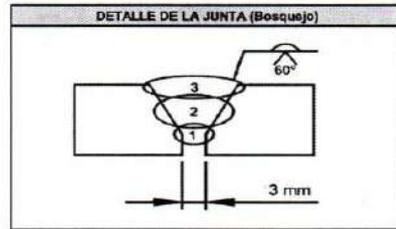
Materiales base	Especificación	Tipo o Grado	Grupo AWS N.º
Materia Base	ASTM A 36	-	I
Soldado a	ASTM A 36	-	I
Materia de respaldo	A5.18	ER70S-6	-
Otro			

Detalles de la Junta	
Tipo de ranura	Junta a tope de ranura en V individual
Angulo de ranura	60°
Abertura de la Raiz	3 mm
Cera de la Raiz	3 mm
Ranurado del lado opuesto	SI
Método	Amolado

Esesor del material	Tal como se soldo	Con PWHT
Soldadura en ranura con CJP	10 mm	-
Ranura CJP o CVN	-	-
Soldadura en ranura con PJP	-	-
Soldadura en filete	-	-
Diámetro	-	-

Tratamiento termico posterior a la soldadura	
Temperatura	Ninguno
Tiempo de la temperatura	-
Otro	-



Procedimiento				
Capa(s) de soldadura	1	2	3	
Pasada(s) de soldadura	1	2	3	
Proceso	GMAW	GMAW	GMAW	
Tipo (Semiautomático, macarizado, etc)	Semiautomático	Semiautomático	Semiautomático	
Posición	1G	1G	1G	
Progresión vertical	-	-	-	
Metal de aporte/espesor, De AWS	A5.18	A5.18	A5.18	
Clasificación de AWS	ER70S-6	ER70S-6	ER70S-6	
Diámetro	1,2 mm	1,2 mm	1,2 mm	
Fabricación/Nombre comercial	ELEKTRO	ELEKTRO	ELEKTRO	
Gas de protección (composición)	100% CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>	
Caudal	20 - 25 l/min	20 - 25 l/min	20 - 25 l/min	
Tamaño de Boquilla	15,9 mm	15,9 mm	15,9 mm	
Temperatura de precalentamiento	15° C	15° C	15° C	
Temperatura entre pasadas	No aplica	No aplica	No aplica	
<b>Características eléctricas</b>				
Polaridad y tipo de corriente	DCEP	DCEP	DCEP	
Modo de transferencia	Contocircuito	Cortocircuito	Cortocircuito	
Tipo de fuente de alimentación	CV	CV	CV	
Amperios [A]	168 - 175	188 - 191	192 - 196	
Volts [V]	23,2 - 23,5	24,0 - 25,2	24,9 - 25,2	
Velocidad de alimentación alambre [IPM]	200	200	200	
Velocidad de desplazamiento [mm/seg.]	3,36	3,88	2,13	
Entrada de calor máxima [joules/mm]	955,12	977,86	1627,25	
Técnicas	-	-	-	
Incondador o Tejido	Tejido	Tejido	Tejido	
Pasada múltiple o única (por lado)	Múltiple	Múltiple	Múltiple	
Oscilación (mecánica/automática)	No aplica	No aplica	No aplica	
Longitud transversal	-	-	-	
Velocidad Transversal	-	-	-	
Tiempo de permanencia	-	-	-	
Numero de electrodos	1	1	1	
Distancia del tubo de contacto al trabajador	20 mm	20 mm	20 mm	
Mantenido	Ninguno	Ninguno	Ninguno	
Limpieza entre pasadas	Cepillo-alambre	Cepillo-alambre	Cepillo-alambre	
Otro	-	-	-	

Realizado por:

Sr. David Andrés Abán Naranjo  
Estudiante Ingeniería Mecánica Espoch

Revisado por:

Ing. Gabriel E. Velastegui MSc.  
Inspector De Soldadura Certificado EPN  
Responsable Técnico del Laboratorio De Soldadura

## ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA

ESPOCH-ALBAN-8210

**Nombre de la compañía** \_\_\_\_\_

Ing. Gabriel E. Velastegui MSc. 14/02/2022

**Autorizado por** \_\_\_\_\_ **Fecha** \_\_\_\_\_

Material base	Especificación	Tipo o Grado	Grupo AWS N.º
Material Base	ASTM A 36	-	I
Soldado a	ASTM A 36	-	I
Material de resqueo	A5.18	ER70S-6	-
Otro			

Detalles de la Junta	
Tipo de ranura	Junta a tope de ranura en V individual
Angulo de ranura	60°
Abertura de la Raiz	3 mm
Cara de la Raiz	3 mm
Ranurado del lado opuesto	SI
Método	Amolado

Tratamiento térmico posterior a la soldadura	
Temperatura	Ninguno
Tiempo de la temperatura	-
Otro	-

