



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

**“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y  
EVALUACIÓN METALOGRAFICA DE JUNTAS SOLDADAS  
MEDIANTE PROCESO GTAW DE ALUMINIO GRADO  
ESTRUCTURAL (ZICRAL)”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para obtener el grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES:**

**DANILO MANUEL YANCHATIPAN SISA**  
**KAREN FERNANDA REMACHE CATAGÑA**

Riobamba – Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

**“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y  
EVALUACIÓN METALGRÁFICA DE JUNTAS SOLDADAS  
MEDIANTE PROCESO GTAW DE ALUMINIO GRADO  
ESTRUCTURAL (ZICRAL)”**

**Trabajo de integración curricular**

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para obtener el grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES:** DANILO MANUEL YANCHATIPAN SISA

KAREN FERNANDA REMACHE CATAGÑA

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

Riobamba – Ecuador

2022

**©2022, Danilo Manuel Yachatipan Sisa; Karen Fernanda Remache Catagña**

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

Nosotros, DANILO MANUEL YANCHATIPAN SISA y KAREN FERNANDA REMACHE CATAGÑA, declaramos que el presente trabajo de integración curricular es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos redactados en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos del trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 25 de enero de 2022



**Danilo Manuel Yanchatipan Sisa**

**025000644-2**



**Karen Fernanda Remache Catagña**

**060451178-2**

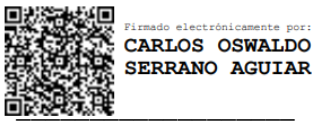
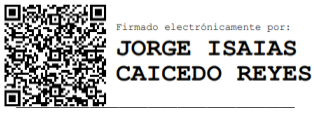


**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto técnico, “ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y EVALUACIÓN METALOGRAFICA DE JUNTAS SOLDADAS MEDIANTE PROCESO GTAW DE ALUMINIO GRADO ESTRUCTURAL (ZICRAL)” realizado por el señor **DANILO MANUEL YANCHATIPAN SISA** y la señorita **KAREN FERNANDA REMACHE CATAGÑA**, 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.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. M.Sc. Edwin Fernando Viteri Núñez <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ	2022-01-25
Ing. M.Sc. Carlos Oswaldo Serrano Aguiar <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 Firmado electrónicamente por: CARLOS OSWALDO SERRANO AGUIAR	2022-01-25
Ing. M.Sc. Jorge Isaías Caicedo Reyes <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: JORGE ISAIAS CAICEDO REYES	2022-01-25

## **DEDICATORIA**

A Dios por derramarme de bendiciones y llenarme de fuerzas para vencer todos los obstáculos que han estado presentes. A mis padres Manuel y Gloria que, con su amor, cariño, paciencia y su bendición supieron apoyarme en toda la carrera, a mis hermanos Daniela y David por ser mi aliento de fuerza cada día, a mi tío Homero (+) por sus palabras y su entusiasmo de querer verme graduado, a mi familia por darme todo su apoyo incondicional y a Liliana por haber estado presente en todos mis buenos y malos momentos que fueron muy decisivos e importantes para mí, en especial en este, gracias por todo.

*Danilo*

Dedico este trabajo de investigación a mis amados padres por su apoyo, comprensión y amor incondicional en todo momento, a mis hermanos y demás familiares por ser mi inspiración a lo largo de esta etapa de mi vida, a mis queridos docentes que han sido mi guía y han sustentado mis saberes y a mis amigos que formaron una parte importante de mi vida en esta faceta.

*Karen*

## AGRADECIMIENTO

A la ESPOCH y la carrera de Mecánica por brindarme la oportunidad de formarme en el camino de un profesional.

Al Ing. Carlos Serrano por respaldarnos mediante sus conocimientos y ser una guía esencial en el desarrollo del presente trabajo.

Al Ing. Edwin Sánchez y su equipo de trabajo por brindarme su apoyo incondicional en su taller.

A mis compañeros de promoción y a los que conocí en el transcurso de la carrera les doy las gracias por brindarme sus palabras de aliento.

A mi grupo de amigos de colegio que siempre estuvieron pendientes y esperaron a este momento.

Muchas gracias por todo su apoyo brindado amigos.

*Danilo*

Agradezco a Jehová Dios por haberme permitido culminar esta meta, a mis padres por siempre apoyarme, a la ESPOCH y a la Carrera de Mecánica por haberme dado la oportunidad de formarme en sus aulas para ser una gran profesional, a mis queridos docentes por su paciencia, su guía y su dedicación a la hora de impartirme sus conocimientos y a mis amigos por ser una buena compañía en este gran viaje que estoy culminando.

.

*Karen*

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Delimitación.....	3
1.2.1. <i>Delimitación espacial</i> .....	3
1.2.2. <i>Delimitación sectorial</i> .....	3
1.3. Formulación del problema.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	4
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>5</b>
2.1. Aluminio.....	5
2.1.1. <i>Producción del aluminio</i> .....	5
2.1.2. <i>Formas de producto del aluminio</i> .....	6
2.1.3. <i>Elementos aleantes presentes en el aluminio</i> .....	7
2.1.4. <i>Designación de aleaciones de aluminio según elementos de aleación</i> ....	8
2.2. Aluminio estructural en la ingeniería.....	8
2.2.1. <i>Aluminio grado estructural</i> .....	9
2.2.2. <i>Aluminio-cobre</i> .....	9
2.2.3. <i>Aluminio-zinc</i> .....	9
2.3. Zicral (7075-T6).....	10
2.3.1. <i>Propiedades del zicral (7075-T6)</i> .....	10
2.3.2. <i>Composición química del zicral-T6</i> .....	10

2.3.3.	<i>Propiedades mecánicas del zircal-T6</i> .....	11
2.3.3.1.	<i>Propiedades mecánicas del zircal-T6 (de manera más general)</i> .....	11
2.3.4.	<i>Propiedades físicas del zircal T6</i> .....	12
2.4.	<b>Tratamientos térmicos en las aleaciones de aluminio</b> .....	12
2.4.1.	<i>Endurecimiento por envejecimiento (T6)</i> .....	14
2.4.2.	<i>Relación dureza-temperatura-tiempo de envejecimiento</i> .....	18
2.4.3.	<i>Diagrama de fase del material base: AL-Zn (7xxx)</i> .....	19
2.5.	<b>Aplicaciones del zircal</b> .....	19
2.6.	<b>Influencia de la temperatura en propiedades mecánicas del aluminio</b> .....	20
2.7.	<b>Corte por chorro de agua</b> .....	21
2.8.	<b>Metal de aporte</b> .....	21
2.8.1.	<i>Selección del material de aporte</i> .....	21
2.8.2.	<i>Componentes químicos del metal de aporte ER 4043</i> .....	22
2.8.3.	<i>Propiedades físicas del metal de aporte ER 4043</i> .....	23
2.9.	<b>Cordón de soldadura</b> .....	23
2.10.	<b>Soldadura GTAW(TIG) para aluminio</b> .....	24
2.10.1.	<i>Arco Eléctrico</i> .....	25
2.10.2.	<i>Electrodo de Tungsteno</i> .....	26
2.10.2.1.	<i>Selección del electrodo de tungsteno</i> .....	26
2.10.3.	<i>Gases de Protección</i> .....	27
2.10.4.	<i>Descripción del proceso de soldadura</i> .....	27
2.10.5.	<i>Polaridades de trabajo</i> .....	28
2.10.6.	<i>Polaridad CDEP</i> .....	28
2.10.7.	<i>Corriente Alterna</i> .....	29
2.11.	<b>Limpieza iónica</b> .....	30
2.12.	<b>Alta Frecuencia</b> .....	30
2.13.	<b>Parámetros para soldar aluminio</b> .....	30
2.13.1.	<i>Intensidad de corriente</i> .....	31
2.13.2.	<i>Gas de protección</i> .....	31
2.14.	<b>Caracterización metalográfica</b> .....	31
2.14.1.	<i>Espectroscopia de energía dispersiva</i> .....	31
2.14.2.	<i>Principio de funcionamiento</i> .....	32
2.15.	<b>Ensayo de dureza</b> .....	32
2.15.1.	<i>Selección del método de ensayo de dureza</i> .....	33
2.15.2.	<i>Dureza vickers</i> .....	33
2.16.	<b>Resistencia a la tracción</b> .....	34

2.17.	Ensayo de tracción (sección reducida).....	35
-------	--	----

### CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	36
3.1.	Placas de experimentación.....	36
3.1.1.	<i>Preparación de las juntas</i> .....	38
3.2.	Parámetros de soldeo.....	39
3.2.1.	<i>Parámetros a variar en el proceso de soldadura GTAW</i> .....	39
3.3.	Codificación.....	39
3.4.	Obtención de las juntas soldadas.....	40
3.4.1.	<i>Equipo de soldadura</i> .....	40
3.4.2.	<i>Proceso de soldadura</i> .....	41
3.5.	Inspección de las placas.....	42
3.5.1.	<i>Inspección visual</i> .....	43
3.5.2.	<i>Tintas penetrantes</i> .....	43
3.5.2.1.	<i>Procedimiento</i> .....	44
3.5.2.2.	<i>Aceptación</i> .....	45
3.6.	Probetas para realización de ensayos.....	46
3.7.	Análisis metalográfico.....	46
3.7.1.	<i>Preparación de muestras</i> .....	47
3.8.	Dureza.....	48
3.8.1.	<i>Equipo para realizar el ensayo de dureza</i> .....	48
3.8.2.	<i>Procedimiento para realizar el ensayo de dureza</i> .....	49
3.9.	Ensayos Destructivos.....	50
3.9.1	<i>Ensayo de tracción</i> .....	50
3.9.1.1.	<i>Probetas</i> .....	50
3.9.1.2.	<i>Equipo para los ensayos de tracción</i> .....	51
3.10.	Costos.....	52
3.10.1.	<i>Costos directos</i> .....	52
3.10.2.	<i>Costos indirectos</i> .....	53
3.10.3.	<i>Costo total</i> .....	53

### CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	54
4.1.	Material base.....	54
4.1.1.	<i>Espectroscopia por chispa del metal base</i> .....	54

4.1.2.	<i>Microestructuras del metal base</i> .....	54
4.1.3.	<i>Dureza del metal base</i> .....	56
4.1.4.	<i>Tracción del metal base</i> .....	56
4.2.	<b>Juntas soldadas</b> .....	56
4.2.1.	<i>Inspección visual</i> .....	58
4.2.2.	<i>Tintas penetrantes</i> .....	60
4.2.3.	<i>Micrografía de las juntas soldadas</i> .....	61
4.2.4.	<i>Dureza de las juntas soldadas</i> .....	82
4.2.5.	<i>Resistencia a la tracción de las juntas soldadas</i> .....	84
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	86
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	87
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Matriz morfológica.....	7
<b>Tabla 2-2:</b>	Beneficios de los elementos aleantes en el aluminio.....	7
<b>Tabla 3-2:</b>	Clasificación de las aleaciones de aluminio según sus elementos de aleación.....	8
<b>Tabla 4-2:</b>	Componentes químicos del zircal.....	11
<b>Tabla 5-2:</b>	Propiedades mecánicas del zircal-T6.....	11
<b>Tabla 6-2:</b>	Propiedades mecánicas del zircal T6 (de manera más general).....	12
<b>Tabla 7-2:</b>	Propiedades físicas del zircal T6.....	12
<b>Tabla 8-2:</b>	Designación para los tratamientos térmicos .....	13
<b>Tabla 9-2:</b>	Continuación de los tratamientos térmicos.....	13
<b>Tabla 10-2:</b>	Selección del metal de aporte correspondiente al tipo de aleación.....	22
<b>Tabla 11-2:</b>	Componentes químicos del aluminio de relleno 4043.....	23
<b>Tabla 12-2:</b>	Propiedad física del aluminio de relleno 4043.....	23
<b>Tabla 13-2:</b>	Rangos de corriente típicos para electrodos de tungsteno.....	26
<b>Tabla 14-2:</b>	Consideraciones para la selección del método de ensayo de dureza.....	33
<b>Tabla 1-3:</b>	Codificación de las placas soldadas.....	40
<b>Tabla 2-3:</b>	Especificaciones de la máquina para soldar.....	41
<b>Tabla 3-3:</b>	Criterios de aceptación de las placas por medio de la inspección visual.....	43
<b>Tabla 4-3:</b>	Equipo para tintas penetrantes .....	44
<b>Tabla 5-3:</b>	Criterios de aceptación de las placas por medio de tintas penetrantes.....	45
<b>Tabla 6-3:</b>	Especificaciones del microscopio óptico.....	47
<b>Tabla 7-3:</b>	Especificaciones del microscopio SEM.....	47
<b>Tabla 8-3:</b>	Especificaciones de la máquina para ensayo de dureza.....	49
<b>Tabla 9-3:</b>	Designación de los puntos.....	49
<b>Tabla 10-3:</b>	Características técnicas de la máquina Metro test 1500 kN.....	51
<b>Tabla 11-3:</b>	Costos de materiales.....	52
<b>Tabla 12-3:</b>	Costos de mano de obra .....	52
<b>Tabla 13-3:</b>	Costos de equipos y herramientas.....	53
<b>Tabla 14-3:</b>	Costos de transporte .....	53
<b>Tabla 15-3:</b>	Costos indirectos.....	53
<b>Tabla 16-3:</b>	Costo total.....	53
<b>Tabla 1-4:</b>	Componentes por espectrometría por chispa.....	54
<b>Tabla 2-4:</b>	Velocidad de avance y argón consumido.....	58



<b>Tabla 3-4:</b>	Juntas soldadas con los diferentes parámetros-vistas laterales.....	58
<b>Tabla 4-4:</b>	Resultados de tintas penetrantes de P180/5, ampliación de lente ocular 10X.....	60
<b>Tabla 5-4:</b>	Análisis de porosidades en zonas.....	61
<b>Tabla 6-4:</b>	Micrografías de las juntas soldadas.....	62
<b>Tabla 7-4:</b>	Micrografías de las juntas soldadas mediante SEM.....	72
<b>Tabla 8-4:</b>	Vista de un cordón a través de SEM.....	74
<b>Tabla 9-4:</b>	Composición del material mediante SEM.....	75
<b>Tabla 10-4:</b>	Resultados de los ensayos de tracción de las probetas.....	84
<b>Tabla 11-4:</b>	Resistencia a la tracción promedio.....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Proceso de producción del aluminio.....	6
<b>Figura 2-2:</b>	Sistema de los cuatro dígitos, según ANSI.....	8
<b>Figura 3-2:</b>	Ilustración del ciclo de tratamiento de solución y tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento (precipitación).....	15
<b>Figura 4-2:</b>	Temperaturas correspondientes tanto para el envejecimiento artificial como natural.....	16
<b>Figura 5-2:</b>	Condiciones para que el material pueda ser endurecido por precipitación...	16
<b>Figura 6-2:</b>	Proceso para el tratamiento térmico de endurecimiento por precipitación...	17
<b>Figura 7-2:</b>	Proceso de endurecimiento por precipitación de una aleación de aluminio..	17
<b>Figura 8-2:</b>	Aluminio 7075 obtenido bajo tratamiento térmico T6.....	18
<b>Figura 9-2:</b>	Curva característica voltaje-corriente de una fuente de energía para soldadura por arco.....	26
<b>Figura 10-2:</b>	Proceso GTAW.....	27
<b>Figura 11-2:</b>	Polaridad CDEN.....	28
<b>Figura 12-2:</b>	Polaridad DCEP.....	29
<b>Figura 13-2:</b>	Polaridad CA.....	29
<b>Figura 14-2:</b>	Proceso de limpieza iónica.....	30
<b>Figura 15-2:</b>	Calidad de imágenes que proporciona el EDS.....	32
<b>Figura 16-2:</b>	Esquema que ilustra el penetrador de la pirámide de diamantes de Vickers y la muesca producida.....	34
<b>Figura 17-2:</b>	Diagrama Tensión – Deformación.....	35
<b>Figura 18-2:</b>	Probeta para ensayo de tracción de sección reducida de acuerdo con la norma, unidades en mm.....	35
<b>Figura 1-3:</b>	Dimensiones de la plancha.....	36
<b>Figura 2-3:</b>	Dimensiones de las placas a soldar mediante proceso GTAW. Distribución de las zonas.....	37
<b>Figura 3-3:</b>	Proceso de corte pororro de agua del material base.....	37
<b>Figura 4-3:</b>	Diseño de la junta CJP.....	38
<b>Figura 5-3:</b>	Diagrama de proceso de biselado.....	38
<b>Figura 6-3:</b>	Designación de parámetros.....	39
<b>Figura 7-3:</b>	Equipo utilizado para realizar los cordones de soldadura.....	40
<b>Figura 8-3:</b>	Punta de tungsteno redondeada.....	41
<b>Figura 9-3:</b>	Realización del canal.....	41

<b>Figura 10-3:</b>	Placas extras al principio y final del cordón de soldadura.....	42
<b>Figura 11-3:</b>	Desarrollo de los cordones.....	42
<b>Figura 12-3:</b>	Perfil aceptable de soldadura de ranura en una junta a tope soldada desde un lado.....	43
<b>Figura 13-3:</b>	Cordones aplicados tintas penetrantes.....	45
<b>Figura 14-3:</b>	Observación de discontinuidades.....	45
<b>Figura 15-3:</b>	Probetas cortadas.....	46
<b>Figura 16-3:</b>	Microscopio óptico.....	46
<b>Figura 17-3:</b>	Microscopio SEM.....	47
<b>Figura 18-3:</b>	Apreciación del cordón de raíz y de refuerzo.....	48
<b>Figura 19-3:</b>	Equipo utilizado para realizar los ensayos de dureza.....	48
<b>Figura 20-3:</b>	Puntos para dureza vickers.....	49
<b>Figura 21-3:</b>	Medición de la penetración de indentador.....	50
<b>Figura 22-3:</b>	Probeta para ensayo de tracción (sección reducida).....	51
<b>Figura 23-3:</b>	Equipo utilizado para realizar los ensayos de tracción.....	51
<b>Figura 1-4:</b>	Vista tridimensional de una plancha 7075 T6.....	55
<b>Figura 2-4:</b>	Plancha 7075 T6 (A) vista superior, (B) vista lateral.....	55
<b>Figura 3-4:</b>	Vista tridimensional de una plancha.....	55
<b>Figura 4-4:</b>	Cordón de soldadura (A) vista superior, (B) vista inferior.....	60
<b>Figura 5-4:</b>	Inclusiones en el metal base.....	72

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b>	Esquema de tratamiento térmico T6.....	18
<b>Gráfico 2-2:</b>	Relación de dureza-temperatura-tiempo de envejecimiento.....	18
<b>Gráfico 3-2:</b>	Diagrama de fase aluminio-zinc.....	19
<b>Gráfico 4-2:</b>	Propiedades mecánicas del aluminio a elevadas temperaturas. (1) elongación, (2) resistencia a la tracción, (3) resistencia a la fluencia.....	20
<b>Gráfico 5-2:</b>	Velocidad de deformación vs resistencia a la tensión del aluminio.....	20
<b>Gráfico 6-2:</b>	Efecto de la soldadura en aleación 6061 T6 endurecida por envejecimiento.....	24
<b>Gráfico 1-4:</b>	Gráfica esfuerzo vs deformación de placa base.....	56
<b>Gráfico 2-4:</b>	Tiempo correspondiente a cada placa.....	57
<b>Gráfico 3-4:</b>	Velocidad de avance.....	59
<b>Gráfico 4-4:</b>	Dureza a lo largo de la sección longitudinal de las juntas soldadas.....	82
<b>Gráfico 5-4:</b>	Dureza a lo largo de la sección longitudinal de las juntas soldadas.....	83
<b>Gráfico 6-4:</b>	Dureza en el metal fundido.....	83
<b>Gráfico 7-4:</b>	Resistencia a la tracción promedio de las juntas soldadas.....	85

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** WPS

**ANEXO B:** Reporte de tintas penetrantes.

**ANEXO C:** Resultados de tintas penetrantes.

**ANEXO D:** Informe de dureza de las juntas soldadas.

**ANEXO E:** Informe de ensayos de tracción.

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue determinar la resistencia a la tracción y evaluar metalográficamente las juntas soldadas de aluminio grado estructural mediante el proceso GTAW, cuyo aluminio seleccionado fue el 7075 T6 para su estudio. Se inició realizando estudios tanto teóricos y experimentales para identificar los parámetros idóneos y el adecuado procedimiento para la realización de la soldadura; debido a que la reacción que presenta el aluminio ante el oxígeno (alúmina) produce una gran complejidad para ser soldada. Los parámetros variados fueron intensidad de corriente y cantidad de flujo de gas de protección, de manera que se obtuvo 9 cordones. La inspección visual, preparación metalográfica, ensayos de dureza y ensayos de tracción de estos cordones, se los realizó bajo normas. Mediante el microscopio electrónico de barrido (SEM, Scanning Electron Microscope) se observó la composición química del material. Los datos obtenidos de todos los ensayos se procesaron mediante gráficas en Excel, cabe destacar que se dio los más altos resultados tanto de dureza y de tracción en las juntas soldadas que tuvieron una protección de argón de 10 litros/min, sin embargo, también tiene una gran relación el amperaje que se empleó. Se pudo notar la evolución microestructural de las zonas afectadas por el calor y de las zonas de fusión. De igual manera se analizó la influencia que tiene en las propiedades la composición. Por último, si se emplea un metal de relleno se recomienda buscar uno de la serie 5xxx ya que igual es mejor para soldar esta aleación de aluminio.

**Palabras clave:** <SOLDADURA GTAW> <ZICRAL> <MICROESTRUCTURAS> <ZONAS DE AFECTACIÓN TÉRMICA> <PERFIL DE DUREZA>.



Firmado electrónicamente por:  
**HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA**

0536-DBRA-UPT-2022

2022-03-25

## ABSTRACT

The objective of this project was to determine the tensile strength and metallographically evaluate structural grade aluminum welded joints using the GTAW process, whose selected aluminum was 7075 T6 for study. It began by carrying out both theoretical and experimental studies to identify the ideal parameters and the appropriate procedure for carrying out the welding; because the reaction that aluminum presents with oxygen (alumina) produces a great complexity to be welded. The varied parameters were current intensity and amount of protection gas flow, so that 9 cords were obtained. The visual inspection, metallographic preparation, hardness tests and tensile tests of these cords were carried out under standards. Using the scanning electron microscope (SEM, Scanning Electron Microscope) the chemical composition of the material was observed. The data obtained from all the tests were processed through graphs in Excel, it should be noted that the highest results were given for both hardness and traction in the welded joints that had an argon protection of 10 liters / min, however, it also has a great relation the amperage that was used. The microstructural evolution of the heat-affected zones and the fusion zones could be noted. In the same way, the influence that the composition has on the properties was analyzed. Finally, if a filler metal is used, it is recommended to look for one of the 5xxx series since it is still better for welding this aluminum alloy.

**Keywords:** <GTAW WELDING> <ZICRAL> <MICROSTRUCTURES> <THERMAL AFFECT ZONES> <HARDNESS PROFILE>.

LUIS  
FRANCISCO  
MANTILLA  
CABRERA

Firmado  
digitalmente por  
LUIS FRANCISCO  
MANTILLA CABRERA  
Fecha: 2022.03.29  
23:11:34 -05'00'

## **INTRODUCCIÓN**

El aluminio estructural es usado por diversos países debido a sus grandes propiedades, los campos que lo han utilizado hasta la actualidad son la industria aeronáutica, naval, automotriz, estructuras convencionales, elementos mecánicos, etc. Sin embargo, en el país no se ha empleado este material debido a la falta de referencias bibliográficas con respecto a la soldadura de este tipo de aluminio, por este motivo se vio la necesidad de realizar un estudio detallado de la soldadura de juntas en este material.

La soldadura en este material ha presentado una gran dificultad puesto que el aluminio tiene una gran afinidad con el oxígeno, ya que al ponerse en contacto con este elemento da forma al óxido de aluminio o también conocido como Alúmina, en efecto, este último tiene un punto de fusión que va desde los 1985°C hasta los 2072°C, siendo más elevado que el aluminio, por esta razón se dificulta realizarla mediante un proceso convencional, por ello se considera utilizar el proceso de soldadura GTAW (Gas Tungsten Arc Welding o proceso TIG conocido comercialmente), debido a que utiliza un gas protector con lo cual se obtuvo un cordón limpio, se empleó una máquina de alta frecuencia y corriente alterna, esto ayudó en la ruptura de la capa de óxido al momento de fusionar el material base con el material de aporte.

En este trabajo se detalló el proceso de obtención de estas juntas soldadas, identificando que parámetros fueron los más adecuados para la obtención de una correcta fusión en el cordón de soldadura, después de lo cual se obtuvieron sus propiedades mecánicas, estos fueron respaldados con sus correspondientes ensayos, ante todo se empleó el uso de las normas y especificaciones técnicas que garantizaron los resultados obtenidos.



# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

La soldadura es uno de los métodos utilizados para establecer la unión entre 2 metales de similares características, pero no todos los procesos de soldadura son específicos para el aluminio ya que el problema es destruir la capa de óxido de alúmina, por esta razón se emplea el proceso de soldadura GTAW, el cual emplea un electrodo comúnmente de tungsteno como de wolframio, de igual manera está acompañado de un gas inerte protector, estos pueden ser el argón o el helio los cuales son utilizados para proteger al cordón de soldadura de la corrosión producida por la presencia del oxígeno en la atmósfera, como consecuencia obteniendo una mayor limpieza en el cordón (Díaz, 2019).

Los estudios que se presentan van acorde al material base y al proceso de soldadura GTAW, se evidencian cambios en propiedades mecánicas, presencia de discontinuidades, entre otros.

El trabajo realizado por (Tušek, J y Klobčar, D, 2016) muestra que el cordón presentó grietas por solidificación, y estas fueron visibles en el cordón de refuerzo, estas grietas son habituales en la soldadura de aluminio “debido a las altas tensiones en la soldadura como consecuencia de la alta expansión térmica y la contracción sustancial en la solidificación”. De igual manera (Tušek, J y Klobčar, D, 2016) argumentan que este tipo de grietas puede minimizarse considerando desde el estudio del metal de aporte hasta la selección del diseño de juntas.

Al hablar de propiedades mecánicas (De la Cruz, 2015) concluye, que existieron cambios muy relevantes debido a que los valores de las propiedades mismas se deterioraron a causa de la presencia de porosidad y grietas. Al analizar las micrografías (De la Cruz, 2015) documenta, que existe presencia de poros en el cordón de soldadura, a lo cual atribuye un bajo resultado con respecto a la dureza en el mismo.

El desarrollar cordones de soldadura en aleaciones de aluminio con una resistencia mecánica alta tiene su nivel de complejidad, por este motivo existen pocos estudios tanto a nivel nacional como internacional con respecto a las aleaciones 2xxx y 7xxx, (Pujari, K y Patil, D, 2014) nos indica algunas dificultades que presenta el desarrollo de los cordones en estos material, como por ejemplo el agrietamiento por solidificación dentro de la zona de fusión incluyendo la pérdida de elementos de aleación debido a la formación de ranuras, resultando en una pérdida de resistencia.