Procedimiento				
Capa(s) de soldadura	1	2	3	
Pasada(s) de soldadura	1	2	3	
Proceso	GMAW	GMAW	GMAW	
Tipo (Semiautomático, mecanizado, etc)	Semiautomático	Semiautomático	Semiautomático	
Posición	1G	1G	1G	
Progresión vertical	-	-	-	
Metal de aporte (espec. De AWS)	A5.18	A5.18	A5.18	
Clasificación de AWS	ER70S-6	ER70S-6	ER70S-6	
Diámetro	1,2 mm	1,2 mm	1,2 mm	
Fabricación/Nombre comercial	ELEKTRO	ELEKTRO	ELEKTRO	
Gas de protección (composición)	100% CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>	
Caudal	20 - 25 l/min	20 - 25 l/min	20 - 25 l/min	
Tamaño de Boquilla	15,9 mm	15,9 mm	15,9 mm	
Temperatura de precalentamiento	15° C	15° C	15° C	
Temperatura entre pasadas	No aplica	No aplica	No aplica	
<b>Características eléctricas</b>				
Polaridad y tipo de corriente	DCEP	DCEP	DCEP	
Modo de transferencia	Corbocircuito	Corbocircuito	Corbocircuito	
Tipo de fuente de alimentación	CV	CV	CV	
Amperios [A]	192 - 198	208 - 213	206 - 211	
Voltios [V]	25 - 25,2	25,4 - 25,6	25,4 - 25,7	
Velocidad de alimentación alambre [IPM]	250	250	250	
Velocidad de desplazamiento [mm/seg]	3,77	3,7	2,63	
Entrada de calor máxima [oules/mm]	1037,63	1159,43	1619,46	
<b>Técnicas</b>				
Encendedor o Tejido	Tejido	Tejido	Tejido	
Pasada múltiple o única (por lado)	Múltiple	Múltiple	Múltiple	
Oscilación (mecanizada/automática)	No aplica	No aplica	No aplica	
Longitud transversal	-	-	-	
Velocidad transversal	-	-	-	
Tiempo de permanencia	-	-	-	
Numero de electrodos	1	1	1	
Distancia del tubo de contacto al trabajador	20 mm	20 mm	20 mm	
Martillado	Ninguno	Ninguno	Ninguno	
Limpieza entre pasadas	Cepillo alambre	Cepillo alambre	Cepillo alambre	
Otro	-	-	-	

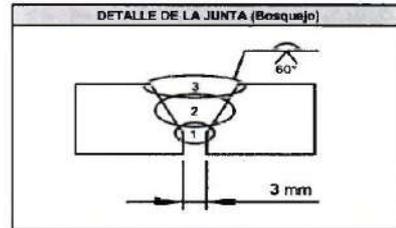
10 1

**Nº de WPS** \_\_\_\_\_ **Nº de rev** \_\_\_\_\_

NO NO

**PQR(s) de respaldo** \_\_\_\_\_ **Informe CVN** \_\_\_\_\_ **Informe CVN** \_\_\_\_\_

Espesor del material	Tal como se soldo	Con PWHT
Soldadura en ranura con CJP	10 mm	-
Ranura CJP o CVN	-	-
Soldadura en ranura con PJP	-	-
Soldadura en filete	-	-
Diámetro	-	-



Realizado por:

Sr. David Andrés Albán Naranjo  
Estudiante Ingeniería Mecánica Espoch

Revisado por:

Ing. Gabriel E. Velastegui MSc.  
Inspector De Soldadura y Certificación CWI  
Responsable Técnico del Laboratorio de Soldadura

## ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA

ESPOCH-ALBAN-8218

---

Nombre de la compañía

---

Ing. Gabriel E. Velastegui MSc. 14/02/2022

Autorizado por Fecha

Materiales base	Especificación	Tipo o Grado	Grupo AWS N.º
Material Base	ASTM A 36	-	I
Soldado a	ASTM A 36	-	I
Material de respaído	A5.18	ER70S-6	-
Otro			

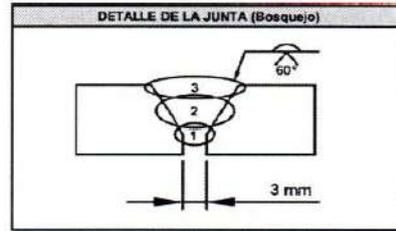
Detalles de la junta	
Tipo de ranura	Junta a tope de ranura en V individual
Ángulo de ranura	60°
Abertura de la Raíz	3 mm
Cara de la Raíz	3 mm
Ranurado del lado opuesto	SI
Método	Amolado

Tratamiento térmico posterior a la soldadura	
Temperatura	Ninguno
Tiempo de la temperatura	-
Otro	-

Procedimiento			
Capa(s) de soldadura	1	2	3
Pasada(s) de soldadura	1	2	3
Proceso	GMAW	GMAW	GMAW
Tipo (Semiautomático, mecanizado, etc)	Semiautomático	Semiautomático	Semiautomático
Posición	1G	1G	1G
Progresión vertical	-	-	-
Metal de aporte(espec. De AWS)	A5.18	A5.18	A5.18
Clasificación de AWS	ER70S-6	ER70S-6	ER70S-6
Díametro	1,2 mm	1,2 mm	1,2 mm
Fabricación/Nombre comercial	ELEKTRO	ELEKTRO	ELEKTRO
Gas de protección (composición)	100% CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>
Caudal	20 - 25 l/min	20 - 25 l/min	20 - 25 l/min
Tamaño de Roquilla	15,9 mm	15,9 mm	15,9 mm
Temperatura de precalentamiento	15° C	15° C	15° C
Temperatura entre pasadas	No aplica	No aplica	No aplica
<b>Características eléctricas</b>			
Polaridad y tipo de corriente	DCEP	DCEP	DCEP
Modo de transferencia	Corriente de arco	Corriente de arco	Corriente de arco
Tipo de fuente de alimentación	CV	CV	CV
Amperios [A]	215 - 221	236 - 248	249 - 257
Voltios [V]	25,4 - 25,7	25,7 - 26,1	25,8 - 26,1
Velocidad de alimentador alambre [IPM]	300	300	300
Velocidad de desplazamiento [mm/seg.]	5,8	4,35	2,9
Entrada de calor máxima [joules/mm]	768,65	1158,04	1812,04
<b>Técnicas</b>			
Encendedor o Tejido	Tejido	Tejido	Tejido
Pasada múltiple o única (por lado)	Múltiple	Múltiple	Múltiple
Oscilación (mecanizada/automática)	No aplica	No aplica	No aplica
Longitud transversal	-	-	-
Velocidad Transversal	-	-	-
Tiempo de permanencia	-	-	-
Número de electrodos	1	1	1
Distancia del tubo de contacto al trabajador	20 mm	20 mm	20 mm
Mantillado	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Limpieza entre pasadas	Cepillo-alambre	Cepillo-alambre	Cepillo-alambre
Otro	-	-	-