Los resultados dependerán de la selección del metal de aporte, (Kang, M y Kim,C, 2017) detallan que por lo general para el proceso de soldadura por arco se utiliza un alambre de relleno 4xxx que contiene Si el cual ayuda a suprimir la propagación de grietas en caliente, en otros casos se utiliza un alambre de relleno 5xxx para obtener fuerza de la junta.

Debido a sus excelentes propiedades mecánicas se realiza esta investigación, donde se observa cómo influye el proceso de soldadura en este tipo de aluminio, en donde se estudia las propiedades mecánicas en las juntas soldadas mediante ensayos de tracción y dureza, como recomienda la norma AWS D1.2/D1.2M. Por otra parte, estos valores se comparan con los del material base donde se analiza si estos valores cambian o se mantienen, con el fin de observar si se puede emplear este tipo de aluminio en aplicaciones donde se utiliza el acero.

## **1.2. Delimitación**

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

El presente trabajo se desarrolla en la ciudad de Riobamba, provincia Chimborazo del territorio nacional del Ecuador.

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

El desarrollo de este trabajo se acoge al Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, el cual tiene como primer objetivo garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas.

## **1.3. Formulación del problema**

Debido a la escasa información a nivel nacional y no tan específica a nivel internacional con respecto a la soldadura del aluminio de grado estructural se realiza el tema de investigación, el cual se enfoca en el estudio de las aleaciones de aluminio con zinc (ZICRAL), análisis de la caracterización metalográfica, ensayos de tracción y dureza. Por consiguiente, se da a conocer cómo influyen las juntas soldadas en las propiedades mecánicas del material, se detalla paso a paso la investigación desde la obtención del material, máquina para soldar, proceso de soldadura y ensayos correspondientes.

## **1.4. Objetivos**

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

Determinar la resistencia a la tracción y evaluar metalográficamente las juntas soldadas de aluminio grado estructural mediante proceso GTAW.

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

- Investigar el estado del arte del aluminio estructural y del proceso de soldadura GTAW, para realizar la soldadura de las juntas de zircal.
- Soldar diversas juntas de zircal de espesor de 6 mm, variando la corriente del arco y la cantidad de flujo de protección.
- Obtener la composición y microestructura de las juntas de zircal soldadas, para analizar las distintas zonas que se producen por la aplicación del proceso GTAW, mediante espectroscopia de dispersión de energía.
- Realizar ensayos de tracción y dureza aplicando las respectivas normas para obtener las propiedades mecánicas de las juntas de zircal soldadas por el proceso GTAW.

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

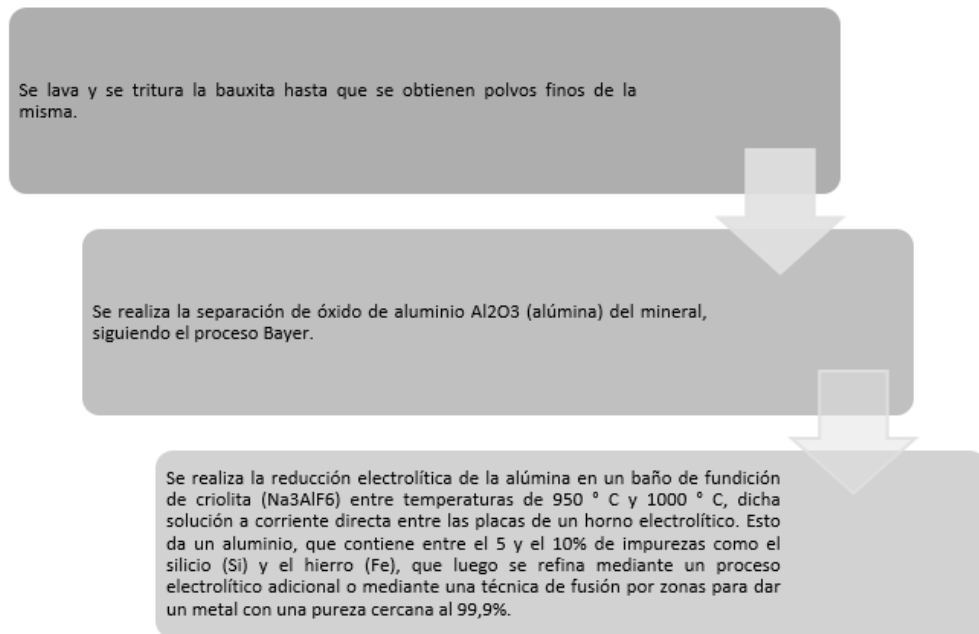
En el presente capítulo se detalla de manera teórica temas que abarcan desde el estudio del material base, material de aporte, soldadura, normas, ensayos, de modo que se entienda los diferentes temas que forman parte del proyecto de investigación.

#### 2.1. Aluminio

##### 2.1.1. Producción del Aluminio

El aluminio es el tercer elemento más común de la corteza terrestre y es uno de los metales más utilizados industrialmente por la humanidad, debido a sus propiedades tanto de ligereza, maleabilidad y de aparente resistencia a la corrosión. Este metal tiene un punto de fusión bajo de aproximadamente 660 °C (Uriarte, 2021). El aluminio al entrar en contacto con el oxígeno del aire inmediatamente y de manera espontánea produce la formación de una capa de óxido llamado Alúmina, esta capa que se forma tiene un espesor entre 2 a 10 micrómetros, transparente, tiene un punto de fusión de 1982.22 °C, motivo por el cual esta capa de óxido es difícil de romper para soldar el aluminio, por ello no se puede soldar las juntas de aluminio con un proceso convencional, limitando así también su aplicación (Arregui, 2020). El aluminio es un elemento metálico, el cual no es posible encontrarlo en estado puro en la naturaleza, éste está presente en la corteza terrestre como parte de numerosos silicatos y minerales, de los cuales hay varios cientos, la más importante y prolífica es la bauxita (Mathers, 2002). Desde 1886 se obtiene aluminio mediante un proceso electrolítico, inventado por Paul Héroult y Charles M. Hall, cuyo proceso básico todavía se utiliza en la actualidad (Mathers, 2002).

La Figura 1-2 muestra el proceso de extracción del aluminio (Mathers, 2002):



**Figura 1-2.** Proceso de producción del aluminio.

**Fuente:** (Mathers, 2002)

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021

### 2.1.2. *Formas de producto del aluminio*

El aluminio está disponible en formas forjadas y fundidas. Las formas forjadas comprenden láminas, placas, varillas, alambres y láminas laminadas en frío y en caliente. La forja tanto en caliente como en frío se usa ampliamente como un método rápido y económico de producir formas simples. La forja de precisión es particularmente adecuada para las aleaciones de aluminio, lo que ofrece ventajas de buen acabado superficial, tolerancias estrechas, flujo de grano óptimo y la eliminación de mecanizado (Mathers, 2002).

Los cuatro métodos de fundición más utilizados son la fundición en arena, la fundición a la cera perdida, la fundición en molde de acero permanente y la fundición a presión. El requisito de alta fluidez en una aleación de fundición significa que muchas se basan en aleaciones de aluminio y silicio, aunque las aleaciones tratables térmicamente (endurecimiento por envejecimiento) se utilizan a menudo para arena, cera perdida y fundiciones de moldes permanentes. La cera perdida y la fundición a presión dan productos con superficies lisas con tolerancias estrechas y son procesos que se utilizan ampliamente para productos aeroespaciales (Mathers, 2002).

Varias aleaciones, sus formas de producto y aplicaciones se enumeran en la Tabla 1-2.

**Tabla 1-2: Matriz morfológica**

Aluminio grado de aleación	Forma de producto	Solicitud
Aluminio puro	Lámina, placa enrollada, extrusiones	Embalaje y papel de aluminio, techado, revestimiento, corrosión de baja resistencia recipientes y tanques resistentes
Serie 2000 (Al-Cu)	Placa y hoja enrolladas, extrusiones, forjas	Partes sometidas a grandes esfuerzos, elementos estructurales, piezas forjadas de alta resistencia, ruedas de vehículos pesados, culatas de cilindros, pistones
Serie 3000 (Al-Mn)	Placa y hoja enrolladas, extrusiones, forjas	Embalaje, techos y revestimientos, tambores y tanques de productos químicos, equipos de procesamiento y manipulación de alimentos
Serie 4000 (Al-Si)	Alambre, fundición	Metales de aportación, culatas de cilindros, bloques de motor, cuerpos de válvulas, fines arquitectónicos
Serie 5000 (Al-Mg)	Placa y hoja enrolladas, extrusiones, forjas, tubería y tubería	Revestimientos, cascos de embarcaciones y superestructuras, estructurales miembros, buques y tanques, vehículos, material rodante, propósitos arquitectónicos
Serie 6000 (Al-Si-Mg)	Placa y hoja enrolladas, extrusiones, forjas, tubería y tubería	Miembros estructurales de alta resistencia, vehículos, material rodante, aplicaciones marinas, arquitectura aplicaciones.
Serie 7000 (Al-Mg-Zn)	Placa y hoja enrolladas, extrusiones, forjas	Miembros estructurales de alta resistencia, Forjas de aviones de sección pesada, puentes militares, placas de blindaje, extrusiones de vehículos pesados y material rodante

Fuente: (Mathers, 2002)

### 2.1.3. Elementos aleantes presentes en el aluminio

Las aleaciones de aluminio como de otros materiales son inmensas, pero en este caso en la Tabla 2-2 se presenta los más importantes con respecto al aluminio, los beneficios y características que aportan al material (Cruz, S; Rodriguez M, 2017).

**Tabla 2-2: Beneficios de los elementos aleantes en el aluminio**

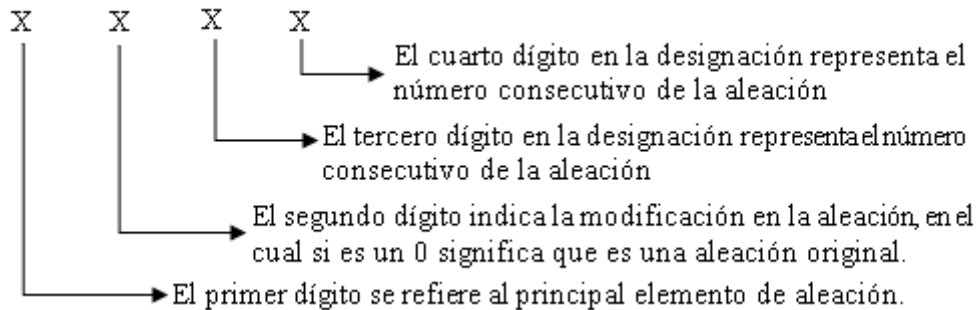
CROMO (Cr)	Aumenta la resistencia mecánica cuando esta combinado con otros elementos Cu, Mn, Mg.
COBRE (Cu)	Incrementa las propiedades mecánicas, permite el endurecimiento por precipitación, reduce la resistencia a la corrosión.
HIERRO (Fe)	Aumenta la resistencia mecánica.
MAGNESIO (Mg)	Tiene una gran resistencia tras el conformado en frío.
MANGANESO (Mn)	Incrementa las propiedades y reduce la calidad de embutición.
SILICIO (Si)	Combinado con magnesio, tiene mayor resistencia mecánica.
TITANIO (Ti)	Aumenta la resistencia mecánica.
ZINC (Zn)	Incrementa las propiedades mecánicas, permite el endurecimiento por precipitación.
ESCANDIO (Sc)	Mejora la soldadura.

Fuente: (Cruz, S; Rodriguez M, 2017)

Realizado por: Remache K, Yanchatipan D, 2021

#### 2.1.4. Designación de las aleaciones de aluminio según elementos de aleación.

El Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI) clasifica los productos de aluminio puro y sus aleaciones mediante un sistema de cuatro dígitos, indicados en la Figura 2-2.



**Figura 2-2.** Sistema de los cuatro dígitos, según ANSI.

**Fuente:** (Cardona, 2015)

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021

En la Tabla 3-2 se muestra la designación de las aleaciones de aluminio así como su elemento predominante de aleación (Cardona, 2015).

**Tabla 3-2:** Clasificación de las aleaciones de aluminio según sus elementos de aleación

Aleación	Principal elemento de aleación
Serie 1xxx	Aluminio sin alear
Serie 2xxx	Aluminio-cobre
Serie 3xxx	Aluminio - Manganeso
Serie 4xxx	Aluminio - Silicio
Serie 5xxx	Aluminio - Magnesio
Serie 6xxx	Aluminio - Magnesio - silicio
Serie 7xxx	Aluminio - Zinc
Serie 8xxx	Aluminio - otros elementos

**Fuente:** (Cardona, 2015)

**Realizado por:** Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.

## 2.2. Aluminio estructural en la ingeniería

El aluminio estructural goza de grandes propiedades como gran fuerza, dureza, resistencia y es liviano, debido a las mismas este material es empleado por los ingenieros y arquitectos, ya que lo consideran como una alternativa a las estructuras fabricadas con acero, pero con la cual se ahorra

el tiempo de construcción. Este material tiene diversas aplicaciones en varios sectores, como por ejemplo en el sector arquitectónico se lo emplea en fachadas ligeras como perfiles de aluminio o como estructuras auxiliares fijadas por encima al esqueleto resistente de los edificios (Garfias, Patricia, 2019). También son muy empleadas para la aviación y partes de componentes de carros.

### **2.2.1. Aluminio grado estructural**

Las aleaciones de aluminio de grado estructural corresponden a las aleaciones que contengan cobre o zinc, debido a que presentan los valores más altos de resistencia a la tracción de todas sus aleaciones.

En la aleación con cobre, aumenta sustancialmente la resistencia mecánica pero reduce las propiedades corrosivas y la soldabilidad, mientras que al alearlo con zinc aumenta la resistencia mecánica y aumenta la resistencia a la corrosión (Mathers, 2002).

Las imperfecciones o dislocaciones en el arreglo cristalino de los materiales afectan de cierta manera a las propiedades físicas y mecánicas de los mismos, esto se presenta en todos los materiales, por ello si se les aplican un tratamiento térmico de envejecimiento (T6) se reduce el movimiento de las dislocaciones volviendo más resistente a la aleación, como es el caso de los aluminios estructurales, debido a que estas son aleaciones termoestables permiten realizarles el endurecimiento por envejecimiento, produciendo así en ellos que tengan una resistencia de hasta un valor de 700 MPa que es más alto que el de los aceros (Díaz, 2019).

### **2.2.2. Aluminio – cobre**

Esta aleación está designada bajo la serie 2xxx, la misma requiere un tratamiento térmico en solución obteniendo así mejores propiedades mecánicas como aumento en la resistencia y tenacidad, pero no tiene buena resistencia a la corrosión, tiene ductilidad y soldabilidad (Cruz, 2015) (Rea, y otros, 2020).

### **2.2.3. Aluminio – zinc**

Aleación designada bajo la serie 7xxx, ofrece características de alta resistencia, alta dureza y buenas propiedades mecánicas como una alta fluencia, este tipo de aleación permite el endurecimiento por precipitación para lograr un alto nivel de resistencia (Pace Industries, 2020).



Esta aleación no tiene una buena resistencia a la corrosión, por ello a estas se les realizan endurecimientos térmicos para mejorar su resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y resistencia a la fractura. A estas aleaciones lo emplean varias industrias pero sobresale en una, que es la industria aeroespacial, ahí lo utilizan en estructuras de fuselajes de aviones, equipos móviles y piezas sujetas a altas tensiones de trabajo (Cruz, 2015).

### **2.3. Zircal (7075-T6)**

El principal elemento aleante de este material es el zinc, es producido en China. Los costos de compra y producción son bastantes elevados, sin embargo, debido a sus propiedades hace que sus costos sean justificables.

#### **2.3.1. Propiedades del zircal (7075-T6)**

Este material posee grandes propiedades, tiene una alta resistencia a la tracción, una elevada resistencia mecánica, buena resistencia a la fatiga, fácil de mecanizar, gran dureza, un alto índice de endurecimiento, sin embargo también tiene bajos valores de resistencia a la corrosión, resistencia a la abrasión, soldabilidad y aptitud para el anodizado (MetalsHandbook, 1992) (Cruz, 2015).

El zircal tiene grandes propiedades incluso mejores que las del acero estructural, para ello se realiza la siguiente comparación de una de las varias propiedades que es la resistencia a la tracción, los perfiles de acero laminado en caliente tienen una resistencia máxima de 480 MPa tanto en compresión como en tracción, en cambio el zircal tiene una resistencia máxima de 538 Mpa como se detalla en la Tabla 5-2 (Alacero, 2016), notándose así la superioridad del zircal.

#### **2.3.2. Composición química del zircal-T6**

En la Tabla 4-2 se muestra la composición química del zircal.

**Tabla 4-2:** Componentes químicos del zircal

Propiedades de los elementos componentes	Métrico
Aluminio, Al	87,1 - 91,4%
Cromo, Cr	0,18 - 0,28%
Cobre, Cu	1,2 - 2,0%
Hierro, Fe	<= 0,50%
Magnesio, Mg	2,1 - 2,9%
Manganeso, Mn	<= 0,30%
Otra cada	<= 0,05%
Otro, total	<= 0,15%
Silicio, Si	<= 0,40%
Titanio, Ti	<= 0,20%
Zinc, Zn	5,1 - 6,1%

Fuente: (MatWeb, 1996-2021)

### 2.3.3. Propiedades mecánicas del zircal-T6

En la Tabla 5-2 se muestran las propiedades mecánicas del zircal T6.

**Tabla 5-2:** Propiedades mecánicas del zircal-T6

Propiedades mecánicas	Métrico
Dureza, Brinell	150
Dureza, Knoop	191
Dureza, Rockwell A	53,5
Dureza, Rockwell B	87
Dureza, Vickers	175
Resistencia a la tracción, Ultimate	> = 538 MPa @ Espesor 3.20 - 6.32 mm
Resistencia a la tracción, rendimiento	> = 476 MPa @ Espesor 3.20 - 6.32 mm
Alargamiento a la rotura 	> = 8,0% @ Espesor 3.20 - 6.32 mm
Módulo de elasticidad	71,7 GPa
El coeficiente de Poisson	0,33
Resistencia a la fatiga	159 MPa @ # de ciclos 5.00e + 8
Tenacidad a la fractura	17,6 MPa·m <sup>1/2</sup>
Maquinabilidad	70%
Módulo de corte	26,9 GPa
Resistencia a la cizalladura	331 MPa

Fuente: (MatWeb, 1996-2021)

#### 2.3.3.1. Propiedades mecánicas del zircal-T6 (de manera más general)

En la Tabla 6-2 se muestran las propiedades mecánicas del zircal T6, de manera más general.

**Tabla 6-2:** Propiedades mecánicas del zical-T6 (de manera más general)

UNE	Composición química, % peso	Tratamiento	Resistencia a tracción MPa	Límite elástico MPa	Alargamiento %	Aplicaciones típicas
<b>Aleaciones para forja</b>						
1100	>99Al, 0.12Cu	Recocido (O) Trab. en frío (H14)	89 124	24 97	25 4	Componentes eléctricos, hojas metálicas finas (papel).
3003	1.2Mn	Recocido (O) Trab. en frío (H14)	117 159	34 149	23 7	Recipientes a presión, resistencia a corrosión, hojas metálicas finas.
5052	2.5Mg, 0.25Cr	Recocido (O) Trab. en frío (H34)	193 262	65 179	18 4	Transportes, metal de relleno en soldadura, recipientes, componentes marinos.
2024	4.4Cu, 1.5Mg, 0.6Mn	Recocido (O) Tratamiento T6	220 442	97 345	12 5	Estructuras aeronáuticas.
6061	1.0Mg, 0.6Si, 0.27Cu, 0.2Cr	Recocido (O) Tratamiento T6	152 290	82 345	16 10	Transportes, estructuras aeronáuticas y marinas y otras de alta resistencia.
7075	5.6Zn, 2.5Mg, 1.6Cu, 0.23Cr	Recocido (O) Tratamiento T6	276 504	145 428	10 8	Estructuras aeronáuticas y aeroespaciales.

Fuente: (Fcm, 2021)

#### 2.3.4. Propiedades físicas del zical-T6

En la Tabla 7-2 se muestran las propiedades físicas del zical T6.

**Tabla 7-2:** Propiedades físicas del zical-T6

Propiedades físicas	Métrico
Densidad	2,81 g / cc
Capacidad calorífica específica	0,960 J / g- ° C
Conductividad térmica	130 W / mK
Punto de fusión	477 - 635,0 ° C

Fuente: (MatWeb, 1996-2021)

#### 2.4. Tratamientos térmicos en las aleaciones de aluminio

Para indicar qué procesos físicos y térmicos intervienen en la elaboración del material final, se observa mediante un código de letras, los mismos que están indicados en la Tabla 8-2.

**Tabla 8-2:** Designación para los tratamientos térmicos

<b>F:</b>	Estado bruto	Es el material tal como sale del proceso de fabricación.
<b>O:</b>	Recocido	Se aplica a materiales ya sea de forja como de fundición que han sufrido un recocido completo
<b>W:</b>	Solución tratada térmicamente	Se aplica a materiales que después de recibir un tratamiento térmico quedan con una estructura inestable y sufren envejecimiento natural.
<b>H:</b>	Estado de acritud	Viene con materiales a los que se ha realizado un endurecimiento por deformación.
<b>T:</b>	Tratado térmicamente para producir temple estable	Materiales que han sido endurecidos por tratamiento térmico con o sin endurecimiento por deformación posterior. Sólo se aplican a aleaciones que sean termo-tratables.

Fuente: (Cruz, 2015)

Dentro de esta designación T se encuentran diferentes tipos de tratamientos térmicos, los cuales se muestran en la Tabla 9-2:

**Tabla 9-2:** Continuación de los tratamientos térmicos

<b>T1</b>	Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una elevada temperatura y envejecido de forma natural.
<b>T2</b>	Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una alta temperatura, trabajado en frío y envejecido de forma natural
<b>T3</b>	Solución tratada térmicamente, trabajada en frío y envejecida a temperatura ambiente hasta alcanzar una condición estable.
<b>T4</b>	Solución tratada térmicamente y envejecida a temperatura ambiente hasta alcanzar una condición estable.
<b>T5</b>	Enfriado desde un proceso de fabricación a alta temperatura y envejecido artificialmente.
<b>T6</b>	Solución tratada térmicamente y envejecida artificialmente.
<b>T7</b>	Solución tratada térmicamente y sobre envejecida para su completa estabilización.
<b>T8</b>	Solución tratada térmicamente, trabajado en frío y envejecido artificialmente
<b>T9</b>	Tratado térmicamente por solución, envejecido por solución y después trabajado en frío.
<b>T10</b>	Enfriado desde una temperatura elevada en un proceso de formación, trabajado en frío, y después envejecido artificialmente

Fuente: (Cruz, 2015)

#### **2.4.1. Endurecimiento por envejecimiento (T6)**

El envejecimiento térmico (envejecimiento artificial) o endurecimiento por precipitación, es un tratamiento térmico que nos ayuda a mejorar las propiedades mecánicas de la aleación, como es el aumento de dureza y resistencia (Callister, 2005) (Mathers, 2002).

El T6 es un endurecimiento por envejecimiento artificial, sin embargo, se explica los dos tipos de envejecimiento tanto natural y artificial.

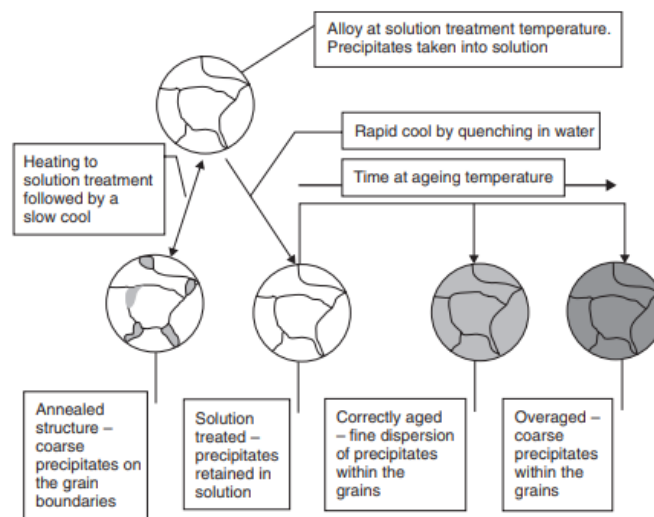
Las microestructuras con dos o más fases presentes poseen varias formas en las que se pueden formar las fases, la geometría de las fases depende de sus cantidades relativas, si la fase menor está dispersa dentro de los granos o está presente en los límites de los granos y el tamaño y forma de las fases. Las fases se forman mediante un proceso conocido como precipitación que se controla tanto en el tiempo como en la temperatura y que requiere una reducción de la solubilidad del sólido a medida que desciende la temperatura, es decir se puede disolver más soluto en el disolvente a una temperatura alta que a una temperatura baja. Pues, como vemos, el proceso de precipitación se efectúa por medio de la producción de precipitados del material de aleación dentro de la estructura de metal para precipitar o endurecer una aleación. Para precipitar o endurecer una aleación, el metal se calienta en primer lugar a una temperatura suficientemente alta manteniéndolo a esta temperatura el tiempo suficiente para que la segunda fase se disuelva, a continuación, el metal se enfría rápidamente, tal vez enfriándolo en agua o en aire en calma. La mayoría de las aleaciones de aluminio se enfrían en agua para dar una velocidad de enfriamiento muy rápida, esta velocidad de enfriamiento debe ser lo suficientemente rápida como para que la segunda fase no tenga tiempo de precipitar. La segunda fase se retiene en solución a temperatura ambiente como solución sólida sobresaturada que es meta estable, es decir, la segunda fase se precipitará dado el estímulo correcto, este estímulo es calentar la aleación a baja temperatura lo cual es el envejecimiento, el cual puede darse de forma natural (a temperatura ambiente) o artificialmente (a temperaturas más elevadas), el envejecimiento permite que se produzca la difusión de átomos y comience a formarse un precipitado extremadamente fino, tan fino que no se puede resolver mediante técnicas metalográficas normales, la celosía sigue siendo continua pero distorsionada y esto confiere a la aleación una resistencia a la tracción extremadamente alta (Mathers, 2002).

Si el calentamiento continúa o el envejecimiento tiene lugar a una temperatura demasiado alta, la aleación comienza en exceso, el precipitado se vuelve más grueso tal vez hasta un punto en el que se vuelve metalográficamente visible. La resistencia a la tracción disminuye, pero la ductilidad aumenta. Si se permite que continúe el proceso de sobre envejecimiento, la aleación alcanzará un

punto en el que sus propiedades mecánicas coincidan con las de la estructura recocida (Mathers, 2002).

Una velocidad de enfriamiento demasiado lenta no retendrá el precipitado en solución, sino que se formará en los límites del grano como partículas gruesas que tendrán un efecto muy limitado sobre las propiedades mecánicas, dando lugar a que la estructura sea la de un metal recocido con propiedades mecánicas idénticas. El ciclo de tratamiento térmico y sus efectos sobre la estructura se ilustran en la Figura 3-2 (Mathers, 2002).