11 N° de WPS	1 N° de rev.	
NO	NO	
PQR(s) de respaído	Informe CVN	Informe CVN

Espesor del material	Tal como se soldó	Con PWHT
Soldadura en ranura con CJP	10 mm	-
Ranura CJP a CVN	-	-
Soldadura en ranura con PJP	-	-
Soldadura en filete	-	-
Díametro	-	-



Realizado por:

Sr. David Andrés Albán Naranjo  
Estudiante Ingeniería Mecánica Espoch

Revisado por:

Ing. Gabriel E. Velastegui MSc.  
Inspector De Soldadura Categoría CVN  
Responsable Técnico del Laboratorio De Soldadura



## ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA

ESPOCH-ALBAN-8210

Nombre de la compañía: \_\_\_\_\_  
 Ing. Gabriel E. Velastegui MSc. 14/02/2022  
 Autorizado por: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Materiales base	Especificación	Tipo o Grado	Grupo AWS N.º
Materia Base	ASTM A 36	-	I
Soldado a	ASTM A 36	-	I
Materia de respaldo	A5.18	ER70S-6	-
Otro			

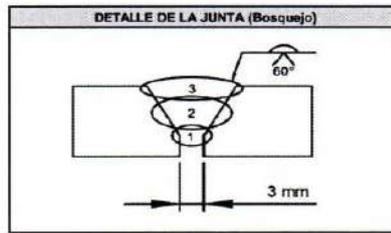
Detalles de la Junta	
Tipo de ranura	Junta a tope de ranura en V Individual
Angulo de ranura	60 °
Apertura de la Raiz	3 mm
Cara de la Raiz	3 mm
Ranurado del lado opuesto	Si
Método	Amoldado

Tratamiento térmico posterior a la soldadura	
Temperatura	Ninguno
Tiempo de la temperatura	-
Otro	-

Procedimiento			
Capa(s) de soldadura	1	2	3
Pasada(s) de soldadura	1	2	3
Proceso	GMAW	GMAW	GMAW
Tipo (Semi automático, mecanizado etc)	Semi automático	Semi automático	Semi automático
Posición	1G	1G	1G
Progresión vertical	-	-	-
Metal de aporte (espec. De AWS)	A5.18	A5.18	A5.18
Clasificación de AWS	ER70S-6	ER70S-6	ER70S-6
Diametro	1.2 mm	1.2 mm	1.2 mm
Fabricación/Nombre comercial	ELEKTRO	ELEKTRO	ELEKTRO
Gas de protección (composición)	100% CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>	100% CO <sub>2</sub>
Caudal	20 - 25 lb/min	20 - 25 lb/min	20 - 25 lb/min
Tamaño de boquilla	15,9 mm	15,9 mm	15,9 mm
Temperatura de precalentamiento	15° C	15° C	15° C
Temperatura entre pasadas	No aplica	No aplica	No aplica
<b>Características eléctricas</b>			
Potencia y tipo de corriente	DCEP	DCEP	DCEP
Modo de transferencia	Contorcido	Contorcido	Contorcido
Tipo de fuente de alimentación	CV	CV	CV
Amperios [A]	225 - 228	254 - 256	252 - 257
Volts [V]	26,9 - 27,1	26,9 - 27	26,9 - 27,2
Velocidad de alimentador alambre [IPM]	325	325	325
Velocidad de desplazamiento [mm/seg.]	6,67	4,41	3,06
Entrada de calor máxima [joules/mm]	733,86	1168,28	1793,9
<b>Técnicas</b>			
Encordador o Tejido	Tejido	Tejido	Tejido
Plataforma múltiple o única (por lado)	Múltiple	Múltiple	Múltiple
Disolción (mecanizada/automática)	No aplica	No aplica	No aplica
Longitud transversal	-	-	-
Velocidad Transversal	-	-	-
Tiempo de permanencia	-	-	-
Número de electrodos	1	1	1
Distancia del tubo de contacto al trapeador	20 mm	20 mm	20 mm
Martillado	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Limpieza entre pasadas	Cepillo-alambr	Cepillo-alambr	Cepillo-alambr
Otro	-	-	-

12 N° de WPS 1 N° de rev

PQR(s) de respaldo	Informe CVN	
	NO	NO
Espesor del material	Tal como se soldo	Con PWHT
Soldadura en ranura con CJP	10 mm	-
Ranura CJP o CVN	-	-
Soldadura en ranura con PJP	-	-
Soldadura en filete	-	-
Diametro	-	-



Realizado por:   
 Sr. David Andrés Albán Naranjo  
 Estudiante Ingeniería Mecánica Espoch