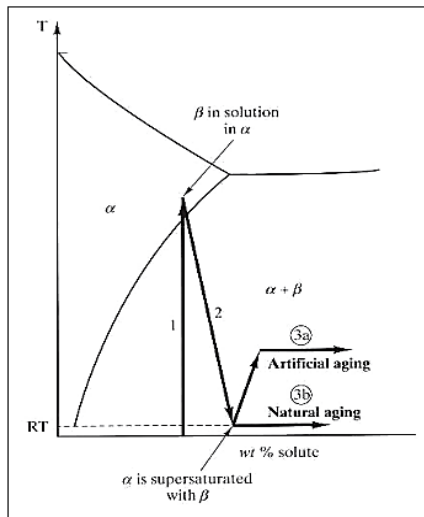
Se debe tener en cuenta que en el estado recocido se forma un precipitado grueso a lo largo de los límites de los granos y en el estado sobre envejecido los precipitados submicroscópicos se vuelven más gruesos. En ambos casos, la resistencia de la aleación es menor que la del estado correctamente envejecido (Mathers, 2002).



**Figura 3-2.** Ilustración del ciclo de tratamiento de solución y tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento (precipitación)

**Fuente:** (Mathers, 2002)

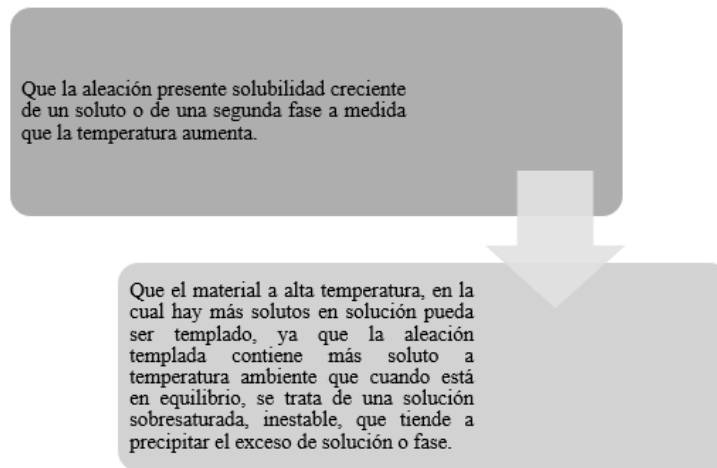
Para el tratamiento de precipitación se considera la temperatura y el tiempo adecuado para obtener una distribución y tamaño idóneos de precipitados, los cuales ayudan para obtener las propiedades que se desee, teniendo en cuenta que el tratamiento aumenta una propiedad disminuye otras. Las consideraciones más comunes es emplear a temperaturas relativamente bajas entre 110°C y 200°C y tiempos entre 5 y 48 horas. (HANDBOOK, 1997) (Carlos Arturo Bohórquez; Mauricio Sierra Cetina y Javier Lemus, 2011). La Figura 4-2 nos muestra la secuencia para obtener el envejecimiento artificial y el envejecimiento natural.



**Figura 4-2.** Temperaturas correspondientes tanto para el envejecimiento artificial como natural

**Fuente:** (HANDBOOK, 1997) (Carlos Arturo Bohórquez; Mauricio Sierra Cetina y Javier Lemus, 2011)

Sólo algunas aleaciones se les puede realizar el proceso de precipitación, en la siguiente Figura 5-2 podemos observar que condiciones deben cumplir estas aleaciones (Carlos Arturo Bohórquez; Mauricio Sierra Cetina y Javier Lemus, 2011):

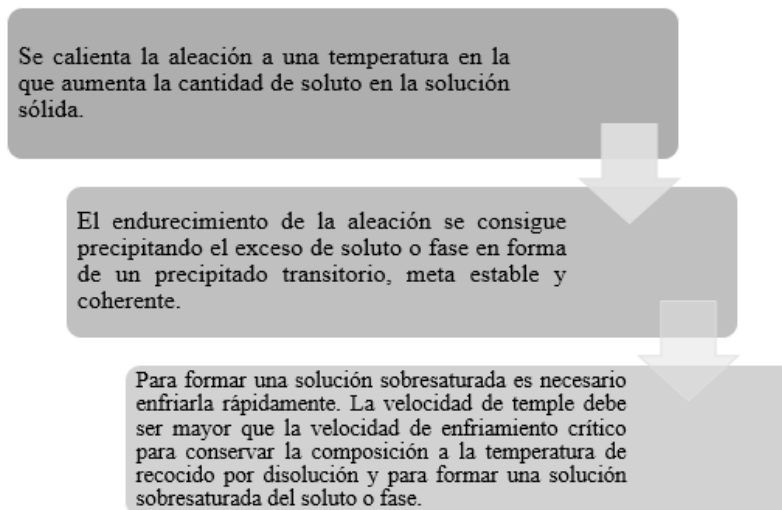


**Figura 5-2.** Condiciones para que el material pueda ser endurecido por precipitación

**Fuente:** (Carlos Arturo Bohórquez; Mauricio Sierra Cetina y Javier Lemus, 2011)

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021

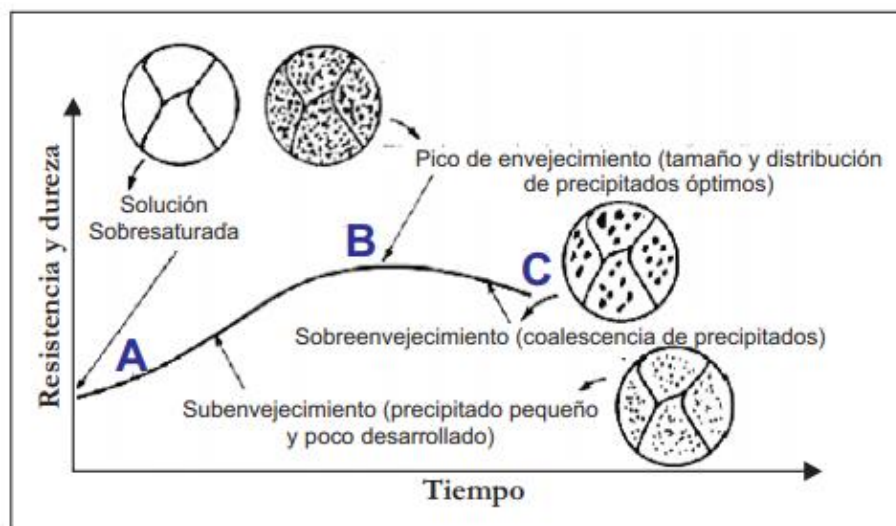
Se plantea de manera concreta en la Figura 6-2 y la Figura 7-2, el proceso de tratamiento térmico para conseguir el endurecimiento por precipitación (HANDBOOK, 1997) (Carlos Arturo Bohórquez; Mauricio Sierra Cetina y Javier Lemus, 2011).



**Figura 6-2.** Proceso para el tratamiento térmico de endurecimiento por precipitación

**Fuente:** (Carlos Arturo Bohórquez; Mauricio Sierra Cetina y Javier Lemus, 2011)

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021

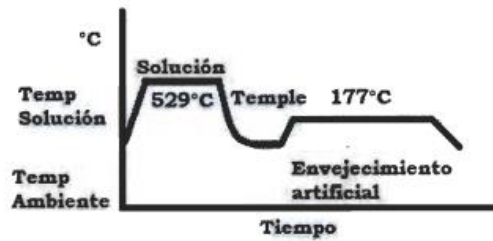


**Figura 7-2.** Proceso de endurecimiento por precipitación de una aleación de aluminio

**Fuente:** (Carlos Arturo Bohórquez; Mauricio Sierra Cetina y Javier Lemus, 2011)

El T6 con envejecimiento artificial es el tratamiento térmico más utilizado para el zical. Primero se realiza el recocido (temperatura de solubilidad) a 529°C, después este se enfría rápidamente y se procede a realizar el envejecimiento artificial en un horno a 177 °C, manteniendo esta temperatura durante 24 horas, como se muestra en el Gráfico 1-2 (Cardona, 2015). Este tratamiento mejora notablemente algunas de las propiedades mecánicas de esta aleación, pues se ve en la Figura 8-2 como el T6 muestra un alta densidad de precipitados, por lo tanto un incremento elevado de dureza (Suarez, 2020).





**Gráfico 1-2.** Esquema de tratamiento térmico T6

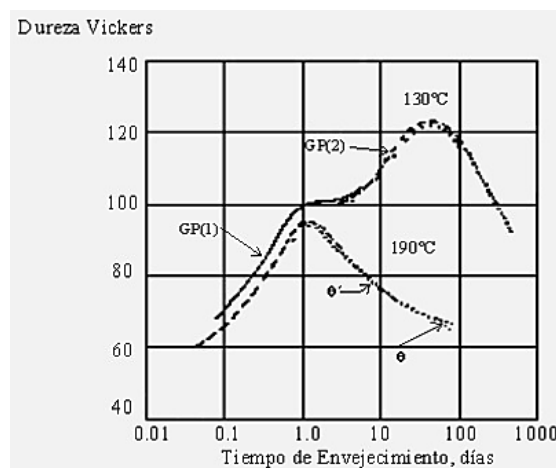
Fuente: (Cardona, 2015)



**Figura 8-2.** Aluminio 7075 obtenido bajo tratamiento térmico T6

Fuente: (Suarez, 2020)

#### 2.4.2. Relación dureza-temperatura-tiempo de envejecimiento



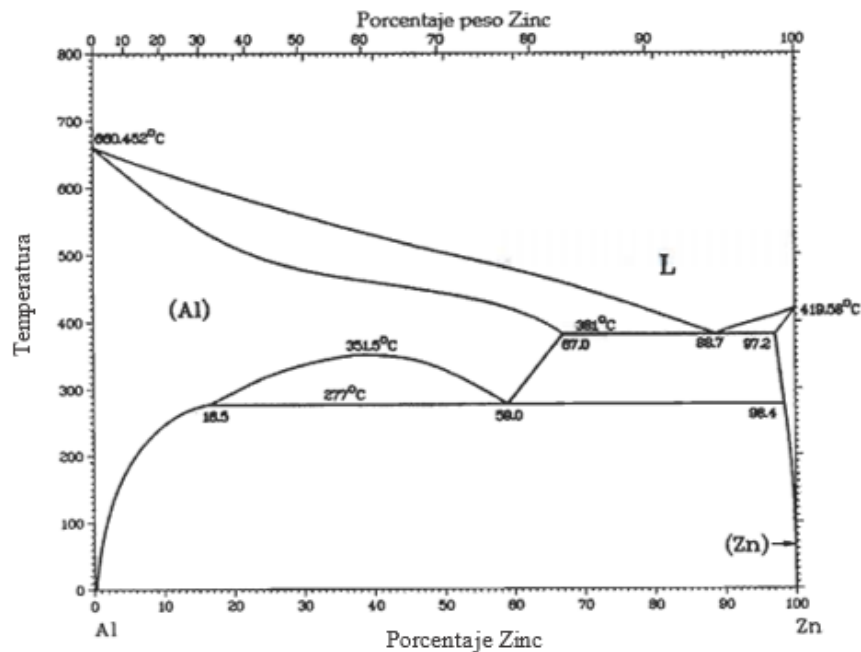
**Gráfico 2-2.** Relación de dureza-temperatura-tiempo de envejecimiento

Fuente: (Campos Cordero, 2016)

El Gráfico 2-2, muestra la relación entre temperatura y tiempo de envejecimiento con la dureza adquirida. El envejecimiento a menor temperatura toma tiempos más prolongados, pero permite alcanzar mayores durezas, debido a que hay más abundante nucleación de precipitados que no alcanzan a crecer mucho (Campos Cordero, 2016).

### 2.4.3. Diagrama de fase del material base: AL-Zn (7xxx)

El Gráfico 3-2 es el diagrama binario Al-Zn (serie 7XXX), en el cual se observa las principales reacciones que ocurren, así como las temperaturas a las que ocurren dichas reacciones (Aguilar Schafer, Julio Alberto;, 2020) (Handbook, 1998).



**Gráfico 3-2.** Diagrama de fase de aluminio-zinc

Fuente: (Aguilar Schafer, Julio Alberto;, 2020) (Handbook, 1998)

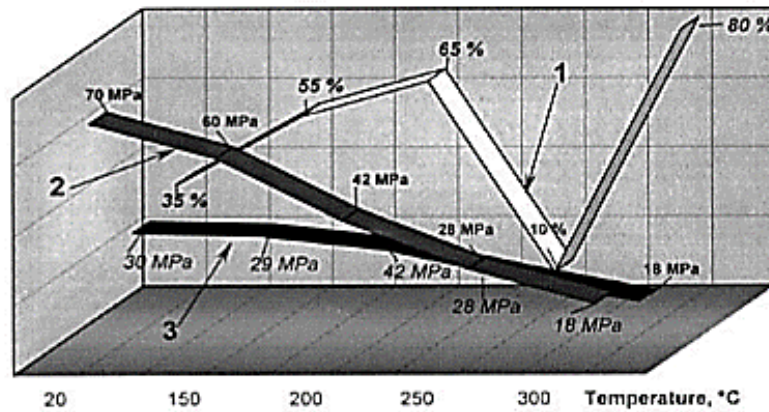
### 2.5. Aplicaciones del zical

Es utilizada frecuentemente en aplicaciones para el transporte, náutica, el automovilismo, aviación, aplicaciones de modelismo en la industria de las bicicletas. Debido a su alta resistencia es utilizado para piezas estructurales sometidas a grandes esfuerzos, debido a la elevada relación que tiene entre resistencia y densidad se utiliza en la fabricación de fuselajes, además por sus propiedades térmicas y la posibilidad de ser pulido se emplea en la fabricación de moldes (Japan Aluminium Association, 2014).

Este material es muy utilizado para piezas sometidas a grandes fatigas porque posee un elevado límite elástico, por ejemplo en maquinaria, herramientas, en la construcción de troqueles, piezas estampadas, tornillería, industria del automóvil, remaches, aplicaciones nucleares, accesorios ortopédicos, cañas de pesca, arcos, flechas, moldes de soplado y matrices (Villacis, y otros, 2018) (De la Cruz, 2015).

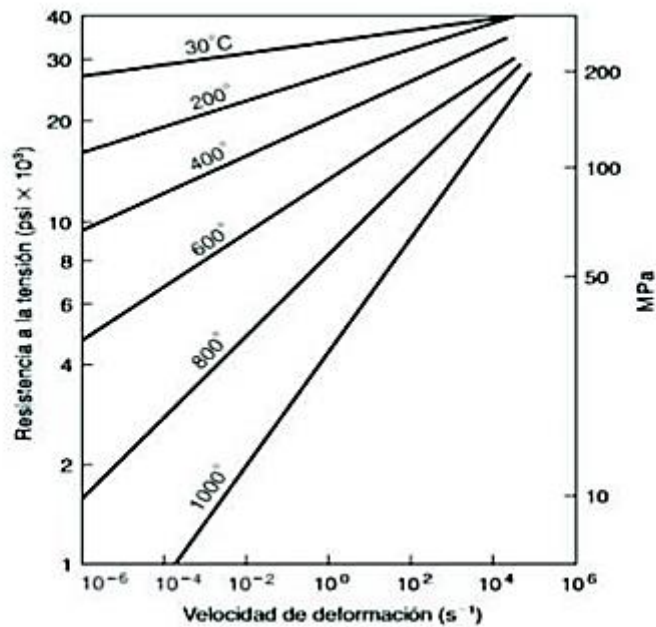
## 2.6. Influencia de la temperatura en propiedades mecánicas del aluminio

El aumento de temperatura produce cambios en la elongación, resistencia a la tracción y resistencia a la fluencia del aluminio, estos cambios se puede observar en el Gráfico 4-2 (Totten G, 2003). (Díaz, 2019).



**Gráfico 4-2.** Propiedades mecánicas del aluminio a elevadas temperaturas. (1) elongación, (2) resistencia a la tracción, (3) resistencia a la fluencia.

Fuente: (Totten G, 2003) (Díaz, 2019)



**Gráfico 5-2.** Velocidad de deformación vs resistencia a la tensión del aluminio.

Fuente: (Hollomon, 2006) (Díaz, 2019)

Del Gráfico 5-2 podemos notar que al ir aumentándose la temperatura en el material va disminuyéndose su módulo de elasticidad y límite de fluencia, es decir se torna mas dúctil y tenaz (área bajo la curva); también se puede ver que otro efecto de este aumento de temperatura es que

la resistencia a la tensión esté en proporcionalidad directa que la velocidad de deformación (Hollomon, 2006) (Díaz, 2019).

## **2.7. Corte por chorro de agua.**

El corte por chorro de agua utiliza un polvo abrasivo introducido en un chorro de agua de muy alta presión y velocidad, éste es capaz de cortar materiales metálicos y no metálicos esencialmente mediante un proceso de erosión. La velocidad del agua está en la región de 2500 km / h (1600 mph) y agua presión entre 2000 bar (30000psi) y 4000 bar (60000psi) (Mathers, 2002).

La gran ventaja que tiene el corte por chorro de agua sobre el láser o el arco de plasma es que no se utiliza calor en el proceso, por lo tanto, no hay zonas afectadas por el calor ni distorsión térmica. Las piezas se pueden cortar con mucha precisión y anidadas estrechamente, lo que se traduce en ahorros de material. Las tolerancias de las piezas cortadas son muy pequeñas, lo que simplifica la tarea de ajuste para soldar (Mathers, 2002).

Las limitaciones del corte por chorro de agua son la velocidad de corte, que puede ser solo una cuarta parte de la velocidad de un componente cortado con láser, particularmente en secciones delgadas. La otra limitación es el bisel o ahusamiento de la cara de corte que puede ser el doble que el del corte con láser, un 25% del diámetro de la boquilla o alrededor de 0,2 mm a la velocidad de corte óptima. El bisel se puede reducir, si se disminuye la velocidad de corte, con la penalización de un mayor costo (Mathers, 2002).

## **2.8. Metal de aporte**

La composición del metal de relleno afecta las propiedades de la soldadura, por ello se toma en cuenta para su selección parámetros como ductilidad, tenacidad, resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, punto de fusión y si habrá un tratamiento térmico posterior (Calvario, 2016) (Díaz, 2019).

### **2.8.1. Selección del material de aporte**

La especificación BS enumera 11 tipos de metal de relleno en las series 1XXX, 3XXX, 4XXX y 5XXX y detalla las condiciones de entrega. BS 2901 no incluye ningún metal de relleno capaz de endurecerse por envejecimiento (Mathers, 2002).

A diferencia de la selección de consumibles para soldar acero, donde la composición del metal de relleno generalmente coincide con la del metal base en cuanto a composición, propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión y apariencia, las aleaciones de aluminio a menudo se sueldan con metales de relleno que no coinciden con el metal base en algunas o todas estas propiedades. Además de la fuerza y la resistencia al agrietamiento, es posible que la elección también deba incluir combinación de colores, resistencia a la corrosión, respuesta al anodizado; pues se debe elegir el relleno adecuado para lograr propiedades específicas (Mathers, 2002) .

En la Tabla 10-2 se observa el metal de aporte adecuado para las aleaciones de aluminio.

**Tabla 10-2:** Selección del metal de aporte correspondiente al tipo de aleación

Base material	Más alta fuerza	Mejor ductilidad	Agua salada corrosión resistencia	Menos agrietamiento tendencia	Mejor para anodizado
1100	4043	1050	1050	4043	1100
2219	2319	2319	2319	2319	2319
3103	4043	1050	1050	4043	1050
5052	5356	5356	5554	5356	5356
5083	5183	5356	5183	5356	5356
5086	5356	5356	5183	5356	5356
5454	5356	5554	5554	5356	5554
5456	5556	5356	5556	5356	5556
6061	5356	5356	4043	4043	5654
6063	5356	5356	4043	4043	6356
6082	4043	4043	4043	4043	4043
7005	5556	5356	5356	5356	5356
7039	5556	5356	5356	5356	5356

Fuente: (Mathers, 2002)

Comúnmente para la soldadura de las aleaciones de aluminio que son tratables y no tratables térmicamente, se emplea de manera recomendada los materiales de aporte ER4043 (Al-5Si) y el ER5356 (Al-5Mg) (Sifuentes, 2007).

Por lo general para la soldadura por arco se usa un metal de aporte de la familia 4XXX que contiene Si para suprimir la propagación de grietas en caliente, mientras que en otros casos se puede usar el metal de aporte de la familia 5XXX para obtener resistencia en la junta soldada (Kang, M y Kim,C, 2017) .

El alambre 4043 está diseñado para ser empleado en soldaduras de aleaciones de aluminio, bajo los procesos MIG y TIG (INDURA, 2021).

### 2.8.2. Componentes químicos del metal de aporte ER 4043

La Tabla 11-2 nos muestra los componentes químicos del aluminio 4043.

**Tabla 11-2:** Componentes químicos del aluminio de relleno 4043

<b>Elementos Químicos</b>	<b>%</b>
Cu	0,30
Mg	0,05
Mn	0,05
Si	4,5-6,0
Fe	0,8
Zn	0,10
Ti	0,20

Fuente: (INDURA, 2021)

### 2.8.3. *Propiedades físicas del metal de aporte ER 4043*

La Tabla 12-2 nos muestra la resistencia a la tracción del aluminio 4043.

**Tabla 12-2:** Propiedad física del aluminio de relleno 4043

Resistencia a la Tensión	14ksi – 96.5 MPa
--------------------------	------------------

Fuente (INFRASUR, 2021)

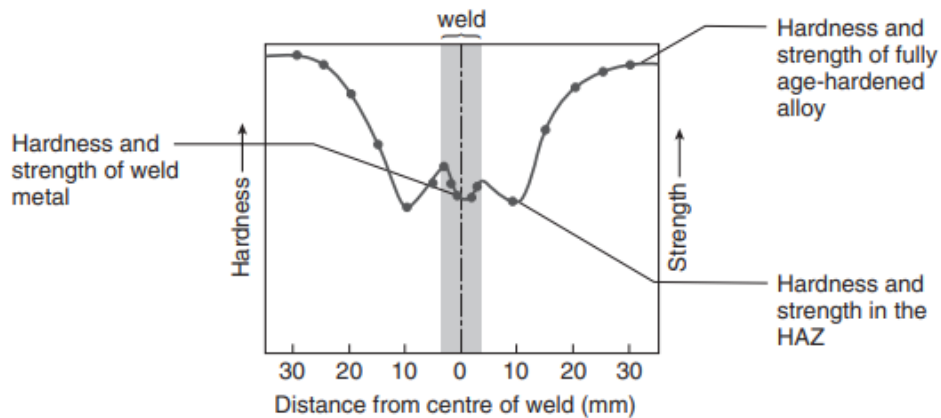
## 2.9. **Cordón de soldadura**

La soldadura por fusión se da cuando los componentes a unir se calientan a una temperatura alta por encima del punto de fusión de los metales originales, y se juntan para permitir que los componentes se fusionen. El calor de la operación de soldadura se conduce al metal base de modo que en cualquier unión soldada hay tres áreas distintas: el metal de soldadura en una unión soldada por fusión, el HAZ en el material de origen y el metal de origen no afectado (Mathers, 2002).

En las aleaciones de aluminio que se han reforzado mediante trabajo en frío o endurecimiento por precipitación, tiene varios aspectos particulares, entre ellos están el ancho de la ZAT, la alta conductividad térmica del aluminio y el consiguiente tamaño del área donde ha habido una pérdida sustancial de resistencia, nos da que las propiedades de la ZAT coinciden con las del metal base (Mathers, 2002).

Se nota que al momento de realizar una limpieza total en el material base, el soldador TIG o MIG puede experimentar problemas de estabilidad y arranque del arco, la razón de esto no está clara pero probablemente esté asociada con la ausencia total de óxido. Se cree que una pequeña cantidad de óxido ayuda a la formación de un punto de ánodo activo, lo que da como resultado un arco más estable (Mathers, 2002).

Se encuentra pérdidas similares en la resistencia a la tracción de las aleaciones de la serie 7XXX tal como pasa en la 6061, que se muestra en el Gráfico 6-2, ya que la pérdida es causada por una disolución de los precipitados en estas aleaciones de la serie 7XXX (American Welding Society, 2004)



**Gráfico 6-2.** Efecto de la soldadura en aleación 6061 T6 endurecida por envejecimiento.

**Fuente:** (American Welding Society, 2004)

Al realizar una soldadura y no darle un tratamiento térmico posterior, se pierde un porcentaje de la resistencia mecánica original al igual que de la ductilidad, además pueden aparecer grietas al enfriarse el metal, sin embargo, el metal de aporte nos va ayudar a conservar un mayor porcentaje de su resistencia a la tracción, y aunque su ductilidad va a disminuir, si se le da un procedimiento adecuado a la soldadura, no habrá formación de grietas o algún otro tipo de discontinuidad (American Welding Society, 2004).

## 2.10. Soldadura GTAW(TIG) para aluminio

Como anteriormente se explicó, debido a que el óxido es más estable que el aluminio puro, se dificulta la soldadura con un proceso convencional, por ello la manera más eficiente de soldar este material es mediante el proceso de soldadura eléctrica por arco en atmósfera inerte con electrodo de Tungsteno (TIG o GTAW) (Díaz, 2019).

La soldadura GTAW es un proceso en donde usa un electrodo de tungsteno y un metal base para crear un arco eléctrico, este proceso proporciona uniones limpias y de gran calidad porque es protegido mediante un gas inerte, el más utilizado es el argón.

Su proceso puede ser manual o automatizado, es considerada una de las técnicas de soldadura más difíciles de aprender y perfeccionar, es adecuada para ciertas aplicaciones y totalmente

inapropiada para otras, permite la ejecución de soldaduras de alta calidad y excelente terminación sobre todo en juntas de pequeños espesores de entre 0,2 mm a 3 mm, normalmente no supera los 10 mm, ya que para estos espesores las consideraciones económicas tienden a favorecer los procesos con electrodo consumible, este proceso puede usarse para soldar más materiales que cualquier otro, permitiendo trabajar con corrientes continua y alterna, con polaridad directa o inversa, brindando diferentes tipos de penetración y duración del electrodo (Marin, 2016).

El equipo básico comprende una fuente de energía, un soplete de soldadura, un suministro de gas protector inerte, un suministro de alambre de relleno y quizás un sistema de refrigeración por agua. Para soldar aluminio es mejor utilizar corriente alterna CA, es la manera más óptima para la eliminación de la película de óxido.

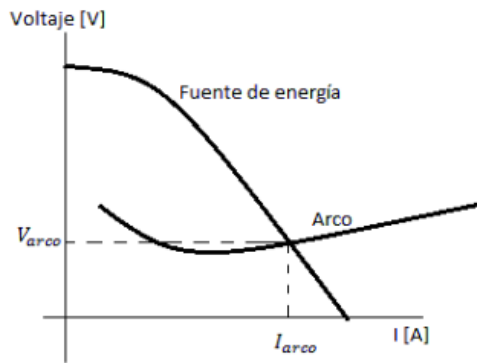
### **2.10.1. Arco Eléctrico**

El arco de soldadura o arco eléctrico es una descarga de corriente eléctrica que se forma entre dos electrodos por su diferencia de potencial mediante un plasma, lo cual produce calor, cuyo factor es usado para la fusión de metales (Díaz, 2019) (Houldcroft, 1980)(SENCICO, 2013).