Revisado por:   
 Ing. Gabriel E. Velastegui MSc.  
 Inspector De Soldadura Certificado CVN  
 Responsable Técnico del Laboratorio De Soldadura

## ANEXO B: RESULTADOS DE ULTRASONIDOS.

### SINDESECADOR S.A. - SERVICIOS DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA Y DE SOLDADURA

RUC: 1792147220001  
Teléfono: (02)2323774 | Cel.: 0993696196 | 0993696177  
Dirección Matriz: Av. General Rumiñahui y Simón Bolívar | Portón de Cádiz, Casa 124 | Quito - Ecuador  
Email: info@sindes.com

**CLIENTE:** SR. DAVID ALBAN  
**LOCACIÓN:** INSTALACIONES SINDESECADOR QUITO  
**ORIGEN :** TESIS ESPOCH  
**ORDEN DEL CLIENTE:** N/A

**DESCRIPCIÓN:** INSPECCIÓN DE SOLDADURAS A:  
CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA  
GMAW



**TRABAJO REALIZADO:**  
A. INSPECCION POR ULTRASONIDO CONVENCIONAL

**ORDEN DE TRABAJO:** SINDES-02-139-0322 **FECHA EMISIÓN:** 2022-03-28  
**REVISIÓN:** 0 **FECHA DE INSPECCIÓN:** 2021-03-25  
**INSPECTOR:** Ing. Santiago Suquillo  
**PROCEDIMIENTO:** SINDES-PR-0402-020 / UT Aws  
**ESPECIFICACIÓN:** AWS D1.1:2020 / Structural Welding Code - Steel  
ASTM E164-19 / Standard Practice for Contact Ultrasonic Testing of Weldments

La inspección correspondiente a este documento fue realizada dentro del marco de un sistema de gestión de calidad conforme con ISO/IEC 17020.

Datos, resultados y observaciones obtenidos en la inspección así como el detalle de los equipos usados se exponen en las páginas siguientes y son parte de este documento, estos hacen referencia al momento y condiciones en las que se realizó la inspección.



REPORTE DE INSPECCIÓN DE SOLDADURAS MEDIANTE ULTRASONIDO INDUSTRIAL

SR. DAVID ALBAN

COD: SINDES-F0-01-015 | REV:6 | FECHA: 2020-04-29

1. DATOS GENERALES

CLIENTE: SR. DAVID ALBAN
LOCACION: INSTALACIONES SINDESECUADOR QUITO
ORIGEN: TESIS ESPOCH
PROCEDIMIENTO (S): SINDES-PR-0402-020 / UT Aws
CODIGO/ ESTANDAR: AWS D1.1:2020 / Structural Welding Code - Steel
ASTM E164-19 / Standard Practice for Contact Ultrasonic Testing of Weldments
ORDEN DE TRABAJO: SINDES-02-139-0322
REPORTE No. 001 PAG.: 1 DE 3 REV.: 0
FECHA DE EMISION: 2022-03-28
FECHA DE INSPECCION: 2021-03-25

2. GENERAL

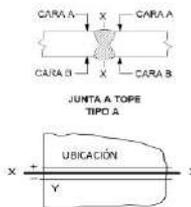
Table with equipment details: Detector de fallas, Retardo Zapata, Rango, Bloque Calibración, Material: ASTM A36, Condición Superficial: Sin pintura, Espesores de plancha (mm): 10

3. DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO/PIEZA

3.1 DESCRIPCIÓN: INSPECCIÓN DE SOLDADURAS A:

CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

3.2 ESQUEMAS:



CUPÓN GMAW-10IPM 200 CUPÓN GMAW-10IPM 300 CUPÓN GMAW-10IPM 250 CUPÓN GMAW-10IPM 325

4. REGISTRO DE INSPECCIÓN

Table with inspection results: Columns include Elemento, Junta, Tipo, Soldador, Fecha, Angulo, Resultados (Aceptada/Rechazada), Ganancia, Clasificación, Evaluación, Profundidad, Longitud, Ubicación (X/Y), Fecha, Soldador, Resultados (Aceptada/Rechazada)

NOMENCLATURA: Evaluación de la discontinuidad: A: Clase A, discontinuidad Mayor - Grande. / B: Clase B, discontinuidad Mediana. / C: Clase C, discontinuidad Pequeña. / D: Clase D, discontinuidad Menor.

5. RESULTADOS

RESULTADOS OBTENIDOS: Las juntas de soldadura inspeccionadas NO cumplen con los criterios de aceptación estipulados en AWS D1.1-2020.

ESTADO FINAL: SOLDADURAS INSPECCIONADAS RECHAZADAS

OBSERVACIONES: Se aplica ensayo a las juntas soldadas determinadas por el Cliente.

6. EQUIPOS ADICIONALES EMPLEADOS

Table with equipment details: Descripción, I.D. / Serie, Calibrado el

7. SOLICITADO POR: Sr. David Alban

Table with signatures: REALIZADO POR: Ing. Santiago Suquillo, REVISADO POR: Ing. Robert Toasa, RECIBIDO POR: (Empty)

 	<b>REPORTE DE INSPECCIÓN DE SOLDADURAS MEDIANTE ULTRASONIDO INDUSTRIAL</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <b>SR. DAVID ALBAN</b> </div>

**1. DATOS GENERALES**

CLIENTE:	<b>SR. DAVID ALBAN</b>	ORDEN DE TRABAJO:	<b>SINDES-02-139-0322</b>
LOCACIÓN:	<b>INSTALACIONES SINDESECUADOR QUITO</b>	REPORTE No.:	<b>001 PÁG.: 2 DE 3 REV.: 0</b>
ORIGEN:	<b>TESIS ESPOCH</b>	FECHA DE EMISIÓN:	<b>2022-03-28</b>
PROCEDIMIENTO (S):	<b>SINDES-PR-0402-020 / UT Aws</b>	FECHA DE INSPECCIÓN:	<b>2021-03-25</b>
CODIGO / ESTÁNDAR:	<b>AWS D1.1:2020 / Structural Welding Code - Steel</b>		
	<b>ASTM E164-19 / Standard Practice for Contact Ultrasonic Testing of Weldments</b>		

**2. GENERAL**

EQUIPO	Detector de fallas:	SIUI CTS-9005 S/N: 549311120034	Calibrado el:	2021-12-09	PALPADOR	Transductor:	GE- S/N: 13F00T8N		
	Retardo Zapata (µs):	18,29	Velocidad (m/s):	3236		Ganancia (dB):	64,3	Dimensiones:	0,750X0,750
	Rango (mm):	120	Modo:	PULSO/ECHO		Angulo:	70°	Frecuencia:	2,25 MHz
	Bloque Calibración:	DSC				Técnica:	Haz Angular	Acoplante:	Gel (metil celulosa)
SUPERFICIES DE INSPECCIÓN		Material:	ASTM A36	Condición Superficial:	Sin pintura	Espesores de plancha (mm):		8	

**3. DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO/PIEZA**

**3.1 DESCRIPCIÓN: INSPECCIÓN DE SOLDADURAS A: CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

**3.2 ESQUEMAS:**



JUNTA A TOPE  
TIPO A

UBICACIÓN






CUPÓN GMAW-83PM 150
CUPÓN GMAW-83PM 300
CUPÓN GMAW-83PM 250
CUPÓN GMAW-83PM 200

**4. REGISTRO DE INSPECCIÓN**

ELEMENTO	JUNTA	TIPO	SOLDADOR	FECHA	ÁNGULO(S) TRANSDUCTOR	DEDE LA CARA	PIEBINA (UT)	RESULTADOS		CAMINO SÓNICO (S)	CLASIFICACIÓN DISCONTINUIDAD (1)	EVALUACIÓN DISCONTINUIDAD	PROFUNDIDAD (mm)	LONGITUD (mm)	UBICACIÓN		FECHA	SOLDADOR	RESULTADOS	
								ACEPTADA	RECHAZADA						X (mm)	Y (mm)			ACEPTADA	RECHAZADA
CUPÓN GMAW-8 IPM 150	LADO A	A	-	2022-03-21	70	A	HI	..	X	33,3 27,4	A	4 3	5 a 6	90 25	90 260	..	..	..	..	
	LADO B	A	-	2022-03-21	70	A	HI	..	X	26,3	A	2	7	20	60	..	..	..	..	
CUPÓN GMAW-8 IPM 300	LADO A	A	-	2022-03-21	70	A	HI	..	X	29,3	A	1	6	30	160	..	..	..	..	
	LADO B	A	-	2022-03-21	70	A	HI	..	X	29,5	A	3	6	40	230	..	..	..	..	
CUPÓN GMAW-8 IPM 250	LADO A	A	-	2022-03-21	70	A	HI	X	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
	LADO B	A	-	2022-03-21	70	A	HI	X	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
CUPÓN GMAW-8 IPM 200	LADO A	A	-	2022-03-21	70	A	HI	X	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
	LADO B	A	-	2022-03-21	70	A	HI	..	X	28,8 25,5 28,6 28,1	A	2 3 4 4	6 7 6 6	25 40 45 65	30 85 180 340	..	..	..	..	

**NOMENCLATURA:** Evaluación de la discontinuidad: A: Clase A, discontinuidad Mayor - Grande. / B: Clase B, discontinuidad Mediana. / C: Clase C, discontinuidad Pequeña. / D: Clase D, discontinuidad Menor.

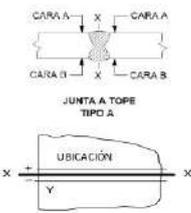
<p><b>5. RESULTADOS</b></p> <p>RESULTADOS OBTENIDOS: Las juntas de soldadura inspeccionadas NO cumplen con los criterios de aceptación estipulados en AWS D1.1-2020.</p> <p>ESTADO FINAL: <b>SOLDADURAS INSPECCIONADAS RECHAZADAS</b></p> <p>OBSERVACIONES: Se aplica ensayo a las juntas soldadas determinadas por el Cliente.</p>	<p><b>6. EQUIPOS ADICIONALES EMPLEADOS</b></p> <table border="0"> <tr> <th>Descripción</th> <th>I.D. / serie</th> <th>Calibrado el</th> </tr> <tr> <td>BLOQUE DSC</td> <td>43822</td> <td>2021-11-29</td> </tr> <tr> <td>FLEXÓMETRO</td> <td>339TC</td> <td>2021-08-30</td> </tr> </table>	Descripción	I.D. / serie	Calibrado el	BLOQUE DSC	43822	2021-11-29	FLEXÓMETRO	339TC	2021-08-30
Descripción	I.D. / serie	Calibrado el								
BLOQUE DSC	43822	2021-11-29								
FLEXÓMETRO	339TC	2021-08-30								
	<p><b>7. SOLICITADO POR: Sr. David Alban</b></p>									