El espacio que se crea cuando se implanta el arco entre el electrodo y la pieza tiene tres regiones, la región central donde hay una pérdida uniforme de potencial, y en las dos regiones remanentes pertenecientes a la superior e inferior tienen una pérdida inmediata de potencial.

Al momento de establecer el arco entre el electrodo y la pieza, se crea un espacio que tiene tres regiones, en la región central hay una pérdida uniforme de potencial, mientras que en las dos regiones remanentes (superior e inferior) la pérdida de potencial es inmediata. Las temperaturas de estas regiones dependen del amperaje suministrado. En la Figura 9-2 se puede observar la relación entre la intensidad y potencial en el arco, donde se nota que son directamente proporcionales la intensidad, la temperatura y el ancho de la región central, e inversamente proporcional el voltaje (Díaz, 2019) (Houldcroft, 1980).





**Figura 9-2.** Curva característica voltaje-corriente de una fuente de energía para soldadura por arco.

Realizado por: (Houldcroft, 1980) (Díaz, 2019)

### 2.10.2. Electrodo de Tungsteno

En el proceso de soldadura GTAW de aluminio se emplea el electrodo de Tungsteno, el cual es un excelente conductor eléctrico, éste debido a su alto punto de fusión de 3500°C es no consumible (Díaz, 2019)(Jeffus, 2005).

Para soldar aluminio es recomendable añadir zirconio en el electrodo, para que el tungsteno pueda liberar fácilmente electrones y tenga una mayor vida útil. El extremo de este electrodo se lo debe redondear para emplearlo en soldadura de aleaciones de aluminio (Díaz, 2019)(Jeffus, 2010).

#### 2.10.2.1. Selección del electrodo de tungsteno

La norma AWS D1.2/D1.2M detalla un anexo con fines informativos para la selección de tungsteno correspondiente al tipo de corriente y rangos a trabajar, lo cual se muestra en la Tabla 13-2.

**Tabla 13-2:** Rangos de corriente típicos para electrodos de tungsteno

Cuadro J-1 Rangos de corriente típicos para electrodos de tungsteno							
Diámetro del electrodo		Corriente continua, A		Corriente alterna, A			
		DCEN	DCEP	Onda desequilibrada		Onda equilibrada	
en.	mm	EWP EWTh-1 EWTh-2	EWP EWTh-1 EWTh-2	EWP	EWTh-1 EWTh-2 EWZr	EWP	EWTh-1 EWTh-2 EWZr
0,010	0,25	Hasta 15	B	Hasta 15	Hasta 15	Hasta 15	Hasta 15
0,020	0,51	5-20	B	5-15	5-20	10-20	5-20
0,040	1,02	15-80	B	10-60	15-80	20-30	20-60
1/16	1,59	70-150	10-20	50-100	70-150	30-80	60-120
3/32	2,38	150-250	15-30	100-160	140-235	60-130	100-180
1/8	3,18	250-400	25-40	150-210	225-325	100-180	160-250
5/32	3,97	400-500	40-55	200-275	300-400	160-240	200-320
3/16	4,76	500-750	55-80	250-350	400-500	190-300	290-390
1/4	6,35	750-1000	80-125	325-450	500-630	250-400	340-525

Fuente: (D1.2/D1.2M, 2003)

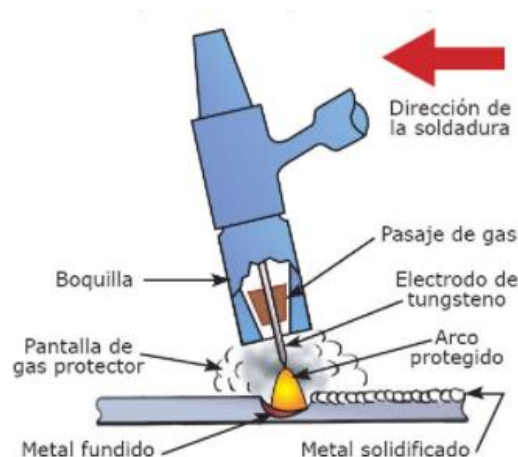
### 2.10.3. Gases de Protección

Estos gases son conocidos como gases inertes porque estos no reaccionan con otros elementos o gases para formar sustancias nuevas, en la soldadura que va a emplear la cual es el proceso de soldadura GTAW estos gases crean la atmósfera protectora en el electrodo, evitando que el cordón se contamine. Los gases más utilizados son el helio porque permite un arco más caliente y brinda una gran penetración, y el argón porque permite un mejor cebado, mayor limpieza del permite baño de soldadura y menor consumo de gas (Díaz, 2019) (McGraw-Hill, 2000) (Giachino, J; Weeks, W, 2001).

### 2.10.4. Descripción del proceso de soldadura

El gas generalmente es argón o una mezcla de gases inertes que podrían ser argón y helio, el electrodo empleado no se consume y la soldadura de las partes entre sí puede realizarse con o sin agregado de metal de aporte, pero si se usara un metal de aporte, éste se coloca en el arco eléctrico logrando la fusión del mismo con el metal base, la pileta líquida se manipula controlando la correcta fusión de las partes (Marin Herrera, 2016).

El arco eléctrico está dividido en 3 zonas, la catódica que corresponde al polo negativo del arco, la anódica que corresponde al polo positivo del arco y el plasma que corresponde al gas en estado ionizado. El arco eléctrico se establece como consecuencia de la circulación de corriente eléctrica entre el cátodo y el ánodo, pasando esta corriente por una columna de gas en estado ionizado llamado plasma, el procedimiento se observa en la Figura 10-2, correspondiente a la soldadura GTAW (TIG conocida comercialmente) (Marin Herrera, 2016).



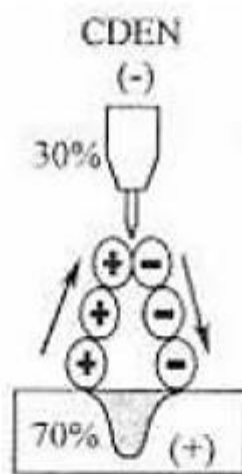
**Figura 10-2.** Proceso GTAW

**Fuente:** (Marin Herrera, 2016)

El plasma del arco es un gas ionizado, en la parte central de la columna del mismo el movimiento es más intenso, por ende esta es la sección más caliente del plasma, la parte exterior de la columna del arco es algo más fría (Marin Herrera, 2016).

### 2.10.5. Polaridades de trabajo

En el proceso de soldadura el cambio de corriente como el cambio de polaridad produce varios efectos en el balance del calor entre el cátodo y el ánodo. Con la polaridad CCEN que es corriente continua electrodo al negativo, produce una buena penetración debido a que hay mayor concentración de calor en la pieza que en la punta de tungsteno, cuyo proceso está ilustrado en la Figura 11-2, en esta polaridad no existe una acción de limpieza. Esta polaridad se lo emplea en la mayoría de soldaduras incluyendo acero inoxidable y titanio, pero no se usa para aluminio y magnesio, debido a que los esfuerzos de contracción son menos severos y se produce menor distorsión del material base (Marin Herrera, 2016) (Piña, 2018).

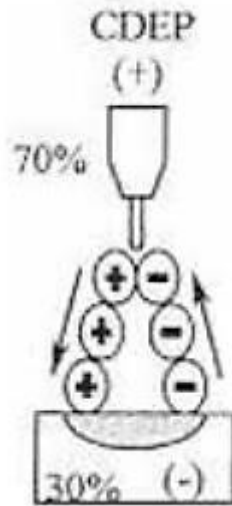


**Figura 11-2.** Polaridad CDEN

Fuente: (Marin Herrera, 2016)

### 2.10.6. Polaridad CDEP

En la polaridad de corriente continua electrodo al positivo (CDEP), existe más calor en la punta del electrodo por consecuencia hay menos penetración y daño del electrodo del tungsteno, como se puede observar en la Figura 12-2, esta polaridad también brinda una buena limpieza. En este proceso se concentra el calor en el polo positivo porque los electrones al chocar con el tungsteno transforman toda su energía cinética en calor (Marin Herrera, 2016) (Piña, 2018).

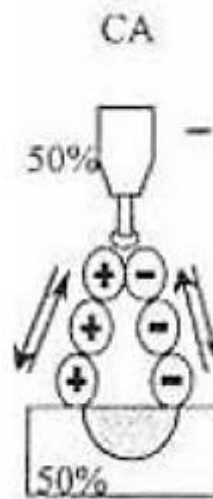


**Figura 12-2.** Polaridad DCEP

Fuente: (Marin Herrera, 2016)

### 2.10.7. Corriente Alterna

Para soldar tanto el aluminio como el magnesio se debe utilizar polaridad inversa (electrodo en el polo positivo), debido a que en este existe una buena distribución de calor entre el metal base y la punta de tungsteno 50%-50%, también produce un bombardeo de iones sobre la superficie metálica la cual en el caso del aluminio ayuda a la ruptura del óxido de alúmina logrando la fusión. Esta polaridad también brinda gran limpieza durante el semiciclo positivo y una adecuada penetración obtenida durante el semiciclo negativo, cuyo proceso se observa en la Figura 13-2 (Marin Herrera, 2016) (Piña, 2018).

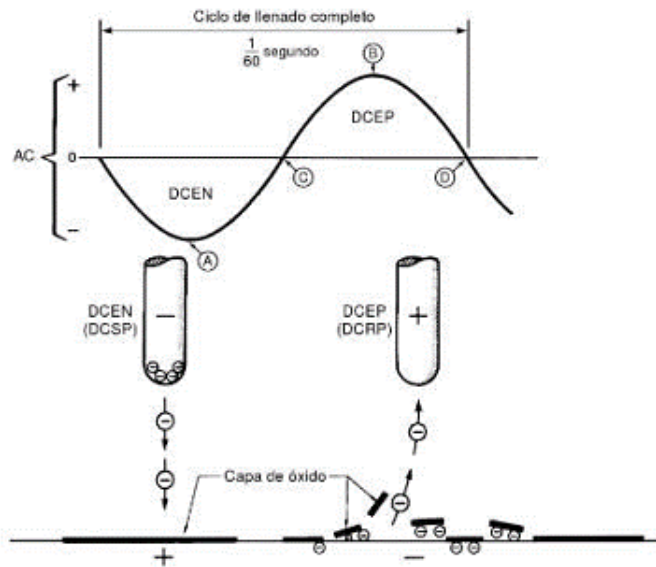


**Figura 13-2.** Polaridad CA

Fuente: (Marin Herrera, 2016)

## 2.11. Limpieza iónica

La limpieza iónica se da por la interacción entre los iones y electrones, produciendo la ruptura de la capa de óxido, como se observa en la Figura 14-2. Para realizar este proceso nos ayuda de gran manera emplear la corriente alterna de alta frecuencia (Díaz, 2019)(Jeffus, 2010).



**Figura 14-2.** Proceso de limpieza iónica.

Fuente: (Díaz, 2019)(Jeffus, 2005)

## 2.12. Alta frecuencia

La alta frecuencia favorece el encendido del arco, eliminando problemas de estabilidad y cebado, ésta se produce por un generador de alta frecuencia. Debido a que en la máquina de soldar es una opción usar la HF, se emplea solamente al iniciar la soldadura cuando se suelda con DC, o se usa durante todo el proceso cuando se emplea AC, este es recomendado cuando se desea soldar aluminio, para que se rompa ese óxido y pueda soldarse correctamente las juntas de este material (Lincoln Electric, 2016).

## 2.13. Parámetros para soldar aluminio

La corriente y caudal de argón son los principales parámetros para realizar los cordones de soldadura, por ello estos se van a variar en cada par de placas a soldar.

En el proceso de soldadura GTAW de aluminio se usa una fuente de corriente alterna de 50 Hz y una corriente de alta frecuencia superpuesta, se debe emplear como electrodo un tungsteno puro

o tungsteno aleado con circonio. En espesores superiores a 5 mm, se deben biselar (Lontana Group, 2020).

### **2.13.1. Intensidad de corriente**

Este parámetro tiene una gran influencia en la calidad del cordón de soldadura, debido a que si se tiene una corriente muy elevada puede provocar en el cordón salpicaduras y porosidad, y si se tiene una corriente muy baja puede producirse una falta de fusión y falta de penetración (Montaje Soluciones Ingeniería, 2020).

Un problema peculiar de la serie 7XXX es que el zinc forma rápidamente un óxido durante la soldadura, lo que afecta la tensión superficial del baño de soldadura y aumenta el riesgo de falta de defectos de fusión, lo que requiere el uso de procedimientos de soldadura en los que la corriente de soldadura es ciertamente 10-15% más alto de lo que se usaría para una aleación 5XXX (Mathers, 2002).

### **2.13.2. Gas de protección**

Si se tiene un bajo caudal de gas de protección nuestro cordón puede sufrir mayor contaminación provocando porosidades e imperfecciones al no estar protegido por el argón, mientras que si se utiliza un exceso de caudal esto implica mayor protección o a su vez contaminación debido al exceso de flujo atrayendo partículas contaminantes (Montaje Soluciones Ingeniería, 2020).

## **2.14. Caracterización metalográfica**

Se realizan los ensayos de metalografía con el propósito de verificar su composición la cual es muy primordial para la investigación, esta composición también se verifica en bibliografías para saber que se trabaja con el material correcto.

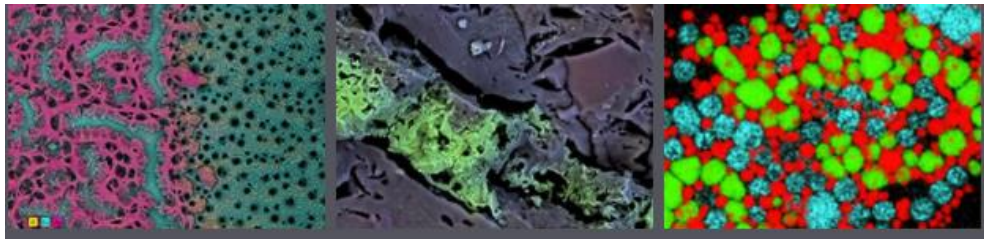
### **2.14.1. Espectroscopia de energía dispersiva**

Este fenómeno denominado espectroscopia de rayos x de energía dispersiva (EDS) también se denomina como EDX o XEDS. Mediante esta técnica analítica se obtiene los diferentes componentes químicos existentes en los materiales, con la ayuda de un detector EDS en el microscopio electrónico (Thermo Fisher, 2020).

### 2.14.2. Principio de funcionamiento

Este principio consiste en excitar una muestra por medio de una fuente de energía, obteniendo un electrón del núcleo producto de disipar una parte de la energía absorbida. Aquí se realiza un intercambio entre electrones, un electrón propio del material por un electrón de capa exterior el cual tiene mayor energía, la diferencia entre estos se libera como rayos x lo cual permite el análisis de composición correspondiente a un volumen específico que haya sido excitado por la fuente de energía. A medida que se analiza los resultados, se observa que la posición de los picos corresponde a la identificación de los elementos, mientras que la concentración de estos elementos se mide con la intensidad de la señal (Thermo Fisher, 2020).

La calidad de los resultados depende de la intensidad de la señal y la limpieza del espectro, a su vez se debe tener una buena relación entre señal-ruido para que no afecte a la intensidad de la señal. De igual manera la limpieza implica mucho en los resultados ya que afecta en la observación del número de picos falsos (Thermo Fisher, 2020). Se aprecia un ejemplo de las imágenes que proporciona un EDS en la Figura 15-2.



**Figura 15-2.** Calidad de imágenes que proporciona el EDS

Fuente: (Thermo Fisher, 2020)

### 2.15. Ensayo de dureza (Struers, 2020)

Dicho ensayo se realiza con la finalidad de calcular la resistencia que tiene un material al ser sometido a una deformación permanente mediante la penetración de un indentador el cual es de un material más duro (Struers, 2020).

Existen dos maneras de determinar la dureza, las cuales son:

- Al medir la profundidad de penetración del penetrador (dureza Rockwell) (Struers, 2020).
- Al medir la magnitud de la impresión producto de la penetración (dureza Vickers, Knoop y Brinell) (Struers, 2020).

### 2.15.1. Selección del método de ensayo de dureza

Al seleccionar un método de ensayo de dureza, es importante tener las siguientes consideradas mostradas en la Tabla 14-2:

**Tabla 14-2:** Consideraciones para la selección del método de ensayo de dureza

Consideraciones						
El tipo de material que se someterá al ensayo	Si es necesario cumplir alguna normativa concreta	La dureza aproximada del material	La homogeneidad/heterogeneidad del material	El tamaño de la pieza	La cantidad de muestras que se someterá a un ensayo	La precisión necesaria del resultado

**Fuente:** (Struers, 2020)

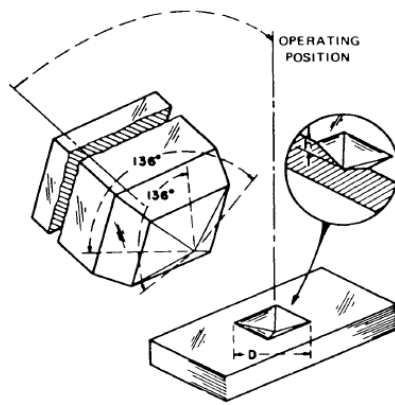
**Realizado por:** Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.

Los diferentes ensayos de dureza tienen sus propias ventajas, así como sus requisitos y estándares. Pero al tratarse de juntas soldadas, el método de ensayo vickers es el adecuado debido a que evalúa todos los materiales sólidos, el cual incluye a su vez a los metálicos, de igual manera se emplea para un amplio rango de aplicaciones e incluye un subgrupo para ensayos de dureza de soldaduras (Struers, 2020).

### 2.15.2. Dureza vickers

Este tipo de ensayo es adecuado para una amplia gama de aplicaciones ya que abarca un amplio rango de carga y es idóneo para múltiples aplicaciones y materiales, los cuales incluyen los ensayos de micro dureza, estos son regidos bajo las normas ASTM E384 e ISO 6507. Para realizar el ensayo de micro dureza Vickers (cargas inferiores o iguales a 1 kgf), la superficie del material debe someterse a un pulido mecánico o electro pulido, paso seguido aplicar el ataque químico adecuado para revelación de microestructuras. Este tipo de dureza se calcula midiendo ópticamente las longitudes diagonales dejadas por el penetrador piramidal cuadrada de diamante que tiene un ángulo de 136° como nos muestra la Figura 16-2, este es forzado en la superficie de la muestra (Vander, 1984).





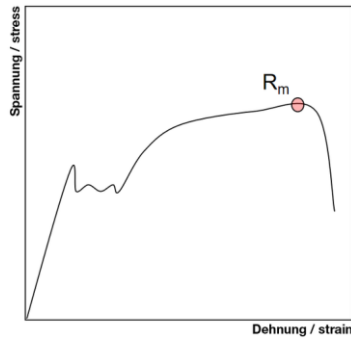
**Figura 16-2.** Esquema que ilustra el penetrador de la pirámide de diamantes de Vickers y la muesca producida.

Fuente: (Vander, 1984)

La marca resultante se observa en el microscopio de tal manera que se realiza la medición de las longitudes de las huellas que se generaron, esta medida será convertida en términos de dureza. Las longitudes de las diagonales del rombo nos dan una estimación de la dureza del material, es decir, que tanto penetró el diamante. Para expresar el valor de dureza Vickers, se realiza citando las siglas HV seguido de la carga que se emplea “P” y del tiempo de permanencia “t”, separado por barras, por ejemplo: xx HV 100/15, indica una dureza Vickers de xx medida, una carga de 100 kgf aplicada durante 15 s. Mientras que al hablar del espaciamiento del penetrador, correspondiente al aluminio este debe tener al menos 6 anchos diagonales entre las penetraciones de igual manera, la medida de las diagonales debe ser mayor a 20  $\mu\text{m}$  (Struers, 2021).

## 2.16. Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción es el esfuerzo de tracción mecánico máximo al que se puede someter a carga una probeta, el cual en el diagrama tensión-deformación está representado como “Rm” en la Figura 17-2, de la cual poder observar que sobrepasado este límite se produce la ruptura del material. Esta variable se determina mediante un ensayo de tracción basada en la norma ISO 6892 para materiales metálicos. Las variables a considerar en el ensayo son la fuerza aplicada, la longitud original, y el área de sección de la probeta (CIPEM SRL, 2020).

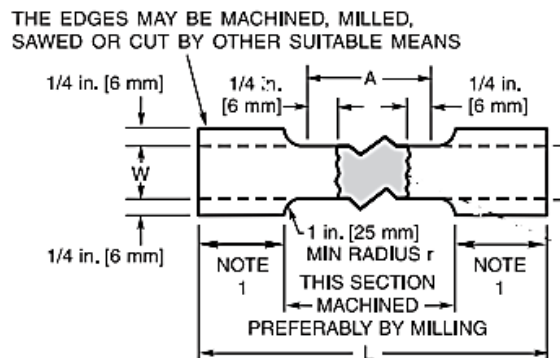


**Figura 17-2.** Diagrama Tensión – Deformación

Fuente: (CIPEM SRL, 2020)

### 2.17. Ensayo de tracción (sección reducida)

Durante este tipo de ensayo se mide la elongación de la probeta y la carga aplicada a la misma. Con estos datos se calculan tensiones y deformaciones trazando una curva correspondiente. Para el desarrollo de las probetas se utiliza la sección 3 de la norma AWS D1.2/D1.2M:2003, como se adjunta en la Figura 18-2 (D1.2/D1.2M, 2003).



**Figura 18-2.** Probeta para ensayo de tracción de sección reducida de acuerdo con la norma, unidades en mm.

Fuente: (D1.2/D1.2M, 2003)

## CAPITULO 3

### 3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describe el material, equipos a utilizar, reactivos y ensayos para analizar la resistencia a la tracción y dureza, bajo normas, también se realiza la evaluación metalográfica de las juntas soldadas de aluminio de grado estructural.

#### 3.1. Placas de experimentación

Para el proceso de soldadura GTAW se utilizó una plancha de zical (7075 T6) de 6 mm de espesor, la cual se adquirió en la ciudad de Quito en la industria IMPORTCOM, tal como se ve en la Figura 1-3. Las dimensiones para las placas se obtuvo de la norma AWS D1.2/D1.2M la cual corresponden a 180x230x6 [mm], como se observa en la Figura 2-3. La composición química y las respectivas propiedades mecánicas del material, corresponden a lo especificado por el proveedor mediante un certificado de calidad.

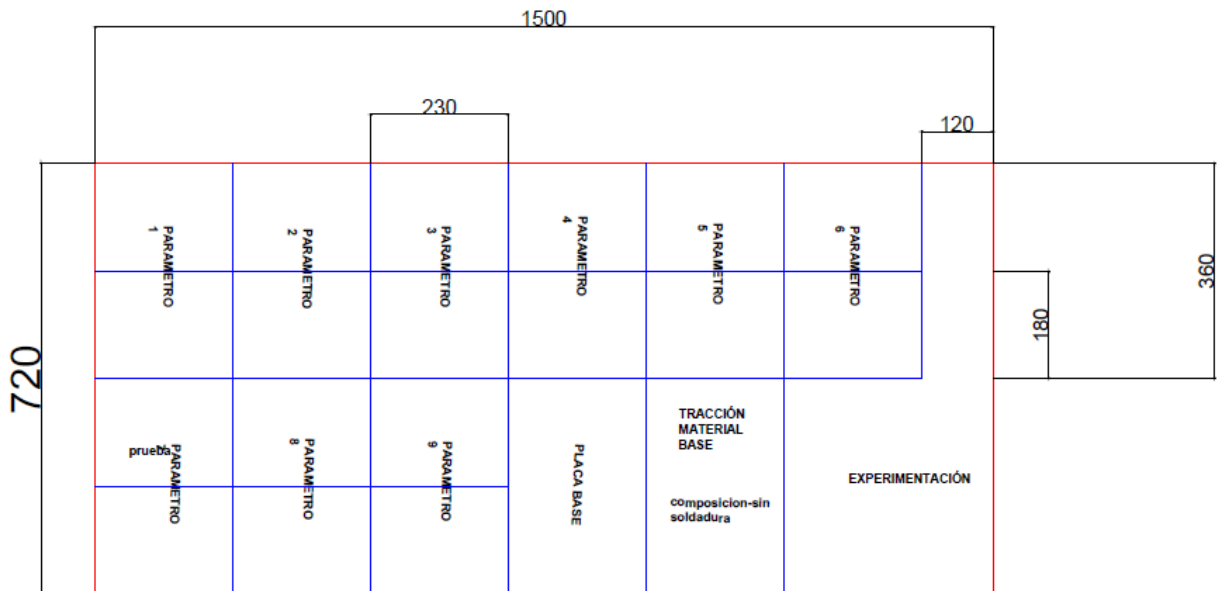
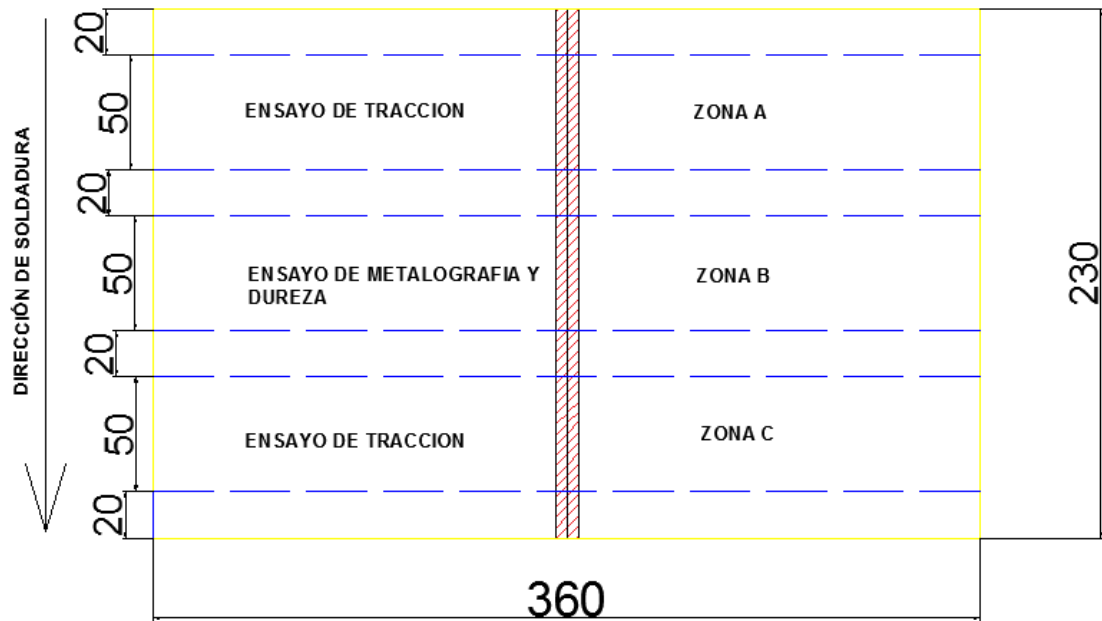


Figura 1-3. Dimensiones de la plancha.

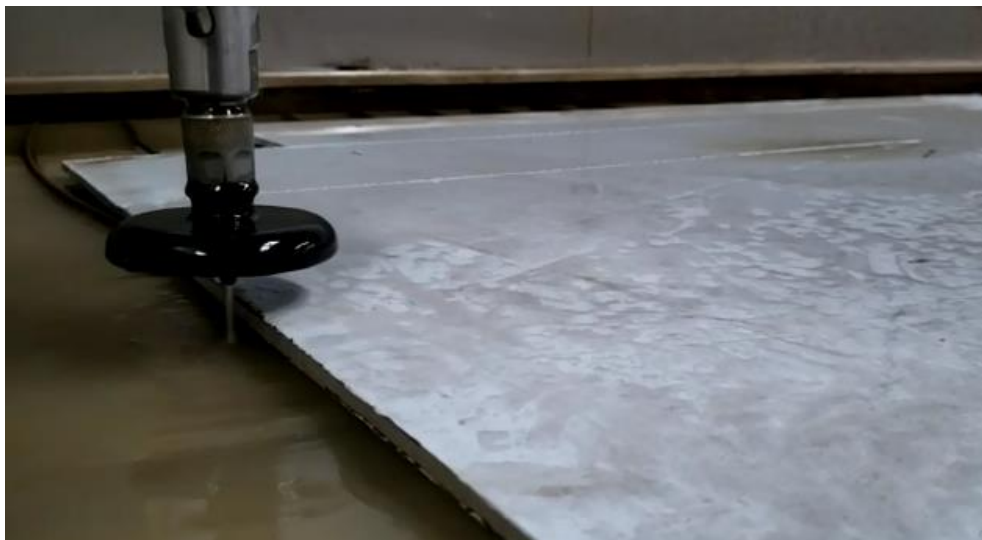
Realizado por: Remache K, Yanchatipan D, 2021



**Figura 2-3.** Dimensiones de las placas a soldar mediante proceso GTAW. Distribución de las zonas.

**Realizado por:** Remache K; Yanchatipan D, 2021

Se realizaron los cortes de las placas por chorro de agua en la ciudad de Quito en la industria SAPTEC como se detalla en la Figura 3-3, este tipo de corte se maneja mediante programación en CNC. Se desarrolla de esta manera ya que un corte mediante disco u otro medio que no tenga refrigeración, afectara térmicamente el tratamiento y composición del material base.

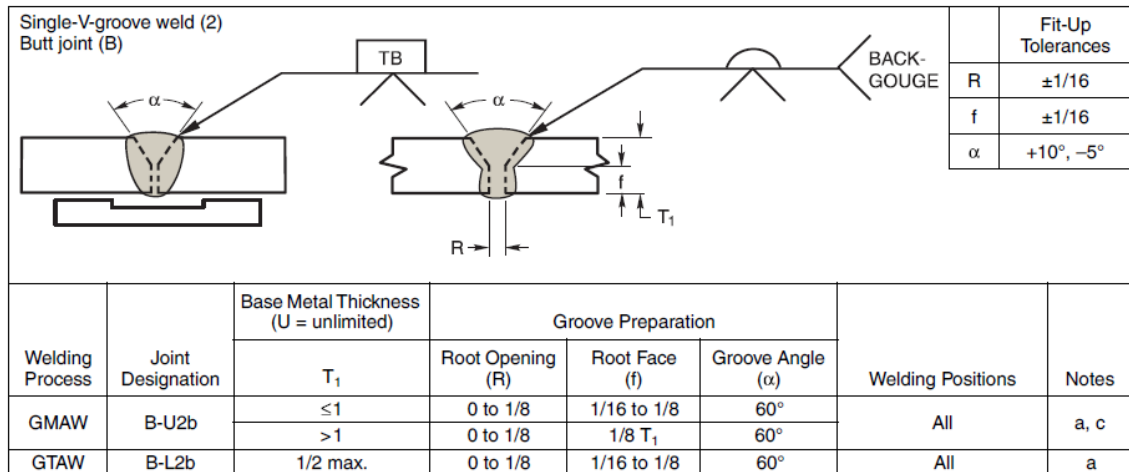


**Figura 3-3.** Proceso del corte por chorro de agua del material base.

**Realizado por:** Remache K; Yanchatipan D, 2021

### 3.1.1. Preparación de las juntas

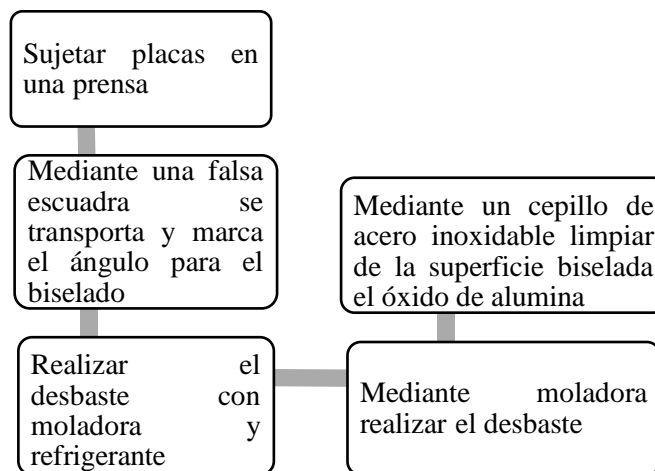
La preparación de las placas para la soldadura se basa en la recomendación para juntas a tope CJP (complete joint penetration) o junta con penetración completa, de la sección de Anexos B de la norma AWS D1.2/D1.2 M: 2003, donde también recomiendan algunas posiciones de soldadura, de modo que se seleccionó la posición 1G correspondiente a plana para soldadura de juntas con ranura. Las dimensiones del bisel se describen en la Figura 4-3, para un espesor de 6 mm.



**Figura 4-3.** Diseño de la Junta CJP

Fuente: (D1.2/D1.2M, 2003)

La Figura 5-3 muestra el proceso que se desarrolló para realizar el biselado.



**Figura 5-3.** Diagrama de proceso de biselado

Realizado por: Remache K; Yanchatipan D, 2021

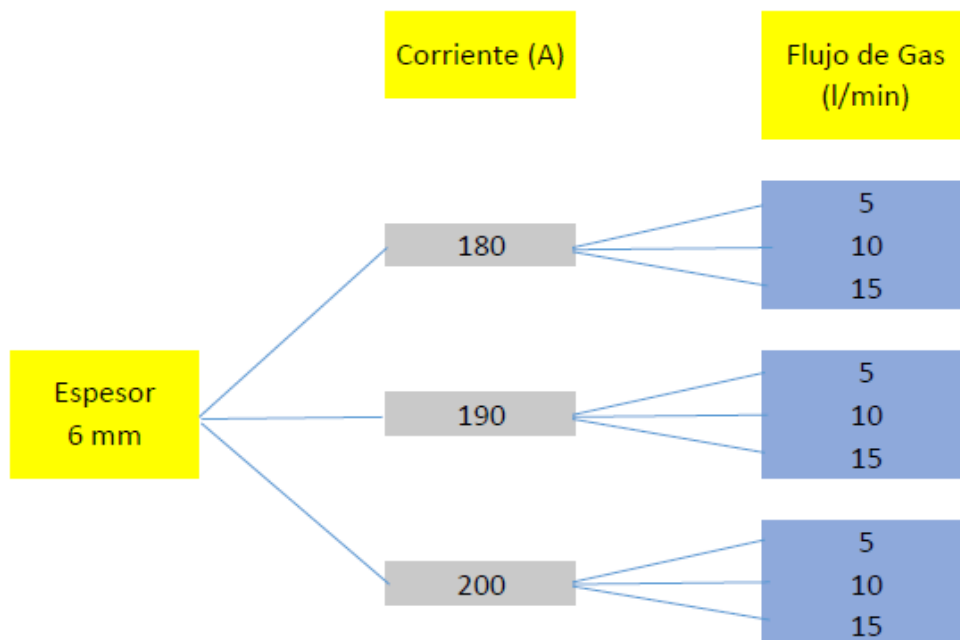
### 3.2. Parámetros de soldeo

Los parámetros que se utilizaron son definidos en la fase de experimentación con respecto a la corriente, ya que se debe lograr una penetración y fusión adecuada del material base con el metal de aporte.

#### 3.2.1. Parámetros a variar en el proceso de soldadura GTAW.

Los parámetros constantes que se dispusieron son el voltaje de arco, el espesor de la junta, el material de aporte.

Mientras que los parámetros que se variaron son la corriente y el flujo de gas, con el fin de observar cómo influyen en las juntas soldadas. Se trabajó con una corriente de 180 A en adelante, con una variación de 10 A, además se utilizó distintos caudales de flujos de gas. Estos parámetros se muestran en la Figura 6-3.



**Figura 6-3.** Designación de parámetros.

Realizado por: Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.

### 3.3. Codificación

Se codificó cada probeta soldada para que se las puede identificar claramente, tal como muestra la Tabla 1-3.

**Tabla 1-3.** Codificación de las placas soldadas

Designación	Corriente(A)	Flujo de gas(l/min)
P180/5	180	5
P180/10	180	10
P180/15	180	15
P190/5	190	5
P190/10	190	10
P190/15	190	15
P200/5	200	5
P200/10	200	10
P200/15	200	15

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021

### 3.4. Obtención de las juntas soldadas

La unión de las placas de aluminio cumplió con los procedimientos generales para soldadura de ranura descritos en el WPS (Anexo A), de la norma AWS D1.2/D1.2M:2003. Se utilizó el material de aporte varilla 4043 y electrodo de Tungsteno puro punta color verde EWP. El proceso de soldadura se realizó mediante el proceso GTAW con corriente alterna.

#### 3.4.1. Equipo de soldadura

Para realizar los cordones se utilizó la máquina para soldar de alta frecuencia RONCH 200TIGP AC-DC, pertenecientes a un taller especializado en diseño y construcción de equipos industriales y agrícolas, ellos trabajan en acero inoxidable, acero al carbono y aluminio. Cuyo equipo y características del mismo se muestran en la Figura 7-3 y en la Tabla 2-3.



**Figura 7-3.** Equipo utilizado para realizar los cordones de soldadura.

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021

**Tabla 2-3.** Especificaciones de la máquina para soldara

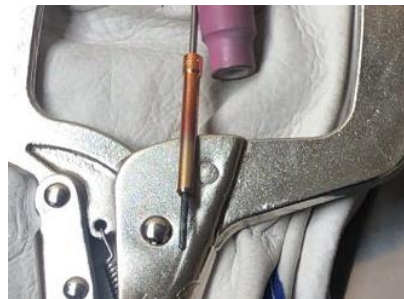
Marca	RONCH
Modelo	200TIGP AC/DC
Rango de corriente(A)	10-200 AC TIG
Frecuencia o(Hz)	50/60
Frecuencia de pulso(Hz)	0,5-200
Modo TIG	TIG HF

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021

### 3.4.2. *Proceso de soldadura*

Se siguió los siguiente pasos para el proceso de soldadura:

1. Calibración de la máquina de soldadura con los parámetros a utilizar.
2. Preparación de la punta de tungsteno correspondiente para soldar aluminio, tal como se muestra en la Figura 8-3.



**Figura 8-3.** Punta de tungsteno redondeada

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021

3. Se realizó un canal en una placa base que servirá para la protección del cordón de raíz, tal como se muestra en la Figura 4-3 y la Figura 9-3.



**Figura 9-3.** Realización del canal

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021



4. Sujeción con alicates de presión “tipo C” de las placas a soldar.
5. Separación entre placas de 4mm, como se muestra en la Figura 4-3, se utilizó puntos de suelda para prevenir que las placas al soldarse pierdan el espacio especificado.
6. Se utilizó un par de placas extras al principio y al final del cordón de soldadura, como se observa en la Figura 10-3.



**Figura 10-3.** Placas extras al principio y final del cordón de soldadura.

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021

7. Se procedió a realizar el cordón de soldadura en la posición ya especificada y con los EPP correspondientes, así como se observa en la Figura 11-3.



**Figura 11-3.** Desarrollo de los cordones

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021

### **3.5. Inspección de las placas**

Posterior a la obtención de todas las placas soldadas, estas se inspeccionaron con el fin de detectar la existencia de defectos que ocasione el rechazo de las mismas, esta verificación de las placas se

ejecutó antes de realizar cualquier ensayo mecánico, para lo cual se usó la técnica de inspección visual descrito en la norma antes mencionada.

### 3.5.1. Inspección Visual

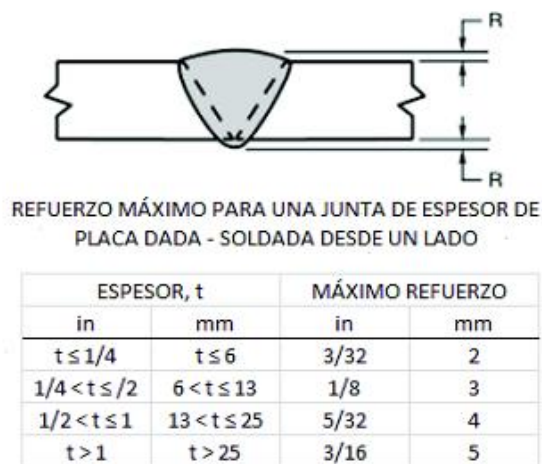
Este ensayo se usó para determinar si las placas soldadas cumplen con los siguientes criterios de aceptación basadas en la norma AWS D1.2/D1.2 M: 2003 sección 3.6.2, estas se muestran en la Tabla 3-3 y Figura 12-3 (D1.2/D1.2M, 2003).

**Tabla 3-3:** Criterios de aceptación de las placas por medio de la inspección visual

Criterios de aceptación					
Tanto la superficie de la cara como la raíz deben estar libres de grietas.	Los bordes de la soldadura se mezclarán suavemente con el metal base.	La socavación del cordón no debe exceder 0,01 in. [0,25 mm].	La raíz debe mostrar fusión completa para soldaduras ranura CJP.	La concavidad de la raíz no debe exceder 1/16 in. [2 mm].	El espesor total de la soldadura debe ser igual o mayor que el espesor del metal base, pero el refuerzo de la soldadura no debe exceder el valor listado en la Figura 8-3.

Fuente: (D1.2/D1.2M, 2003).

Realizado por: Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.



**Figura 12-3.** Perfil aceptable de soldadura de ranura en una junta a tope soldada desde un lado.




Fuente: (D1.2/D1.2M, 2003)

### 3.5.2. Tintas penetrantes

El desarrollo de esta técnica se realizó bajo la norma ASTM E165-02, con el objetivo de revisar discontinuidades presentes en los cordones de soldadura mediante la ayuda de un magnificador.

Los materiales que se emplearon tienen un orden específico: solvente para limpieza, tinta penetrante y revelador como se observa en la Tabla 4-3 (ASTM, 1995).

**Tabla 4-3.** Equipo para tintas penetrantes

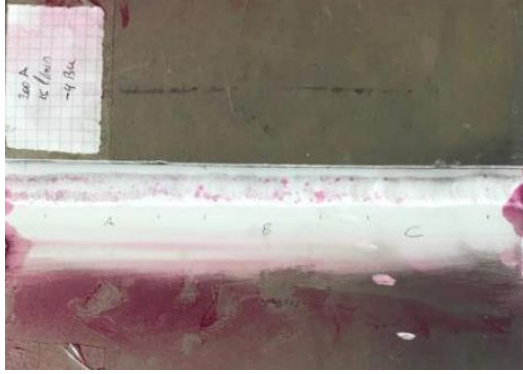
KARL DEUTSCH(KD)		
Solvente para limpieza	Penetrante	Revelador
KD-CHECK PR-1	KD-CHECK RDP-1	KD-CHECK SD-1
		

Realizado por: Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.

### 3.5.2.1. Procedimiento

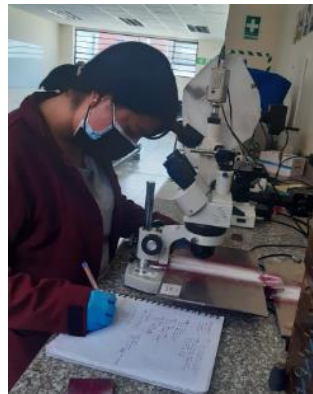
Se realizó este ensayo en una superficie plana, cabe recalcar que se utilizó un cepillo de acero para limpiar las impurezas tanto en el cordón como aproximadamente 1in alrededor de los bordes del cordón. A continuación, se realizaron los siguientes pasos (ASTM, 1995):

1. Pre-limpieza mediante el solvente para conseguir que la superficie esté libre de cualquier contaminante líquido o sólido.
2. Secado después de la pre-limpieza.
3. Aplicación del penetrante, tiempo de espera 5 minutos.
4. Limpieza de exceso de tinta penetrante.
5. Aplicación del revelador, tiempo de espera 10 min, obteniendo una superficie como la Figura 13-3.
6. Examen con luz visible mediante un magnificador como se ve en la Figura 14-3.



**Figura 13-3.** Cordones aplicados tintas penetrantes

**Realizado por:** Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.



**Figura 14-3.** Observación de discontinuidades

**Realizado por:** Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.

### 3.5.2.2. *Aceptación*

La norma AWS D1.2/D1.2 M: 2003 sección 5.14, especifica que los cordones de soldadura deben cumplir los siguientes parámetros de aceptación planteados en la Tabla 5-3 (AWS D1.2/D1.2 M, 2003).

**Tabla 5-3:** Criterios de aceptación de las placas por medio de tintas penetrantes

Parametros de aceptación	
No debe existir grietas en la soldadura.	Debe existir una fusión completa entre las capas adyacentes del metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base.

**Fuente:** (AWS D1.2/D1.2 M, 2003)

**Realizado por:** Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.

### 3.6. Probetas para realización de ensayos

De acuerdo a las dimensiones mostradas en la Figura 2-3 se realizó los cortes correspondientes a las placas soldadas para los respectivos ensayos, como se muestra en la Figura 15-3. La longitud perpendicular al cordón de soldadura varió con respecto a los equipos que se emplearon para los ensayos.



**Figura 15-3.** Probetas cortadas.

**Realizado por:** Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.

### 3.7. Análisis metalográfico

Los ensayos metalográficos de las probetas se realizaron mediante 2 microscopios, se empleó el microscopio óptico marca Buehler, cuyo equipo y características del mismo se muestran en la Figura 16-3 y en la Tabla 6-3. Y también se empleó el microscopio SEM marca Jeol, cuyo equipo y características del mismo se muestran en la Figura 17-3 y en la Tabla 7-3.



**Figura 16-3.** Microscopio óptico.

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021

**Tabla 6-3.** Especificaciones del microscopio óptico

Marca	BUEHLER
Serie	B-IMM21408
Ampliaciones	100x-200x-500x
Bombilla	6 V - 20 W
Corriente de entrada	110 V

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021



**Figura 17-3.** Microscopio SEM

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021

**Tabla 7-3.** Especificaciones del microscopio SEM

Marca	JEOL
Modelo	JSM-IT200
Tipo	Electrónico de Barrido

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021

### **3.7.1. Preparación de muestras**

En la norma ASTM E3-11(2017) se describe el proceso para la preparación de muestras para el análisis metalográfico.

- Preparación de las superficies de las muestras usando lijas 200, 400, 500, 600, 1000, 1200, 1500 y 2000
- Pulir la probeta en el disco de pulido con la ayuda de alúmina, dando una superficie tipo espejo, como se puede observar en la Figura 18-3.
- Limpiar con un removedor de óxidos la probeta.

- Bajo la norma ASTM E407 se realizó el ataque químico, es decir se empleó el reactivo de Keller (2 ml de HF + 3ml de HCL + 5 ml de HNO3 + 190 ml de agua) colocando 1 ml con una pipeta por 20 segundos en cinco ocasiones, entre cada intervalo se realizó la limpieza con alcohol y agua (ASTM E 407, 2007).
- Una vez atacada las probetas se utilizó un microscopio donde se observa las microestructuras presentes. Se utilizó el microscopio electrónico de barrido para un análisis a mayor número de aumentos.



**Figura 18-3.** Apreciación del cordón de raíz y de refuerzo.

**Realizado por:** Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.

### 3.8. Dureza

Para el ensayo de dureza se utilizó las muestras utilizadas para metalografía. Este ensayo se realizó de acuerdo a la norma ASTM E384.

#### 3.8.1. *Equipo para realizar el ensayo de dureza*

El ensayo de dureza se realizó en el equipo denominado durómetro, en donde se obtiene valores de micro dureza, cuyo equipo y características del mismo se muestran en la Figura 19-3 y en la Tabla 8-3. Se analizó puntos correspondientes desde el centro de soldadura hacia los extremos, dichos puntos corresponden a la zona del metal soldado, la zona afectada por el calor y llegando al metal base, tal como se muestra en la Figura 20-3 y Tabla 9-3.



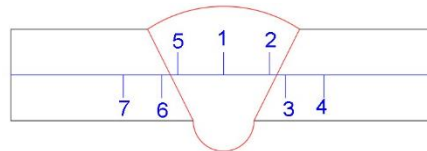
**Figura 19-3.** Equipo utilizado para realizar los ensayos de dureza.

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021

**Tabla 8-3.** Especificaciones de la máquina para ensayo de dureza.

Marca	BUEHLER
Modelo	MICROMET II
Carga mínima [kgf]	0,01
Carga máxima [kgf]	1
Tiempos de carga [s]	5-10-15-20-25-30

Realizado por: Remache K, Yanchatipan D, 2021



**Figura 20-3.** Puntos para dureza vickers.

Realizado por: Remache K, Yanchatipan D, 2021

**Tabla 9-3.** Designación de los puntos.

<b>Metal Fundido</b>	1
<b>Antes de la ZAC</b>	2 y 5
<b>ZAC</b>	3 y 6
<b>Metal Base</b>	4 y 7

Realizado por: Remache K, Yanchatipan D, 2021

### 3.8.2. Procedimiento para realizar el ensayo de dureza

Con las probetas ya atacadas con el reactivo de Keller, se procedió a realizar los siguiente pasos:

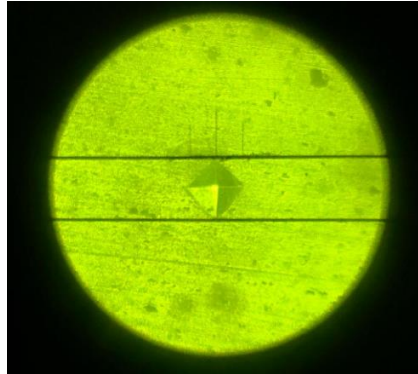
1. Marcar las probetas de acuerdo a la Figura 20-3, para realizar el ensayo.
2. Colocar y ajustar la probeta con las mordazas del durómetro.
3. Utilizar los carros longitudinales y transversales para ubicar el punto donde se realiza el ensayo.
4. Enfocar las microestructuras correspondientes a cada zona.
5. Cambiar el lente utilizado para microestructura por el identador de diamante.
6. Seleccionar la carga a utilizar(200g).
7. Seleccionar el tiempo a ensayar(10s).
8. Cambiar el identador de diamante por el lente para microestructura.
9. Colocar las diagonales del lente de manera perpendicular a los ejes de la indentación, como se observa en la Figura 20-3.
10. Utilizar la ecuación (1) para obtener la microdureza.

$$HV = 1.8544 \left( \frac{P}{D^2} \right) \quad (1)$$



En la cual:

- P: carga aplicada en kgf
- D: diagonal medida de la huella en mm



**Figura 21-3.** Medición de las diagonales del indentador.

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021

### **3.9. Ensayos Destructivos**

Se realizó los ensayos de tracción para determinar la resistencia mecánica, según lo establecido en la sección 3 de la norma AWS D1.2/D1.2 M: 2003.

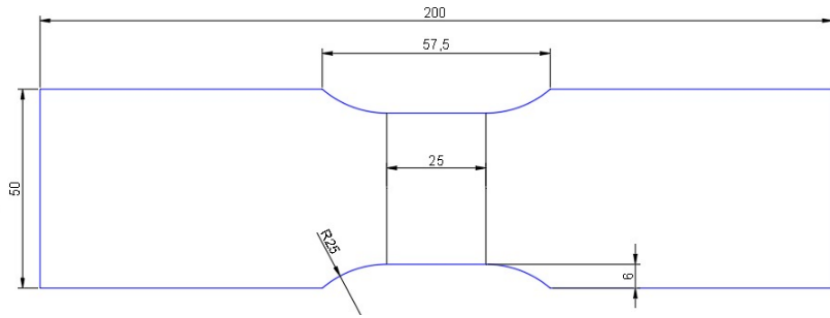
Estos ensayos se realizaron en el Centro de fomento productivo Metalmecánico Carrocero, ubicado en la ciudad de Ambato.

#### **3.9.1. Ensayo de tracción**

Se realizó en base a la norma AWS D1.2/D1.2 M: 2003 específicamente para planchas soldadas, denominándose ensayo de tracción de sección reducida el cual se utiliza en juntas soldadas, se realizó 2 ensayos por cada parámetro, ya que así lo establece la norma.

##### **3.9.1.1. Probetas**

Las probetas para la realización de este ensayo cumplieron con las dimensiones mostradas en la Figura 21-3, como muestra la norma AWS D1.2/D1.2 M: 2003 para probetas de ensayo de tracción sección reducida.

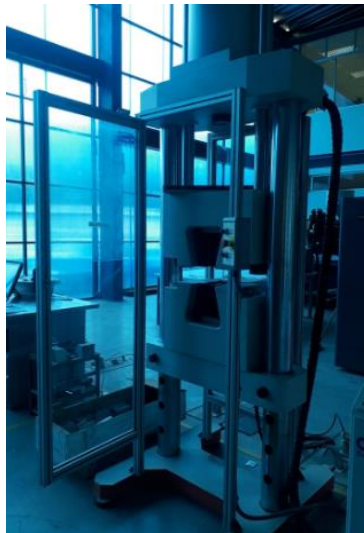


**Figura 22-3.** Probeta para ensayo de tracción (sección reducida).

**Realizado por:** Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.

### 3.9.1.2. *Equipo para los ensayos de tracción*

El ensayo de tracción se realizó en el equipo denominado máquina de ensayos universal para metales metro test 1500 KN, cuyo equipo y características del mismo se muestran en la Figura 22-3 y en la Tabla 10-3, con lo cual se obtuvieron valores de carga aplicada y elongación. Estos valores se utilizaron para poder graficar los diagramas de esfuerzo vs deformación.



**Figura 23-3.** Equipo utilizado para realizar los ensayos de tracción.

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021

**Tabla 10-3.** Características técnicas de la máquina Metro test 1500 kN

Modelo	STH-1500 S/C
Precarga(N)	1000
Limite Fuerza(KN)	1500
Velocidad de ensayo	5 mm/min

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021

### 3.10. Costos

El costo total es la suma de los costos directos y costos indirectos, que se empleó en el proyecto.