<b>REALIZADO POR:</b> Nombre: Ing. Santiago Suquillo Cargo: Nivel II SNT-TC-1A		<b>REVISADO POR:</b> Nombre: Ing. Robert Toesa Cargo: Nivel III ASNT 218812		<b>RECIBIDO POR:</b>	
Fecha: 2022-03-28 Firma:  	Fecha: 2022-03-28 Firma:  	Fecha: Firma:	Fecha: Firma:	Fecha: Firma:	Fecha: Firma:

  <p>SERVICIO DE ACREDITACIÓN ECUATORIANO Acreditación N° SAE OI 16-009 INSPECCIÓN</p>	<b>REPORTE DE INSPECCIÓN DE SOLDADURAS MEDIANTE ULTRASONIDO INDUSTRIAL</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <b>SR. DAVID ALBAN</b> </div>

<b>1. DATOS GENERALES</b>			
CLIENTE:	SR. DAVID ALBAN	ORDEN DE TRABAJO:	SINDES-02-139-0322
LOCACIÓN:	INSTALACIONES SINDESECUADOR QUITO	REPORTE No.:	001 PÁG.: 3 DE 3 REV.: 0
ORIGEN:	TESIS ESPOCH	FEHA DE EMISIÓN:	2022-03-28
PROCEDIMIENTO (S):	SINDES-PR-0402-020 / UT Aws	FECHA DE INSPECCIÓN:	2021-03-25
CÓDIGO / ESTÁNDAR:	AWS D1.1:2020 / Structural Welding Code - Steel ASTM E164-19 / Standard Practice for Contact Ultrasonic Testing of Weldments		

<b>2. GENERAL</b>									
EQUIPO	Detector de fallas:	SIUI CTS-9005 S/N: 549311120034	Calibrado el:	2021-12-09	PALPADOR	Transductor:	GE-5/N: 13FOOT8N		
	Retardo Zapata (µs):	18,29	Velocidad (m/s):	3236		Ganancia (dB):	64,3	Dimensiones:	0,750X0,750
	Rango (mm):	120	Modo:	PULSO/ECO		Angulo:	70°	Frecuencia:	2,25 MHz
	Bloque Calibración:	DSC	Técnica:	Haz Angular				Acoplante:	Gel (metil celulosa)
SUPERFICIES DE INSPECCIÓN		Material:	ASTM A36	Condición Superficial:	Sin pintura	Espesores de plancha (mm):	6		

<b>3. DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO/PIEZA</b>	
3.1 DESCRIPCIÓN:	INSPECCIÓN DE SOLDADURAS A:
3.2 ESQUEMAS:	CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA
 <p>JUNTA A TOPE TIPO A</p> <p>UBICACIÓN</p>	 <p>CUPÓN GMAW-6BPM 237</p>  <p>CUPÓN GMAW-6BPM 150</p>  <p>CUPÓN GMAW-6BPM 250</p>  <p>CUPÓN GMAW-6BPM 200</p>

<b>4. REGISTRO DE INSPECCIÓN</b>																				
ELEMENTO	JUNTA	TIPO	SOLDADOR	FECHA	ÁNGULO (S) TRANSDUCTOR	DESIDR. LA CARA	PIERNA (UT)	RESULTADO		GAINING SON (DB)	CLASIFICACIÓN DISCONTINUIDAD (E)	EVALUACIÓN DISCONTINUIDAD	PROFUNDIDAD (mm)	LONGITUD (mm)	UBICACIÓN		FECHA	SOLDADOR	RESULTADO	
								ACEPTA	RECHAZA						X (mm)	Y (mm)			ACEPTA	RECHAZA
CUPÓN GMAW-6 IPM 237	LADO A	A	-	2022-03-21	70	A	HI	X	X	26,9	A	0	2 a 3	30	200	-	-	-	-	
	LADO B	A	-	2022-03-21	70	A	HI	X	X	26,5	A	0	3	25	270	-	-	-	-	
CUPÓN GMAW-6 IPM 150	LADO A	A	-	2022-03-21	70	A	HI	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	LADO B	A	-	2022-03-21	70	A	HI	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CUPÓN GMAW-6 IPM 250	LADO A	A	-	2022-03-21	70	A	HI	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	LADO B	A	-	2022-03-21	70	A	HI	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CUPÓN GMAW-6 IPM 200	LADO A	A	-	2022-03-21	70	A	HI	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	LADO B	A	-	2022-03-21	70	A	HI	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

NOMENCLATURA: Evaluación de la discontinuidad: A: Clase A, discontinuidad Mayor - Grande. / B: Clase B, discontinuidad Mediana. / C: Clase C, discontinuidad Pequeña. / D: Clase D, discontinuidad Menor.