#### 3.10.1. Costos directos

**Tabla 11-3.** Costos de materiales

Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Sub Total (USD)
Varilla TIG 4043	U	54	0,6	32,4
Electrodo Tungsteno EWP	U	4	4	16
Collet TIG	U	2	3	6
Boquilla de Cerámica TIG #6	U	2	3	6
Plancha Aluminio 7075 T6 e=6mm 0.72x1.5	m <sup>2</sup>	1	566,66	566,66
Ácido clorhídrico	ml	50	34,50	34,50
Total				661,56

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021

**Tabla 12-3.** Costos de mano de obra

Ítem	Descripción	Horas - Hombre	Costo x Hora	Sub Total
Oxicorte	Corte de plancha mediante oxicorte	4	26,25	105
Soldadura	Desarrollo de los cordones de soldadura	28	17,85	500
Fresadora	Fresado de probetas para Tracción	12	12,5	150
Tracción	Ensayos de Tracción	10	33,32	333,2
Total				1088,2

**Realizado por:** Remache K, Yanchatipan D, 2021

**Tabla 13-3.** Costos de equipos y herramientas

Ítem	Descripción	Horas - Equipo	Costo x Hora	Sub Total
Cepillo Manual Acero	Usado para la Limpieza de probetas	8	0,5	4
Alicate de Presión tipo C TRUPER	Usado para la sujeción de las probetas	28	0,51	14,28
			Total	18,28

Realizado por: Remache K, Yanchatipan D, 2021

**Tabla 14-3.** Costos de transporte

Viajes fuera de la ciudad	200
Viajes dentro de la ciudad	50
Total	250

Realizado por: Remache K, Yanchatipan D, 2021

### 3.10.2. Costos indirectos

**Tabla 15-3.** Costos indirectos

Costo Ingenieril (10%)	201,804
Imprevistos	0
Utilidad	0
Total	201,804

Realizado por: Remache K, Yanchatipan D, 2021

### 3.10.3. Costo total

**Tabla 16-3.** Costo total

C. Directo	2018,04
C. Indirecto	201,804
Total	2219,844

Realizado por: Remache K, Yanchatipan D, 2021

## CAPITULO 4

### 4. RESULTADOS

En este capítulo se describe los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el material base y las juntas soldadas.

#### 4.1. Material base

##### 4.1.1. Espectroscopia por chispa del metal base

Mediante espectroscopia por chispa se obtuvo la composición química del material bases registradas en la Tabla 1-4, con esto se realizó una comparación con respecto a los valores teóricos que se muestran en la Tabla 3-2.

**Tabla 1-4.** Componentes por espectrometría por chispa

Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
0,09	0,098	2,432	0,031	2,47
Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
0,183	< 0,005	6,708	0,06	0,031
Al [%]				
87,9				

Realizado por: Remache K, Yanchatipan D, 2021

Se observó un pequeño incremento tanto en el cobre y zinc, esto se debe a que no se utilizan cantidades tan exactas al momento de realizar el proceso del laminado en la plancha, pero a su vez cumplió con la composición química establecida en la tabla antes mencionada.

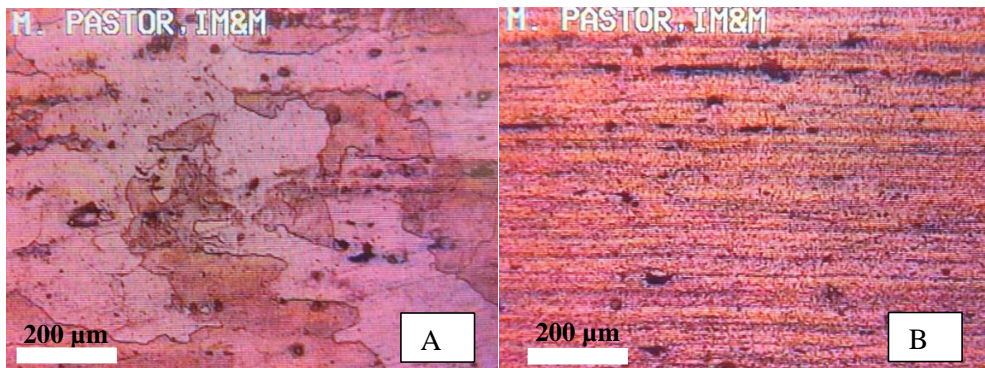
##### 4.1.2. Microestructuras del metal base

Como se observa en las Figuras 1-4 y 2-4, las disposiciones de las microestructuras varían con respecto a la superficie a analizar, cuyos cambios se dan por el proceso al cual fue sometida la lámina para su elaboración (laminación) y también influye el tratamiento térmico al cual fue sometido (T6) (Harrison, T; Crawford, B; Janardhana, M y Clark, G, 2011).



**Figura 1-4.** Vista tridimensional de una plancha 7075 T6.

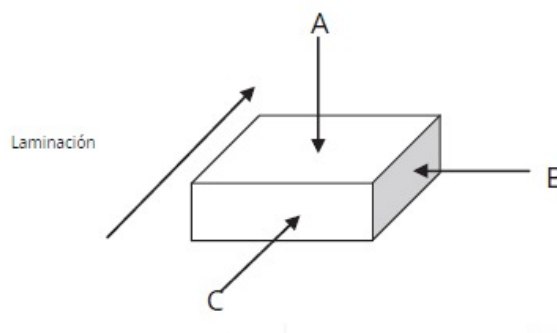
**Fuente:** (Harrison, T; Crawford, B; Janardhana, M y Clark, G, 2011)



**Figura 2-4.** Plancha 7075 T6 (A) vista superior, (B) vista lateral

**Realizado por:** Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.

El área que se analizó es la vista longitudinal (B) como se observa en la Figura 3-4. En esta vista seleccionada se estudió el cordón de soldadura, mediante los ensayos de metalografía y dureza.



**Figura 3-4.** Vista tridimensional de una plancha.

**Realizado por:** (Harrison, T; Crawford, B; Janardhana, M y Clark, G, 2011)

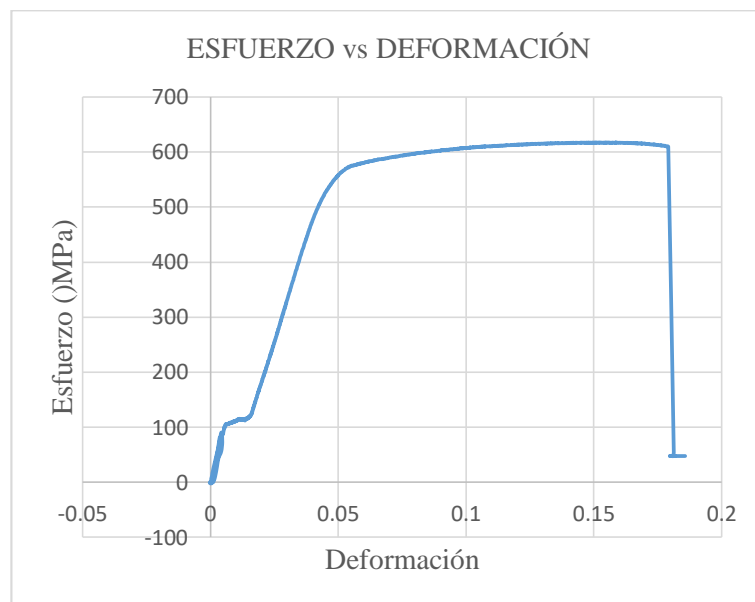
#### 4.1.3. Dureza del metal base

En la superficie (A) correspondiente a la Figura 3-4, se realizó el ensayo de dureza Brinell en el que se obtuvo una dureza de 170HB y mediante Vickers una dureza de 173HV, verificándose así los valores teóricos de dureza del metal base que se encuentran en la investigación teórica.

Sin embargo, en la zona (B) se obtuvieron una dureza de 111,19HV, debido a que los granos se encuentran de forma laminar, tal como se observa en la Figura 2-4(B).

#### 4.1.4. Tracción del metal base

En el ensayo de tracción se utilizó la norma ISO 6892-1 para la designación de medidas de las probetas, en las que se obtuvieron un valor promedio de resistencia última del material de 613,28MPa como se muestra en el Gráfico 1-4, dicho valor está acorde a la teoría.



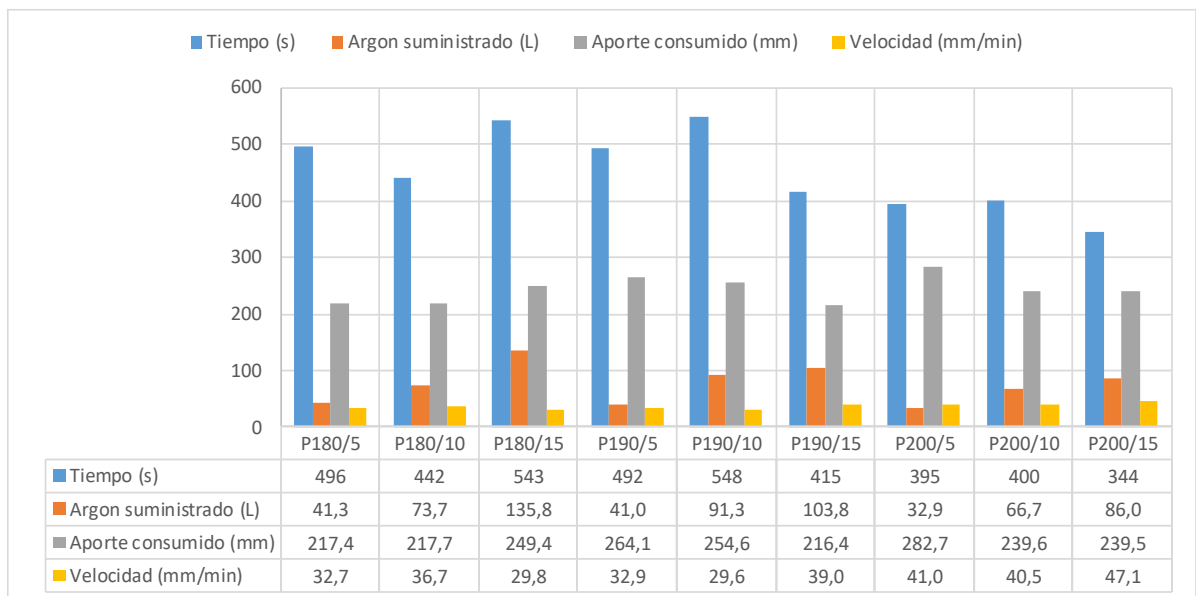
**Gráfico 1-4.** Gráfica esfuerzo vs deformación de placa base.

Realizado por: Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.

#### 4.2. Juntas soldadas

En el proceso de soldadura se tomó en cuenta el tiempo de elaboración del cordón de soldadura, cantidad de argón consumido y material de aporte consumido en las juntas soldadas, con el fin de observar variaciones a medida que se cambian los parámetros. Estas variaciones se tabularon y graficaron, mostradas en el Gráfico 2-4.

Al trabajar con una corriente de 180 A se empleó mayor tiempo para la soldadura, cuyo tiempo promedio es de 493.6 segundos, a su vez el aporte consumido se incrementó acorde al caudal. Mientras que con una corriente de 190 A, el tiempo empleado promedio es de 485 segundos, similar al tiempo correspondiente para la corriente de 180 A, sin embargo, mientras se incrementa el argón suministrado la cantidad de aporte consumido disminuye. Finalmente, con una corriente de 200 A el tiempo empleado fue de 379,66 segundos, notándose así que disminuyó considerablemente con respecto a los anteriores con una diferencia de 109,7 segundos; esto se debió a que existe mayor demanda de calor para la fusión, ya que al existir mayor demanda de calor incrementa el consumo de aporte.



**Gráfico 2-4.** Tiempo correspondiente a cada placa.

**Realizado por:** Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.

Al obtener mayor velocidad de avance para la soldadura la cantidad de argón consumido disminuyó, como se observa en la placa P200/15 de la Tabla 2-4. Considerando que se utilizó un caudal de 15 l/min, la cantidad de argón consumido y el tiempo disminuyeron con respecto a las otras placas que fueron protegidas con el mismo caudal de argón, pero con valores de corriente menores.



**Tabla 2-4.** Velocidad de avance y argón consumido.



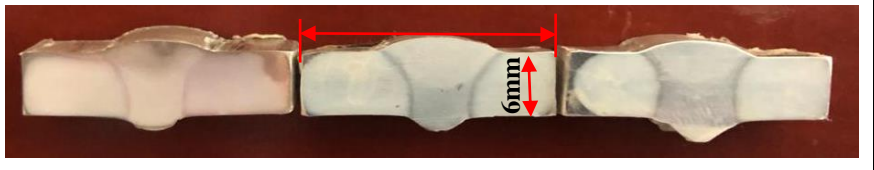
	Velocidad (mm/s)	Argón Consumido (L)
P180/5	0,544	41,335
P180/10	0,611	73,67
<b>P180/15</b>	<b>0,497</b>	<b>135,75</b>
P190/5	0,549	41
P190/10	0,493	91,33
<b>P190/15</b>	<b>0,651</b>	<b>103,755</b>
P200/5	0,684	32,915
P200/10	0,675	66,67
<b>P200/15</b>	<b>0,785</b>	<b>85,995</b>

Realizado por: Remache K, Yanchatipan D, 2021

#### 4.2.1. Inspección visual

Para la valoración de las juntas soldadas se realizó una inspección visual en las muestras, como se evidencia en la Tabla 3-4 y Figura 4-4; de esta manera se verificó que no existen fisuras o grietas al alcance de la percepción del ojo humano, consiguiente se revisó la concavidad del cordón de refuerzo y el cordón de raíz, estos valores se verificaron con un calibrador, ninguno de ellos sobrepasó el límite de 2 mm tal como muestra la Figura 12-3, los cordones también cumplieron con todas las demás consideraciones que indica la norma AWS D1.2/D1.2M:2003.

**Tabla 3-4.** Juntas soldadas con los diferentes parámetros-vista laterales.

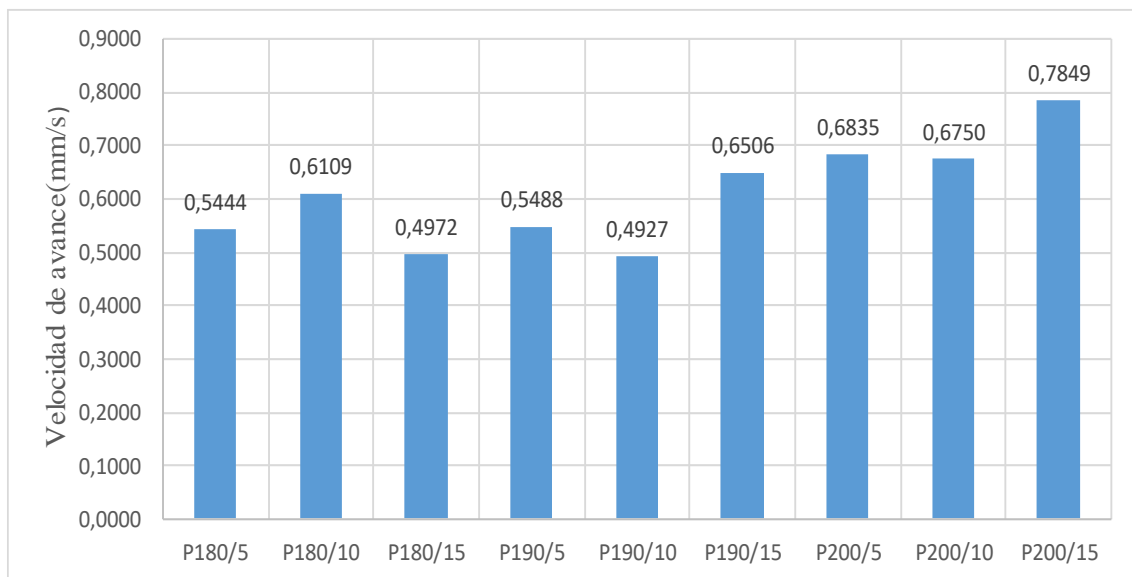
<p><b>Corriente:</b>180 A  <b>Flujo de Argón:</b>5,10 y 15 litros/minuto respectivamente</p>	
<p><b>Corriente:</b>190 A  <b>Flujo de Argón:</b>5,10 y 15 litros/minuto respectivamente</p>	
<p><b>Corriente:</b>200 A  <b>Flujo de Argón:</b>5,10 y 15 litros/minuto respectivamente</p>	

Realizado por: Remache K, Yanchatipan D, 2021

Al trabajar con una corriente de 180 A se analizó que a menor velocidad de avance correspondiente a 0,4972 mm/s se obtuvo una mayor penetración en el cordón de raíz, mientras que si se aumenta este valor la penetración no es tan eficiente como se observa en la Tabla 3-4.

El Gráfico 3-4 muestra las velocidades de avance que se emplearon para establecer un cordón de raíz en cada una de las placas, de la cual se observa que con una corriente de 190 A el valor límite de velocidad de avance son valores inferiores a 0,5488 mm/s. Tanto para 180 A como para 190

A, la velocidad de avance correcta es baja con respecto a los cordones realizados con 200 A, ya que, al tener un mayor aporte de energía, la fusión entre metal base y metal de aporte se realizó de una manera más rápida, debido a que el tiempo promedio aumentó a un valor de 0,7144 mm/s, donde se presentaron mayor fusión en los cordones de raíz.



**Gráfico 3-4.** Velocidad de avance.

Realizado por: Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.






**Figura 4-4.** Cordón de soldadura (A) vista superior, (B) vista inferior

Realizado por: Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.

#### 4.2.2. Tintas penetrantes

El ensayo de tintas penetrantes permite evaluar las discontinuidades superficiales que puedan ser pasadas por alto en la inspección visual, este ensayo se realizó con la ayuda de un magnificador como se observa en la Figura 14-3. Para este procedimiento se utilizó la norma ASTM E165/E165-12. En la mayoría de los cordones se observó poros superficiales, los cuales están registrados en la Tabla 4-4 y en los Anexos B y C, estos datos fueron procesados, de modo que se observa que no son relevantes. Se presenta en la Tabla 5-4 con códigos de colores la presencia de porosidad en las zonas.

**Tabla 4-4:** Resultado de tintas penetrantes de P180/15, ampliación de lente ocular 10X.

Identificación de la pieza:		P180/15
ZONA A	ZONA B	ZONA C
		
<b>Porosidad:</b> media(40) <b>Fisuras:</b> nula	<b>Porosidad:</b> muy baja(6) <b>Fisuras:</b> nula	<b>Porosidad:</b> muy baja(3 poros, casi limpia) <b>Fisuras:</b> nula

Realizado por: Remache K, Yanchatipan D, 2021

**Tabla 5-4.** Análisis de porosidades en zonas.

	A	B	C
180/5	Alta	Alta	Alta
180/10	Media	Alta	Alta
180/15	Alta	Alta	Media
190/5	Alta	Alta	Alta
190/10	Alta	Alta	Alta
190/15	Alta	Alta	Alta
200/5	Alta	Media	Alta
200/10	Alta	Alta	Media
200/15	Alta	Alta	Alta

Alta	Alta
Media	Media
Baja	Baja

Realizado por: Remache K, Yanchatipan D, 2021

La porosidad depende tanto de la habilidad del soldador y de la cobertura de gas, debido a que en este último punto si se tiene un flujo alto produce turbulencias atrayendo más partículas contaminantes y un flujo demasiado bajo produce cobertura insuficiente, estos factores se pudieron notar en los cordones que presentaron una porosidad superficial alta al final de la soldadura como es el caso de las placas P180/10, P190/5, P190/15 y P200/5 tabuladas en la tabla 5-4, donde se observó que el caudal de argón de 5 l/min se repite por dos ocasiones, mostrando que este caudal brinda una insuficiente protección en la realización del cordón, por ende no es óptimo para el proceso.

A pesar de que se reemplazó la boquilla de cerámica para soldar, se limpió la superficie del metal base, se realizó en una zona cerrada evitando corrientes de aire, no se pudo conseguir un cordón libre de porosidad, sin embargo, se obtiene de manera general una porosidad mínima.

La afectación de estas discontinuidades se percibió en el ensayo de tracción, debido a que la porosidad disminuyó la resistencia de la soldadura.

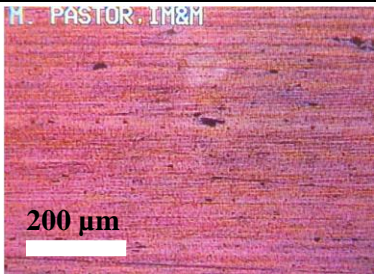
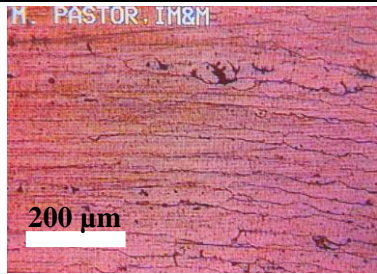

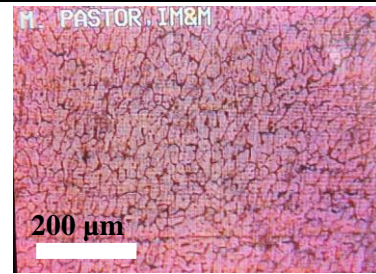
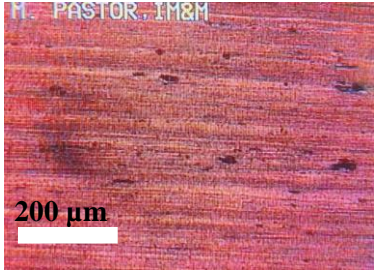
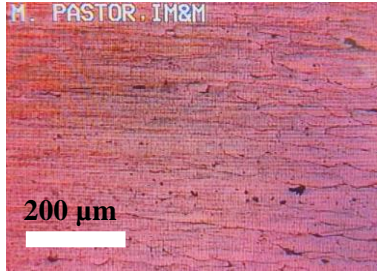
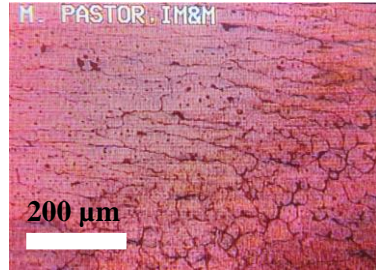
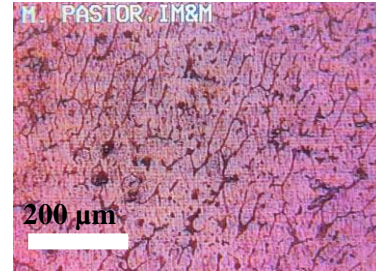
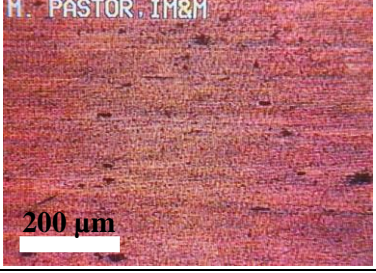
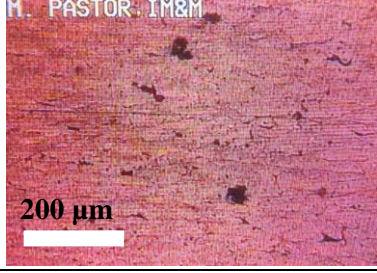
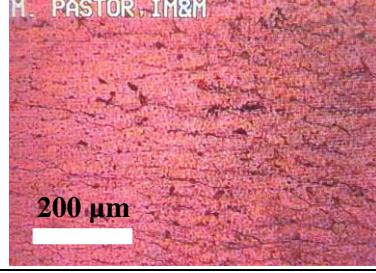
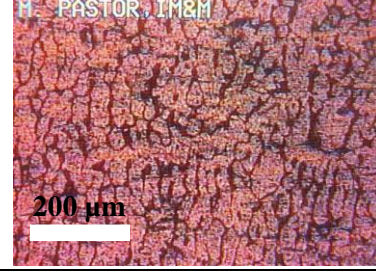
#### **4.2.3. Micrografía de las juntas soldadas**

Se realizó un análisis de las microestructuras en las zonas del metal base, ZAC y el metal fundido; para poder ver la variación de microestructura, las cuales se muestran en las Tabla 6-4, Tabla 7-4 y Tabla 8-4. De igual manera se obtuvo un análisis de su composición la cual se registra en la Tabla 9-4, debido a que estos factores tienen un notable efecto en las propiedades mecánicas del metal.



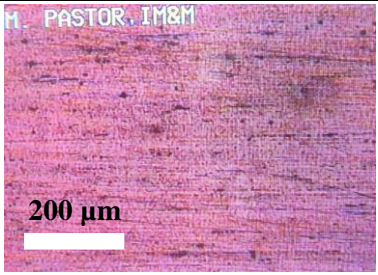
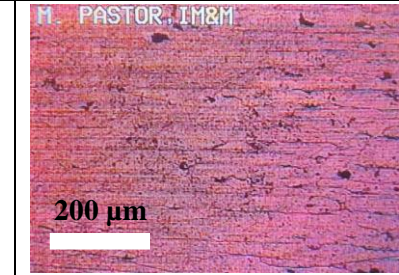
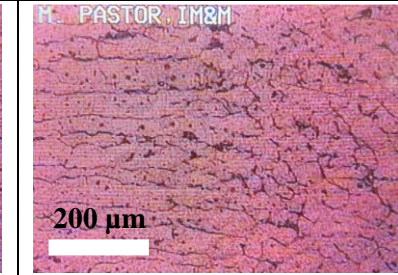
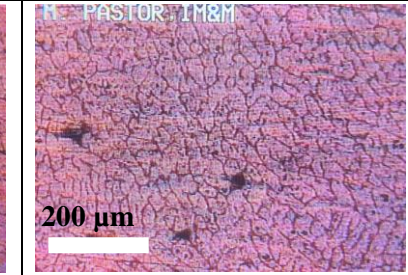

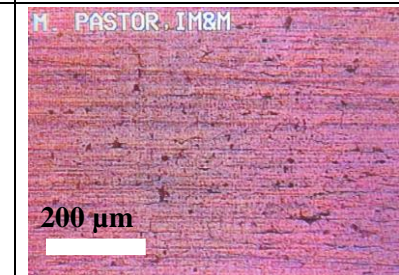
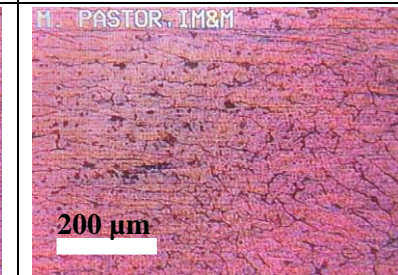
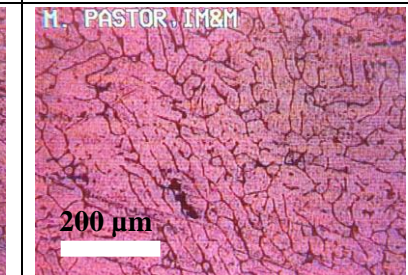
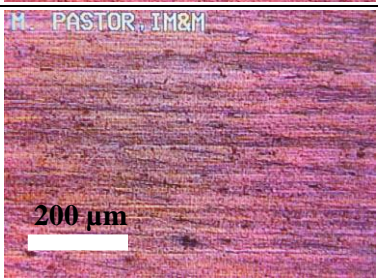
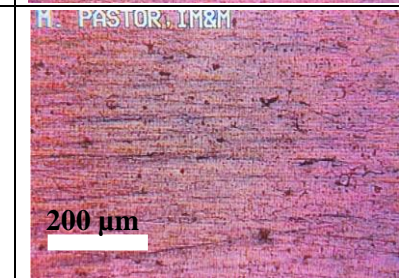
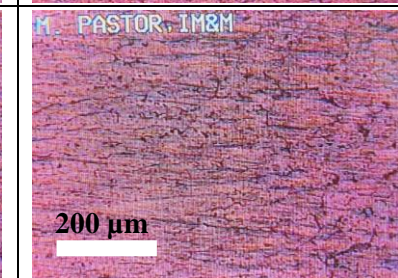
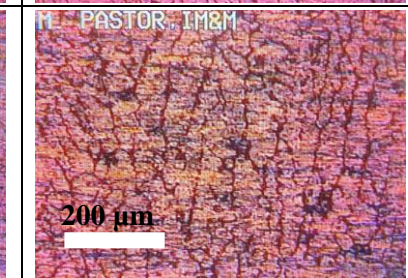
**Tabla 6-4:** Micrografías de las juntas soldadas.