<b>5. RESULTADOS</b>		<b>6. EQUIPOS ADICIONALES EMPLEADOS</b>	
RESULTADOS OBTENIDOS:	Las juntas de soldadura inspeccionadas NO cumplen con los criterios de aceptación estipulados en AWS D1.1-2020.	Descripción	I.D. / Serie
ESTADO FINAL:	SOLDADURAS INSPECCIONADAS RECHAZADAS	BLOQUE DSC	43822
OBSERVACIONES:	Se aplica ensayo a las juntas soldadas determinadas por el Cliente.	FLEXOMETRO	339TC
		Calibrado el	2021-11-29
			2021-08-30
		<b>7. SOLICITADO POR:</b>	Sr. David Alban

<b>REALIZADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>RECIBIDO POR:</b>	
Nombre:	Ing. Santiago Suquillo	Nombre:	Ing. Robert Toasa	Nombre:	
Cargo:	Nivel II SNT-TC-1A	Cargo:	Nivel III ASNT 218812	Cargo:	
Fecha:	2022-03-28	Fecha:	2022-03-28	Fecha:	
Firma:		Firma:		Firma:	

## ANEXO C: RESULTADOS ENSAYOS DE TRACCIÓN.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS  
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

F01-PE-LAEV-01 Rev.01

### INFORME TÉCNICO

LAEV – M22.041

Quito, 21 de abril de 2022

**Solicitado por:** Ing. Carlos Serrano, M.Sc.  
**Persona de contacto:** David Albán  
**Teléfono:** 0995666713  
**Correo:** davidalban@esPOCH.edu.ec  
**Fecha de recepción:** 06/04/2022  
**Fecha de ejecución:** 20/04/2022

**ORDEN DE TRABAJO Nº:** DM-OT0041-2022

1. **MUESTRAS:** Veinte y cuatro (24) probetas planas de juntas soldadas para ensayo de tracción.

#### 2. GENERALIDADES E IDENTIFICACIÓN:

La siguiente descripción fue proporcionada por el cliente:

**Título de la tesis:** EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y CARACTERIZACIÓN METALOGRAFICA DE JUNTAS SOLDADAS A TOPE BAJO PROCESO GMAW EN EL ACERO A36 CON MATERIAL DE APORTE ER70S-6

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

Tabla 1. Identificación de las muestras

Id. cliente	Id. LAEV
GMAW-150-6 (T1-T2)	M22.041.01 - M22.041.02
GMAW-200-6 (T1-T2)	M22.041.03 - M22.041.04
GMAW-250-6 (T1-T2)	M22.041.05 - M22.041.06
GMAW-237-6 (T1-T2)	M22.041.07 - M22.041.08
GMAW-150-8 (T1-T2)	M22.041.09 - M22.041.10
GMAW-200-8 (T1-T2)	M22.041.11 - M22.041.12
GMAW-250-8 (T1-T2)	M22.041.13 - M22.041.14
GMAW-300-8 (T1-T2)	M22.041.15 - M22.041.16
GMAW-200-10 (T1-T2)	M22.041.17 - M22.041.18
GMAW-250-10 (T1-T2)	M22.041.19 - M22.041.20
GMAW-300-10 (T1-T2)	M22.041.21 - M22.041.22
GMAW-325-10 (T1-T2)	M22.041.23 - M22.041.24

### 3. CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura:  $18,2 \pm 1,2$  °C

Humedad relativa:  $65,7 \pm 1,5$  %

### 4. ENSAYO DE TRACCIÓN EN JUNTAS SOLDADAS

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

Tabla 2. Ensayo de tracción.

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Obs.
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M22.041.01	21,13	5,92	12 308	54 749	63,5	437,7	FMB
M22.041.02	20,62	5,87	10 658	47 409	56,8	391,7	ZAC
M22.041.03	17,63	5,90	9 995	44 459	62,0	427,4	FMB
M22.041.04	20,42	5,93	12 125	53 937	64,6	445,4	FMB
M22.041.05	19,93	5,97	11 738	52 215	63,6	438,8	FMB
M22.041.06	16,98	5,98	9 909	44 077	63,0	434,1	FMB
M22.041.07	21,11	5,98	9 311	41 417	47,6	328,1	FJS
M22.041.08	21,48	6,16	12 215	54 335	59,6	410,6	FMB
M22.041.09	18,45	7,91	15 136	67 329	66,9	461,3	FJS
M22.041.10	18,20	7,89	14 792	65 800	66,5	458,2	FJS
M22.041.11	22,75	7,92	18 394	81 819	65,9	454,1	FJS
M22.041.12	21,40	7,85	17 616	78 359	67,7	466,4	FJS
M22.041.13	21,56	7,91	18 325	81 512	69,3	478,0	FMB
M22.041.14	21,94	7,85	18 389	81 796	68,9	474,9	FMB
M22.041.15	21,89	8,05	18 163	80 791	66,5	458,5	FMB
M22.041.16	20,92	8,04	17 428	77 524	66,8	460,9	FJS
M22.041.17	21,36	9,94	22 897	101 849	69,6	479,7	FMB
M22.041.18	21,68	9,88	21 484	95 564	64,7	446,1	FJS
M22.041.19	21,12	9,94	22 673	100 856	69,7	480,4	FMB
M22.041.20	21,68	9,91	22 935	102 018	68,9	474,8	FMB
M22.041.21	21,31	9,98	23 186	103 135	70,3	484,9	FMB
M22.041.22	21,00	9,95	22 872	101 739	70,6	486,9	FMB
M22.041.23	22,59	9,87	22 467	99 940	65,0	448,2	ZAC
M22.041.24	23,14	9,96	24 292	108 054	68,0	468,8	FMB

\*FMB= Falla en el material base

\*FJS= Falla en la junta soldada

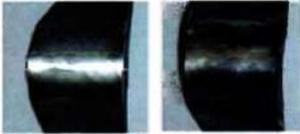
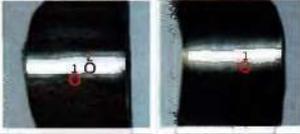
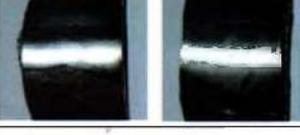
\*ZAC= Zona afectada por el calor