AMPLIACIÓN 100X

CÓDIGO	METAL BASE	ZAC 1	ZAC 2	METAL FUNDIDO
P180/5				
P180/10				
P180/15				

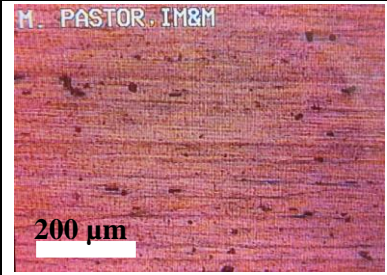
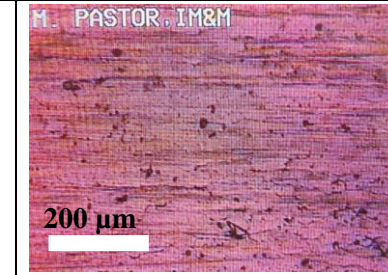
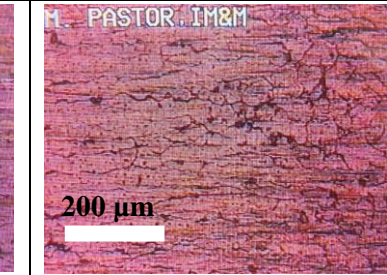
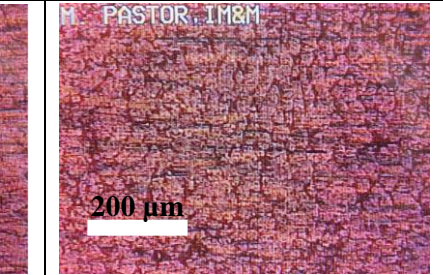
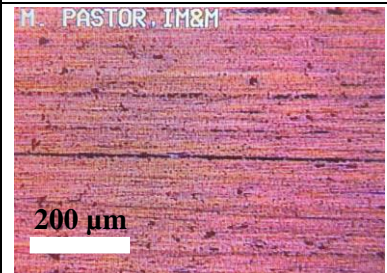
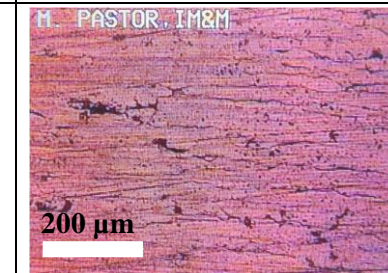
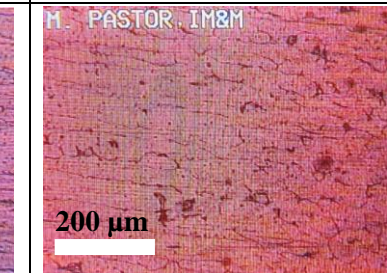
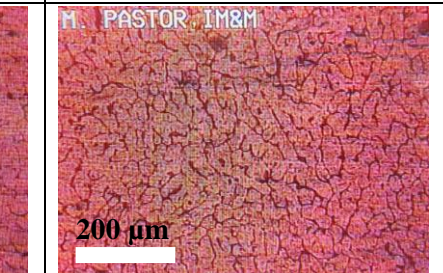
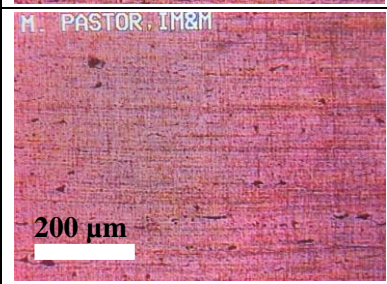
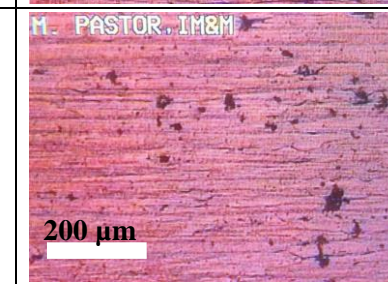
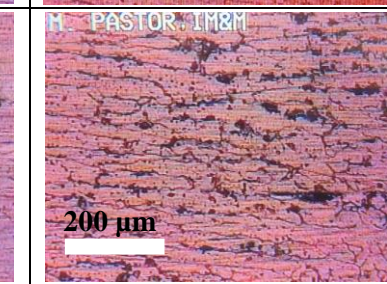
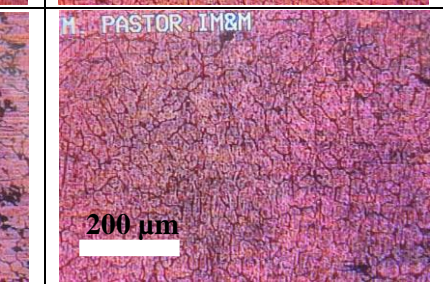


**Tabla 6-4:** (Continuación)

<p>P190/5</p>				
<p>P190/10</p>				
<p>P190/15</p>				

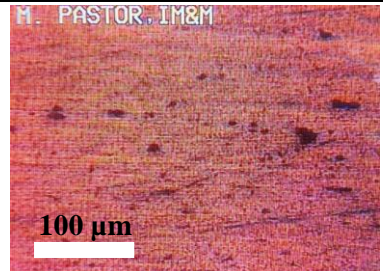
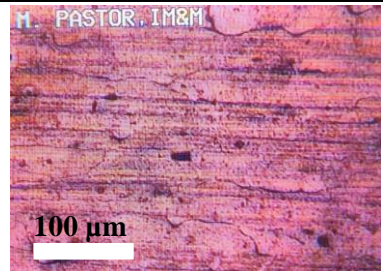
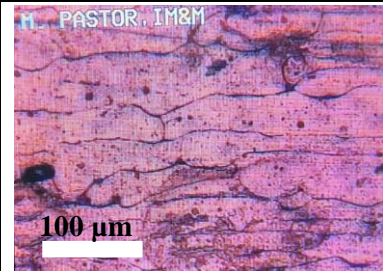
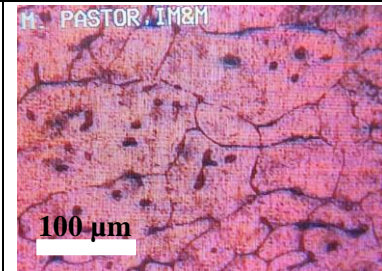
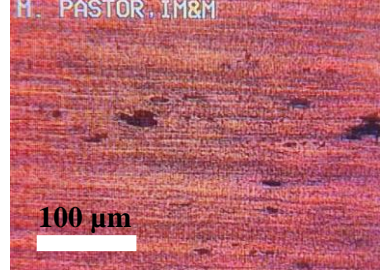
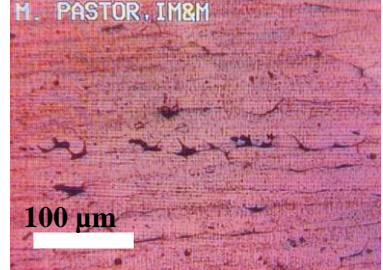
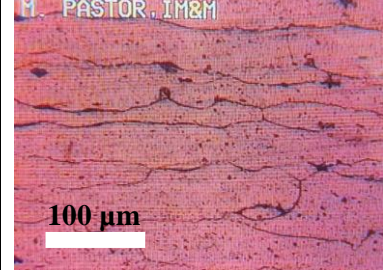
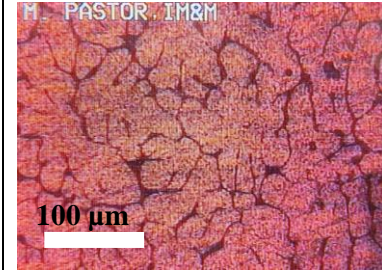
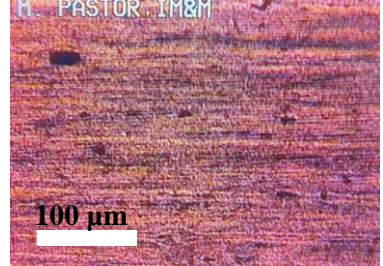
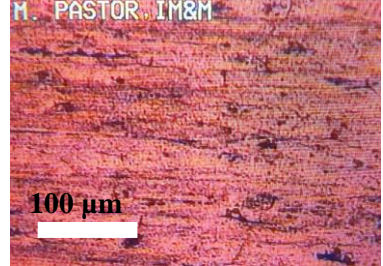
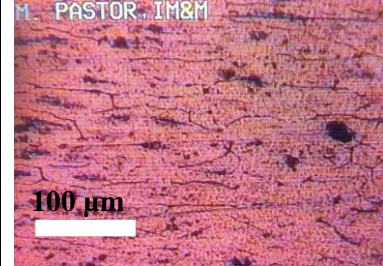
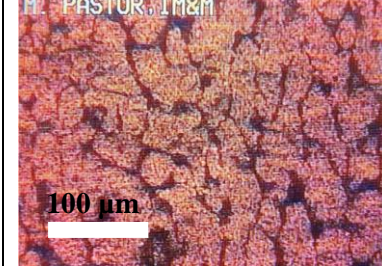


**Tabla 6-4:** (Continuación)

<p>P200/5</p>				
<p>P200/10</p>				
<p>P200/15</p>				

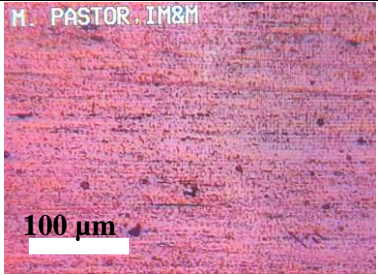
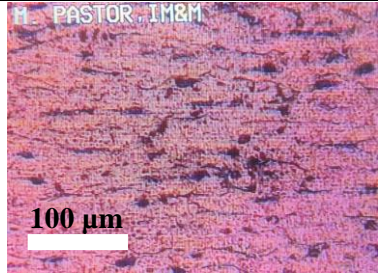
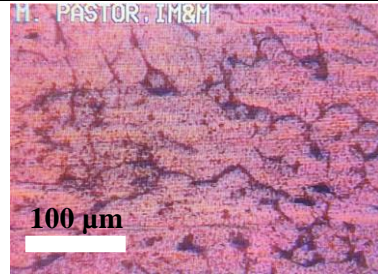
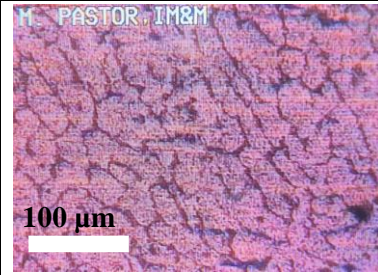
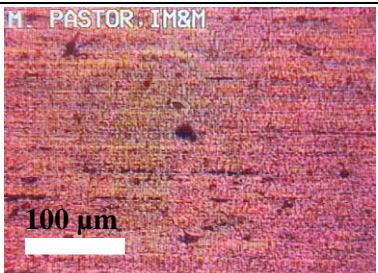
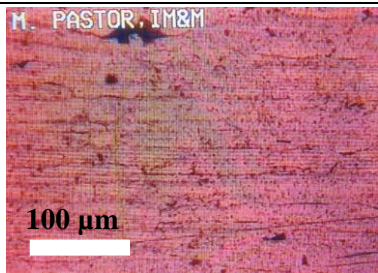
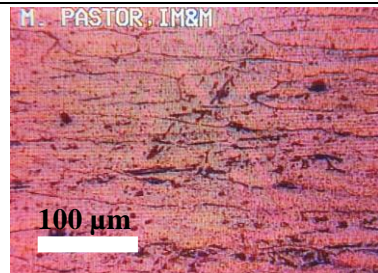
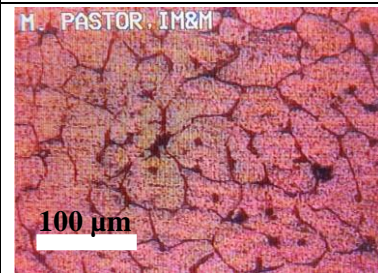
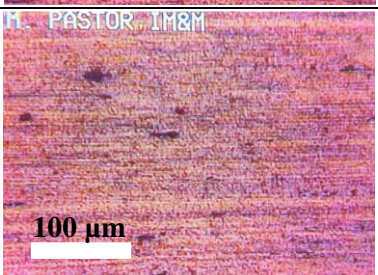
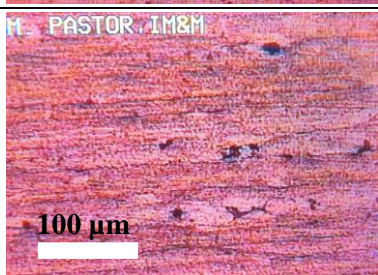
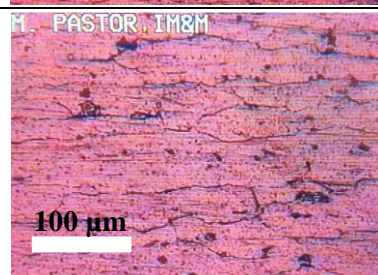



**Tabla 6-4:** (Continuación)  
AMPLIACIÓN 200X

CÓDIGO	METAL BASE	ZAC 1	ZAC 2	METAL FUNDIDO
P180/5				
P180/10				
P180/15				

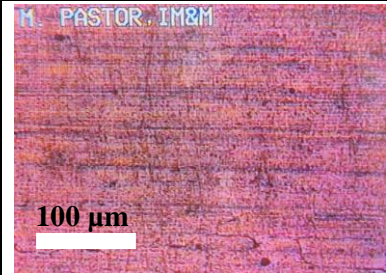
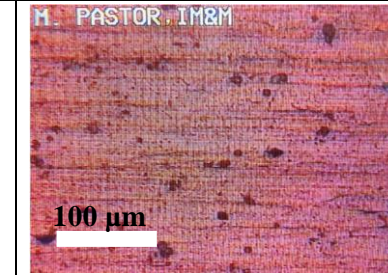
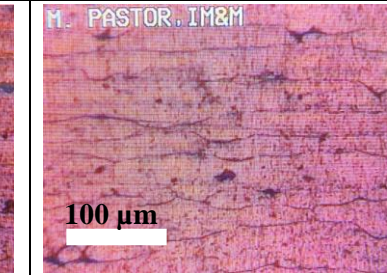
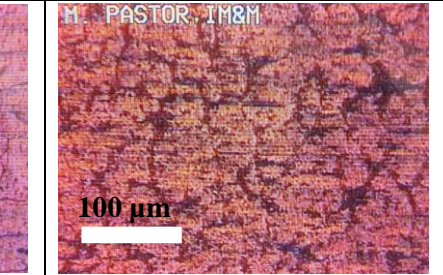
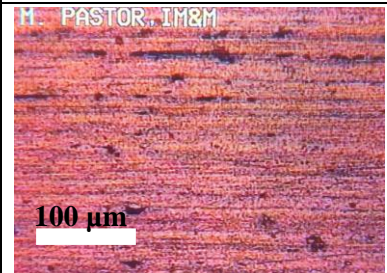
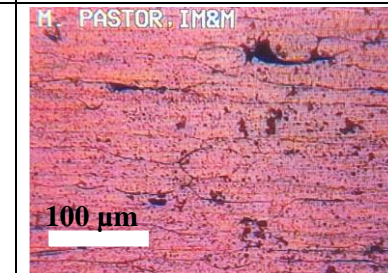
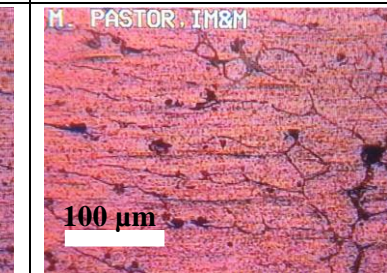
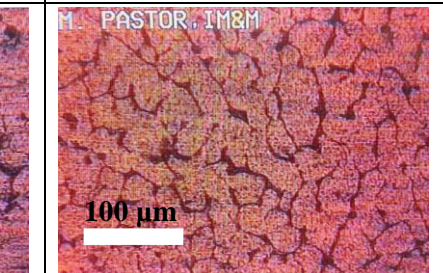
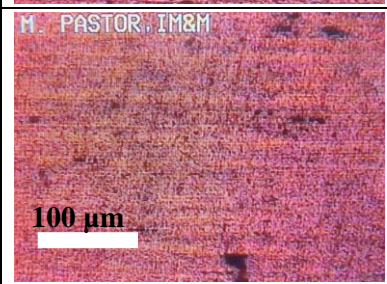
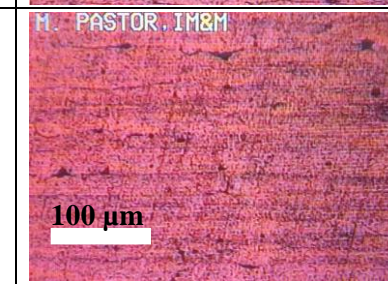
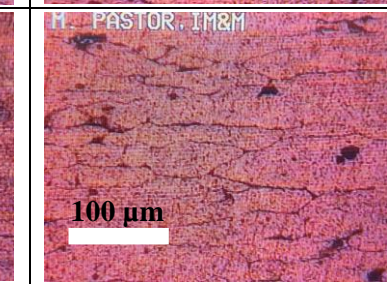
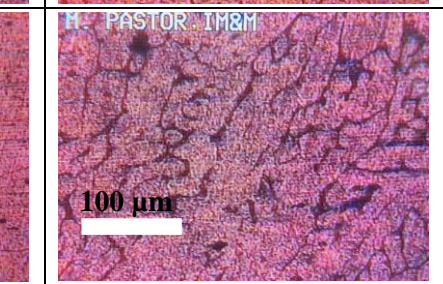


**Tabla 6-4:** (Continuación)

P190/5				
P190/10				
P190/15				



**Tabla 6-4:** (Continuación)

<p>P200/5</p>				
<p>P200/10</p>				
<p>P200/15</p>				



**Tabla 6-4:** (Continuación)  
 AMPLIACION 500 X


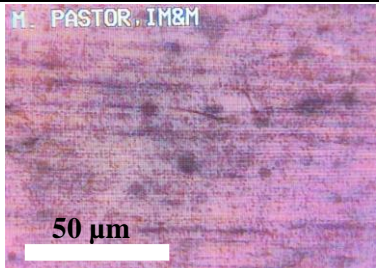
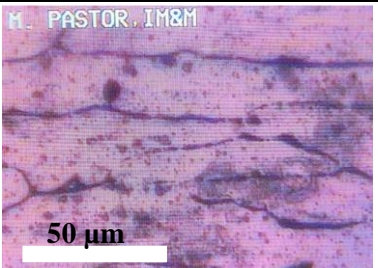

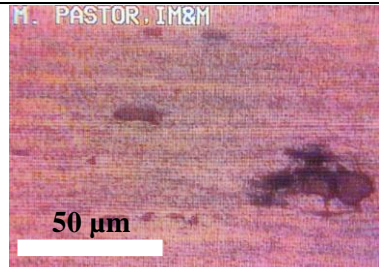

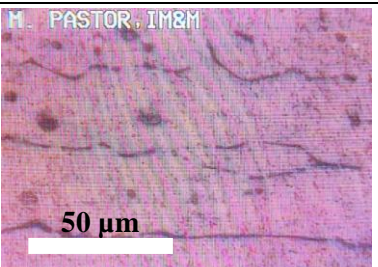


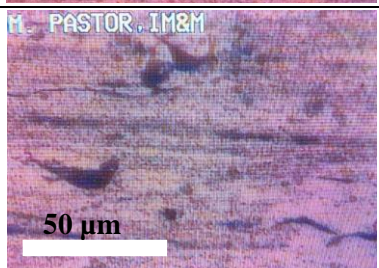
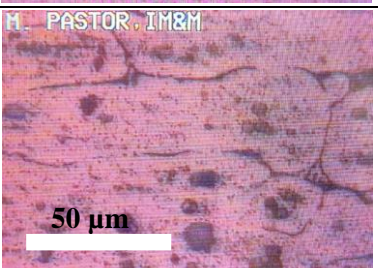
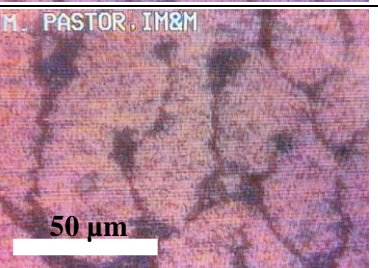
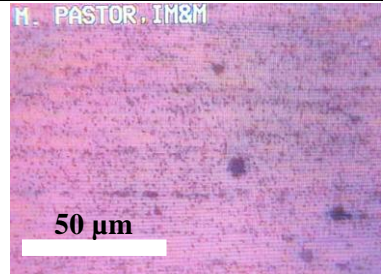
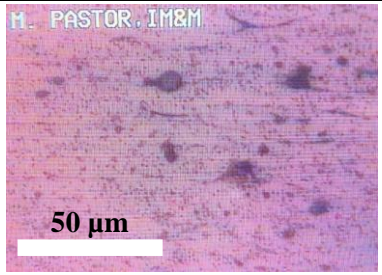
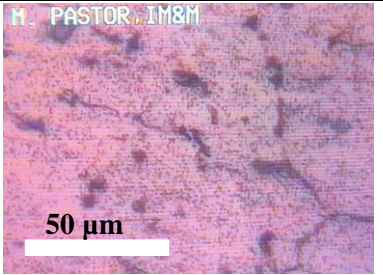
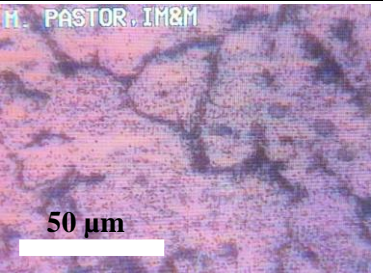
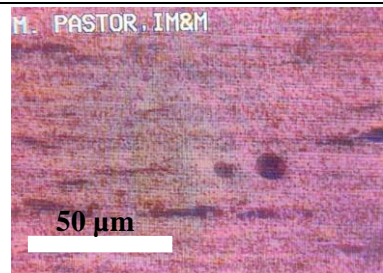
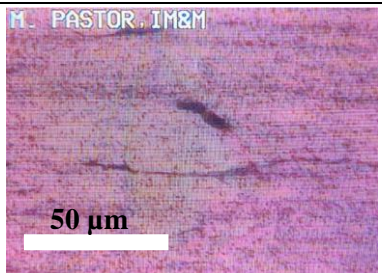
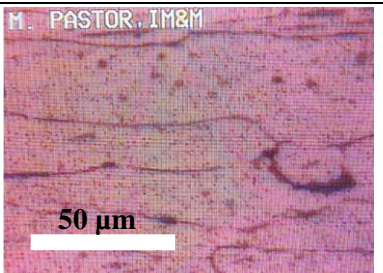
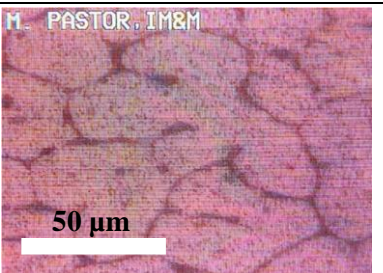



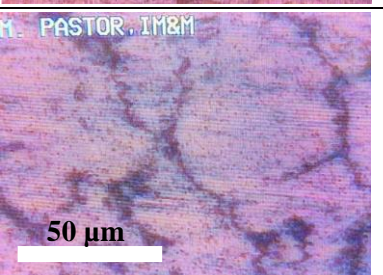
CÓDIGO	METAL BASE	ZAC 1	ZAC 2	METAL FUNDIDO
P180/5				
P180/10				
P180/15				

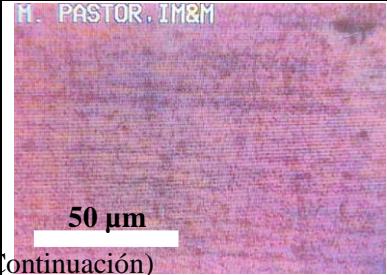
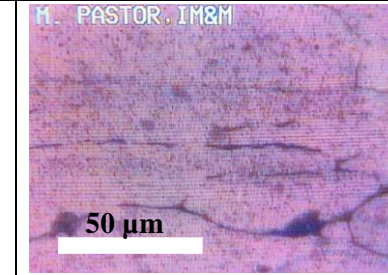
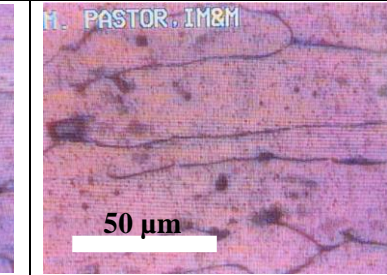
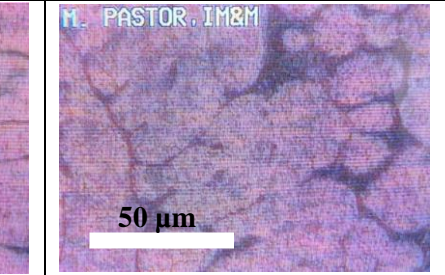
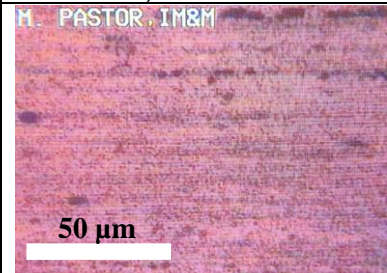
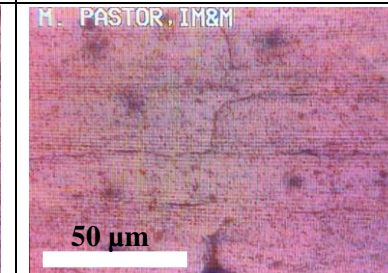
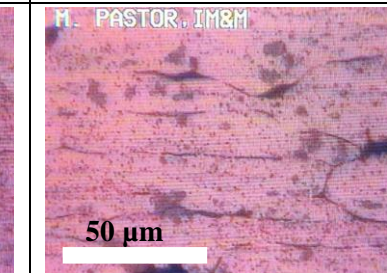
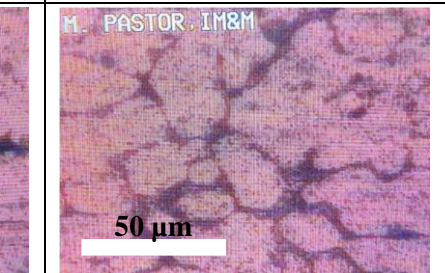
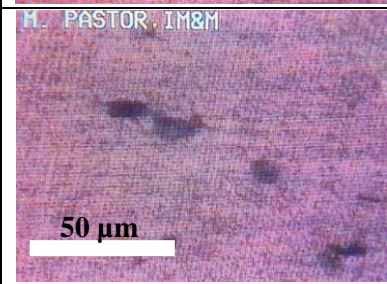
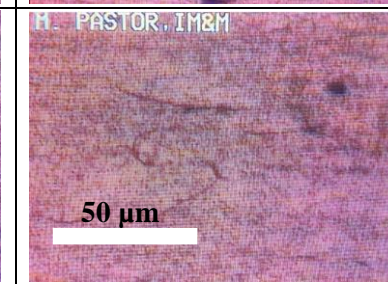
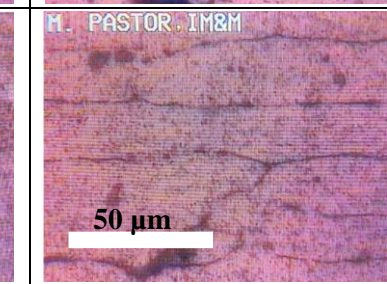
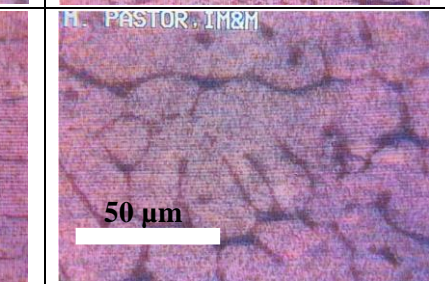


Tabla 6-4: (Continuación)

P190/5				
P190/10				
P190/15				



**Tabla 6-4:** (Continuación)

<p>P200/5</p>				
<p>P200/10</p>				
<p>P200/15</p>				

Realizado por: Remache K, Yanchatipan D, 2021

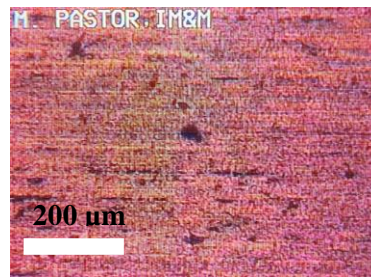
Las micrografías aportaron información relevante, en el material base se observaron los granos deformados en el sentido longitudinal de la laminación de la plancha, se encontraron inclusiones correspondientes al óxido de alúmina las cuales se forman al entrar en contacto el aluminio con el oxígeno en el proceso de fabricación junto con los demás componentes, la Figura 5-4 muestra como se ve las inclusiones a través del microscopio óptico. A medida que se alteraron los parámetros de corriente como caudal de gas, los cambios son notorios tanto en la ZAC 1 como en la ZAC 2, ya que los límites de granos fueron visibles con algunos parámetros mediante el uso del lente 10x, mientras que al usar los lentes 20x y 50x todas las zonas se notaron con mayor facilidad, con lo cual se observó cómo influyen los parámetros en las juntas soldadas.