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

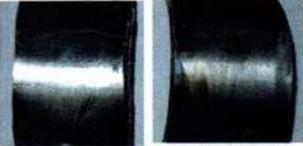
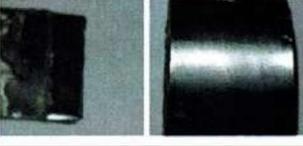
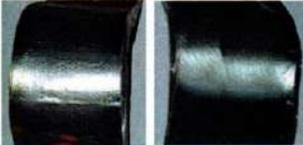
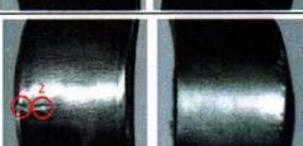
Además, los valores de fuerza que se emiten en el presente documento (y con los que se ha evaluado la conformidad) corresponden a valores corregidos en función del último certificado de calibración del equipo de fuerza y no se ha utilizado el valor de la incertidumbre.

	REVISADO POR:	APROBADO POR:
<b>Firma:</b>	 <p>Firma electrónica por: JONATHAN FERNANDO CASTRO REVELLO</p>	<p>WILSON IVAN GUACHAMIN ACERO</p> <p>Firmado digitalmente por WILSON IVAN GUACHAMIN ACERO Fecha: 2022.04.22 10:02:41 -05'00'</p>
<b>Nombre:</b>	Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ph.D. Wilson Guachamín
<b>Cargo:</b>	ESPECIALISTA DE LABORATORIO	JEFE
<b>LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES</b>		

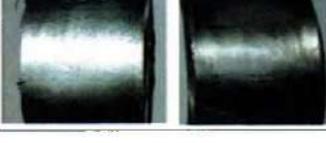
**ANEXO D: RESULTADOS ENSAYOS DE DOBLEZ.**

RESULTADOS ENSAYOS DE DOBLADO (CARA- RAIZ)						
IDENTIFICACIÓN: ESPOCH_ALBAN_8210						
Denominación	Observaciones		Imagen	Calificación	Calificación Global	
	Cara (C1)	Raíz (R1)				
GMAW-150-6	1	Sin observaciones	Sin observaciones		C1: Aprueba	Aprueba
					R1: Aprueba	
	2	Sin observaciones	Sin observaciones		C2: Aprueba	
					R2: Aprueba	
GMAW-200-6	1	Indicaciones: 1. 1 mm 2. 1 mm	Indicaciones: 1. 1 mm		C1: Aprueba	Aprueba
					R1: Aprueba	
	2	Sin observaciones	Sin observaciones		C2: Aprueba	
					R2: Aprueba	
GMAW-237-6	1	Indicaciones: 1. 5 mm 2. 3 mm 3. 3 mm	Sin observaciones		C1: No aprueba	No aprueba
					R1: Aprueba	
	2	Sin observaciones	Indicaciones: 1. 2 mm 2. 2 mm		C2: Aprueba	
					R2: Aprueba	
GMAW-250-6	1	Sin observaciones	Sin observaciones		C1: Aprueba	Aprueba
					R1: Aprueba	
	2	Indicaciones: 1. 4 mm 2. 2 mm	Sin observaciones		C2: Aprueba	
					R2: Aprueba	
GMAW-250-8	1	Sin observaciones	Sin observaciones		C1: Aprueba	
					R1: Aprueba	



	2	Sin observaciones	Sin observaciones		C2: Aprueba	
					R2: Aprueba	
GMAW-200-8	1	Fractura Total	Sin observaciones		C1: No aprueba	No aprueba
					R1: Aprueba	
	2	Sin observaciones	Sin observaciones		C2: Aprueba	
					R2: Aprueba	
GMAW-150-8	1	Indicaciones: 1. 5 mm	Sin observaciones		C1: No aprueba	No aprueba
					R1: Aprueba	
	2	Fractura Total	Sin observaciones		C2: No aprueba	
					R2: Aprueba	
GMAW-300-8	1	Fractura Parcial	Sin observaciones		C1: No aprueba	No aprueba
					R1: Aprueba	
	2	Indicaciones: 1. 4 mm 2. 5 mm	Sin observaciones		C2: No aprueba	
					R2: Aprueba	
GMAW-200-10	1	Fractura Total	Sin observaciones		C1: No aprueba	No aprueba
					R1: No aprueba	
	2	Fractura Total	Sin observaciones		C2: No aprueba	
					R2: No aprueba	



GMAW-250-10	1	Sin observaciones	Sin observaciones		C1: Aprueba	Aprueba
					R1: Aprueba	
	2	Sin observaciones	Sin observaciones		C2: Aprueba	
					R2: Aprueba	
GMAW-300-10	1	Sin observaciones	Sin observaciones		C1: Aprueba	Aprueba
					R1: Aprueba	
	2	Indicaciones: 1. 1 mm 2. 1 mm	Sin observaciones		C2: Aprueba	
					R2: Aprueba	
GMAW-325-10	1	Sin observaciones	Sin observaciones		C1: Aprueba	Aprueba
					R1: Aprueba	
	2	Sin observaciones	Sin observaciones		C2: Aprueba	
					R2: Aprueba	


  
 Ing. Gabriel E. Velasco Msc  
 Inspector De Soldadura Certificado CMI  
 Responsable Técnico del Laboratorio De Soldadura