Con la corriente de 180 A al usar los lentes 10x, 20x y 50x, se encontró una transición correcta del metal base hasta la fusión del mismo con el metal de aporte, tanto que la placa P180/10 presentó mayor cantidad de precipitados en la ZAC 2, a su vez al manejar un caudal de 5 y 15 l/min los precipitados se encontraron en menor proporción los cuales afectaron a las propiedades mecánicas. De igual manera la contaminación afecta a las mismas ya sea al utilizar un bajo caudal o un exceso de caudal, esto se vio reflejado en la zona del metal fundido ya que los límites de grano son más gruesos, como se observó en la placa P180/15; estos límites de grano contienen óxido de alúmina mientras que la presencia de precipitados es escasa en esta zona, lo cual provocó que los resultados en los ensayos sean bajos.

Con la corriente de 190 A, la placa P190/5 a 100x presentó una mejor transición desde el metal base hasta el metal fundido, correspondientemente existió mayor presencia de precipitados en la ZAC 2. En la zona del metal fundido la microestructura fue más uniforme en la placa P190/10 en la cual aún se observa precipitados fuera de los límites de grano, en comparación con las otras placas soldadas a 190 A, los granos son medianos. Al cambiar el flujo de gas el cual va desde los 5 hasta los 15 l/min, el tamaño de grano en la zona del metal fundido va incrementando, es notorio visualmente, de igual manera estos cambios se vieron reflejados en los resultados de los ensayos para calcular sus propiedades mecánicas. Mientras que a 500x en la zona de metal fundido la contaminación fue evidente al usar 5 y 15 l/min, ya que con 10 l/min, los límites de grano no son gruesos obteniendo un bajo porcentaje de óxido de alúmina, a su vez existió mayores precipitados que contienen partículas de zinc aportando una mejoría en las propiedades mecánicas.

Con la corriente de 200 A, la placa P200/10 a 100x presentó una similar transición con respecto a P180/10 y P190/5. Existió mayor disolución de precipitados en la placa P200/10 a 500x, debido al gran aporte de energía y un caudal promedio, protegiendo de mejor manera esta zona hasta llegar al metal fundido, ya que en las placas P200/5 Y P200/15 en el metal fundido la contaminación es evidente con lo cual el óxido de alúmina se encontró en mayor proporción afectando a los resultados.

En la curva solvus del diagrama de fase de aluminio-zinc, en el tratamiento térmico, el aluminio disuelve las partículas de zinc, de tal forma que al realizar el temple se asegura que no precipite la segunda fase, ya que los precipitados se darán en el envejecimiento artificial, estos corresponden a los componentes con mayor porcentaje, en este caso los precipitados conforman las partículas de zinc. Como se observó, la ZAC es la zona donde son más notorios los precipitados, ahora las propiedades varían ya que una zona afectada por el calor corresponde solo al metal base, mientras que la otra zona afectada por el calor entra en contacto con el material de aporte, al tomar en cuenta esta parte, se observa si varían o no los resultados



**Figura 5-4.** Inclusiones en el metal base.

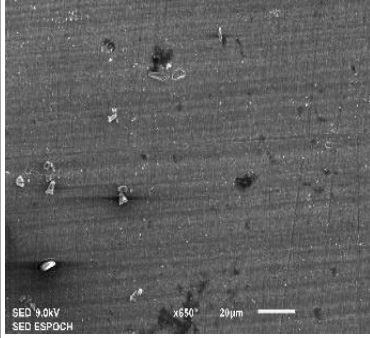
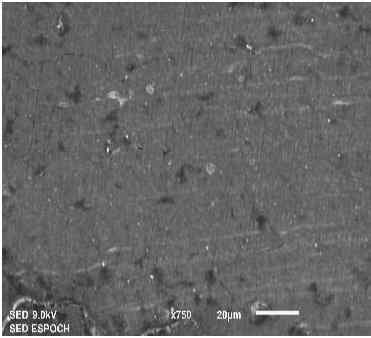
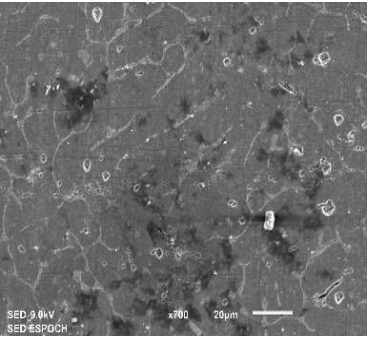
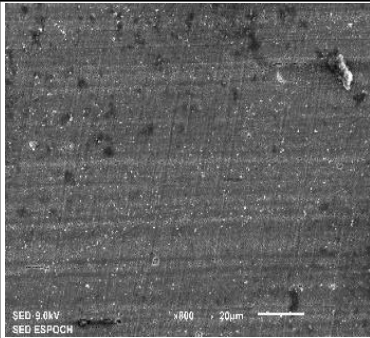
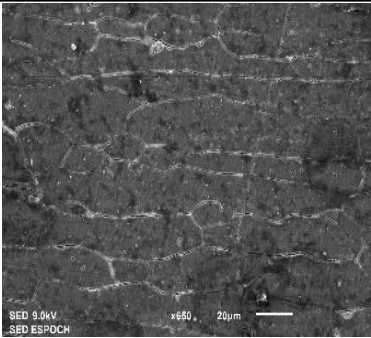
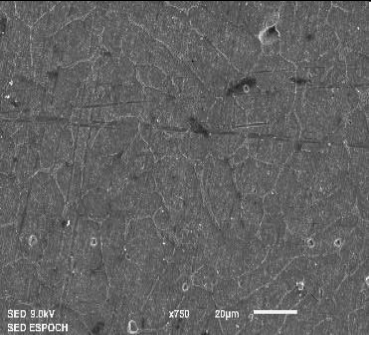
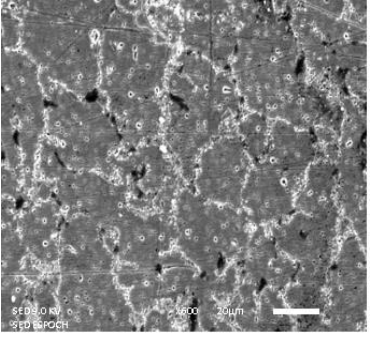
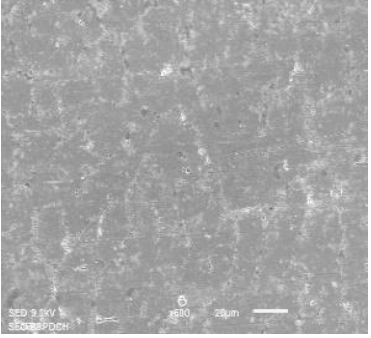
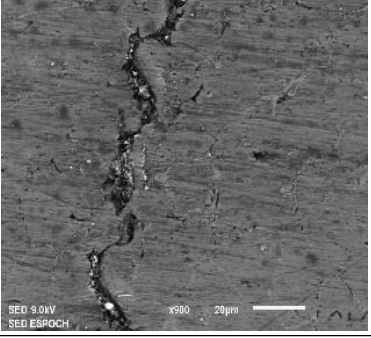
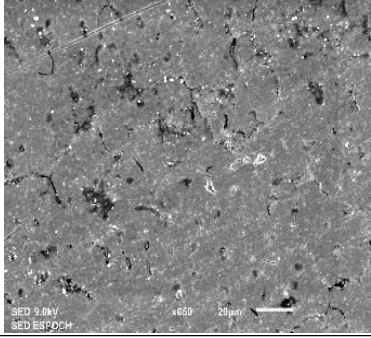
Realizado por: Remache, K; Yanchatipan, D, 2021

**Tabla 7-4:** Micrografías de las juntas soldadas mediante SEM.

Identificación de la pieza:	P190/10	Ampliación de vista:	20Um
METAL BASE	ZAC	METAL FUNDIDO	
Identificación de la pieza:	P190/15	Ampliación de vista:	20Um
METAL BASE	ZAC	METAL FUNDIDO	

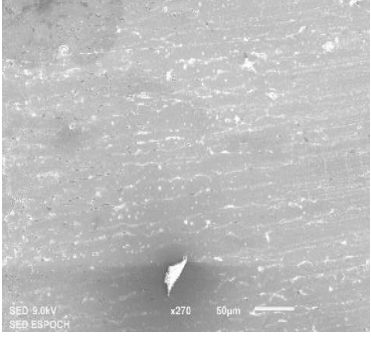
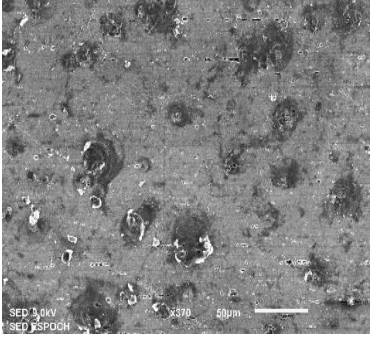


**Tabla 7-4:** (Continuación)

<b>Identificación de la pieza:</b> P200/5		<b>Ampliación de vista:</b> 20Um	
METAL BASE		ZAC	
			
		METAL FUNDIDO	
			
<b>Identificación de la pieza:</b> P200/10		<b>Ampliación de vista:</b> 20Um	
METAL BASE		ZAC	
			
		METAL FUNDIDO	
			
<b>Área</b>	<b>Metal fundido</b>	<b>Ampliación de vista:</b> 20Um	
	P 180/5	P 180/10	
			
	P 180/15	P 190/5	
			

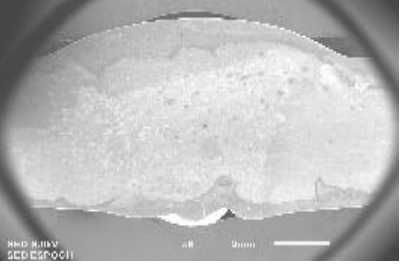


**Tabla 7-4:** (Continuación)

Área	Metal base	Ampliación de vista:	50Um
	P180/10		P 190/10
			
<p>Se observa un análisis mediante EDS en el metal base, los granos se muestran en forma de capas horizontales, estos debidos al efecto de la laminación en la plancha.</p>			

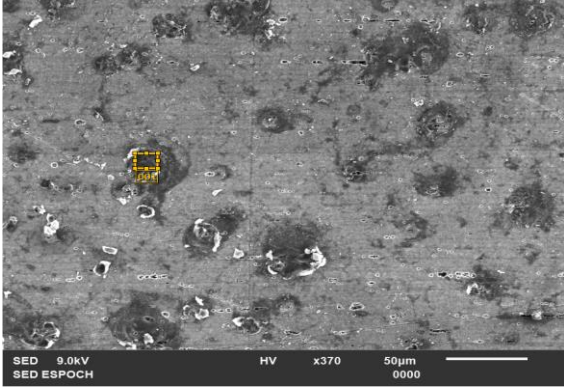
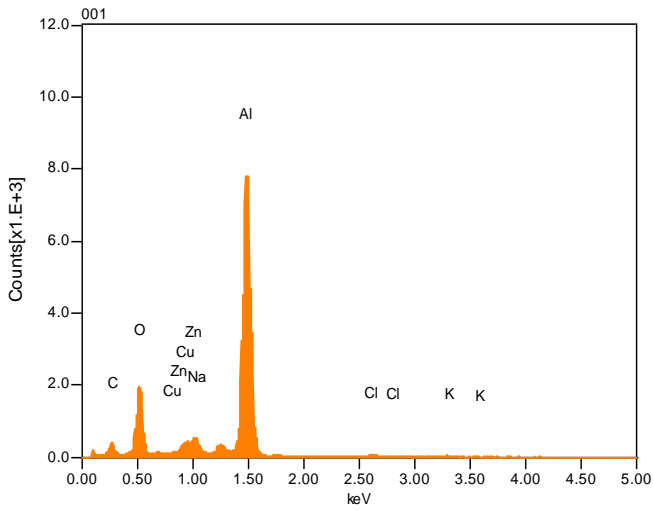
**Realizado por:** Remache Karen; Yanchatipan Danilo, 2021

**Tabla 8-4:** Vista de un cordón a través de SEM

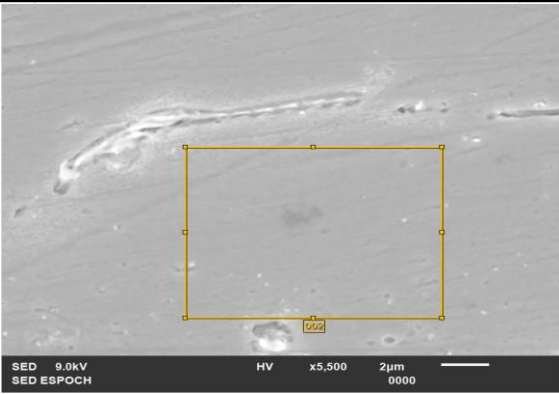
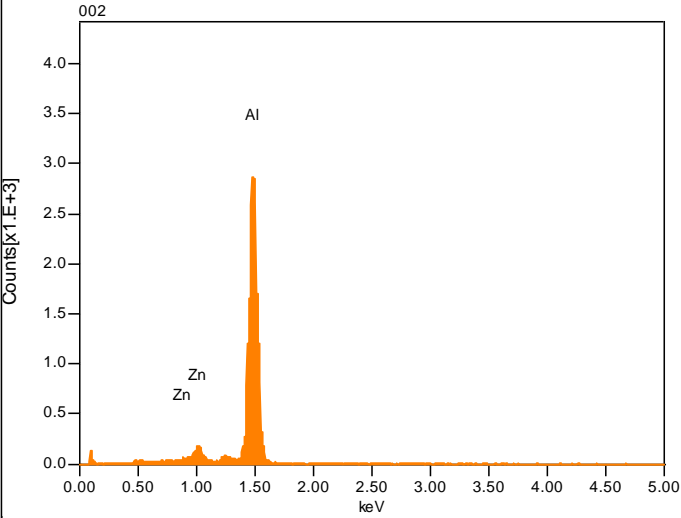
Vista de un cordón a través de SEM		
<b>Placa:</b>	P180/10	
<b>Ampliación:</b>	2mm	

**Realizado por:** Remache Karen; Yanchatipan Danilo, 2021

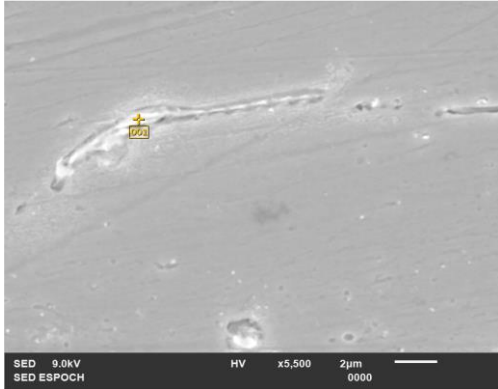
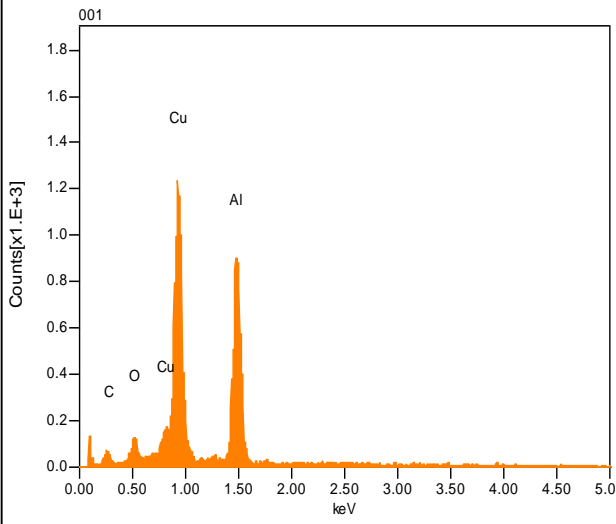
**Tabla 9-4:** Composición del material mediante SEM

<b>Placa:</b>	P190/10	<b>Ampliación de vista:</b>	50 $\mu$ m																														
																																	
<b>Composición</b>																																	
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Formula</th> <th>mass%</th> <th>mol%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>3.01</td> <td>32.09</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Na<sub>2</sub>O</td> <td>0.53</td> <td>1.10</td> </tr> <tr> <td>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></td> <td>46.65</td> <td>58.54</td> </tr> <tr> <td>Cl</td> <td>0.28</td> <td>1.02</td> </tr> <tr> <td>K<sub>2</sub>O</td> <td>0.35</td> <td>0.47</td> </tr> <tr> <td>CuO</td> <td>2.05</td> <td>3.30</td> </tr> <tr> <td>ZnO</td> <td>2.21</td> <td>3.48</td> </tr> <tr> <td><b>Total</b></td> <td><b>55.09</b></td> <td><b>100.00</b></td> </tr> </tbody> </table>		Formula	mass%	mol%	C	3.01	32.09	O			Na <sub>2</sub> O	0.53	1.10	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	46.65	58.54	Cl	0.28	1.02	K <sub>2</sub> O	0.35	0.47	CuO	2.05	3.30	ZnO	2.21	3.48	<b>Total</b>	<b>55.09</b>	<b>100.00</b>
Formula	mass%	mol%																															
C	3.01	32.09																															
O																																	
Na <sub>2</sub> O	0.53	1.10																															
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	46.65	58.54																															
Cl	0.28	1.02																															
K <sub>2</sub> O	0.35	0.47																															
CuO	2.05	3.30																															
ZnO	2.21	3.48																															
<b>Total</b>	<b>55.09</b>	<b>100.00</b>																															
<b>Síntesis</b>																																	
<p>Mediante el análisis por EDS en el metal base en la zona longitudinal, se observó la presencia de inclusiones las cuales se presentan en tonos negros y en formas no homogéneas, obteniendo óxidos de cobre y zinc en bajos porcentajes, mientras que abunda el óxido de alúmina con un 46.65% este debido a que se utiliza para la creación de la plancha misma.</p>																																	

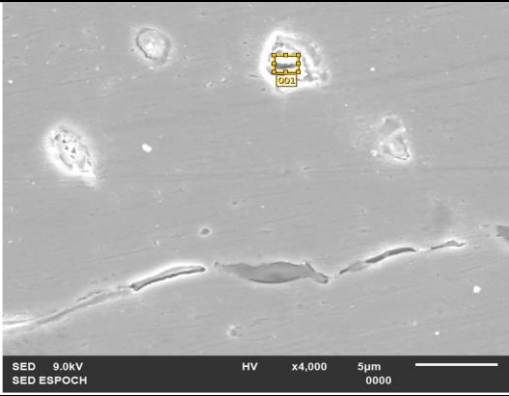
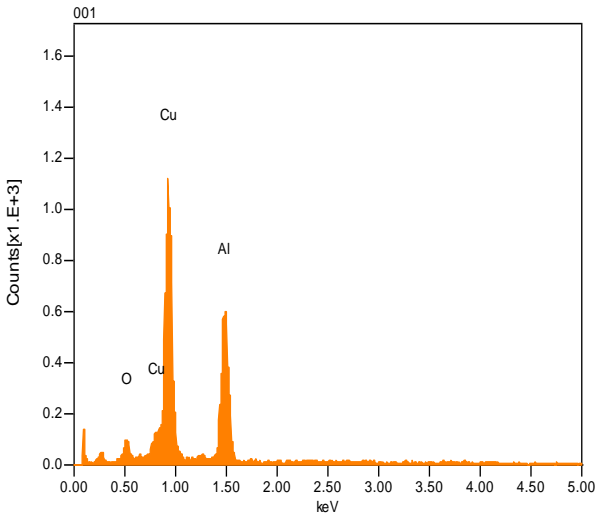
**Tabla 9-4:** (Continuación)

Placa:	P180/10	Ampliación de vista:	2 $\mu$ m												
															
<b>Composición</b>															
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 1; margin-left: 20px;"> <table border="1" data-bbox="986 857 1369 1048"> <thead> <tr> <th>Formula</th> <th>mass%</th> <th>Atom%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Al</td> <td>8.04</td> <td>97.30</td> </tr> <tr> <td>Zn</td> <td>0.54</td> <td>2.70</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>8.58</td> <td>100.00</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>				Formula	mass%	Atom%	Al	8.04	97.30	Zn	0.54	2.70	Total	8.58	100.00
Formula	mass%	Atom%													
Al	8.04	97.30													
Zn	0.54	2.70													
Total	8.58	100.00													
<b>Síntesis</b>															
<p>Mediante el análisis por EDS en la zona de transición de metal base a ZAC, se comprobó que la mayor composición la contiene el aluminio mientras que se tiene un bajo porcentaje de zinc debido a la aleación de la plancha en la cual este elemento se encuentra como segundo con mayor composición.</p>															

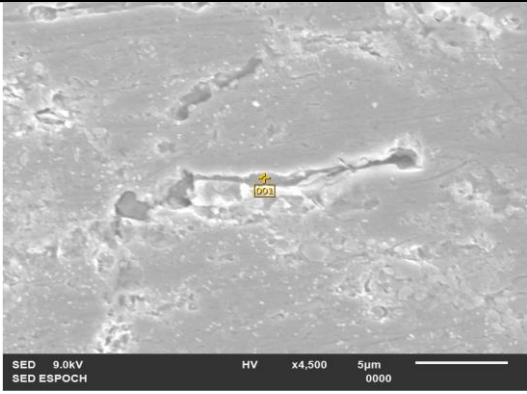
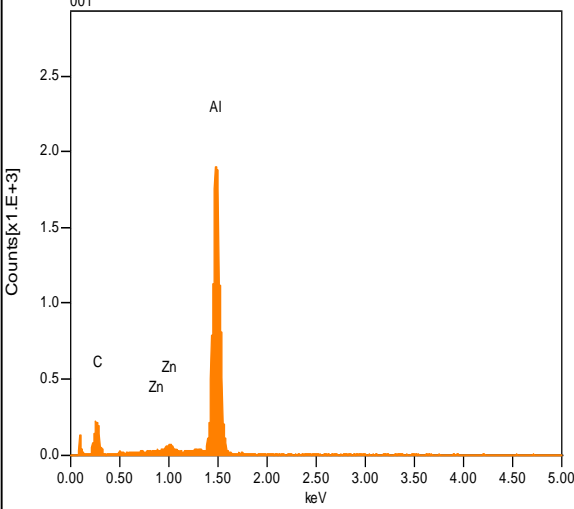
**Tabla 9-4:** (Continuación)

Placa:	P180/10	Ampliación de vista:	2 $\mu\text{m}$												
															
Composición															
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="266 719 884 1240" style="width: 45%;">  </div> <div data-bbox="997 808 1267 1099" style="width: 45%;"> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Formula</th> <th>mass%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>0.45</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>0.27</td> </tr> <tr> <td>Al</td> <td>2.93</td> </tr> <tr> <td>Cu</td> <td>5.11</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>8.76</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>				Formula	mass%	C	0.45	O	0.27	Al	2.93	Cu	5.11	Total	8.76
Formula	mass%														
C	0.45														
O	0.27														
Al	2.93														
Cu	5.11														
Total	8.76														
Síntesis															
<p>Mediante el análisis por EDS en los límites de grano que empiezan a formarse en la ZAC, se identificó que se tiene en mayor proporción el cobre con un valor de 5.11 con respecto a la zona analizada. Al encontrar cobre en los límites se notó un incremento en las propiedades mecánicas correspondientes a nuestros ensayos de tracción y dureza.</p>															

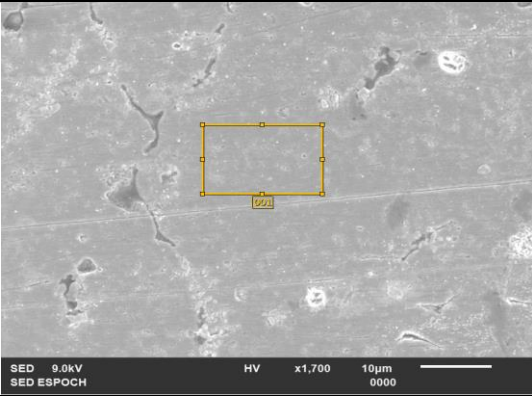
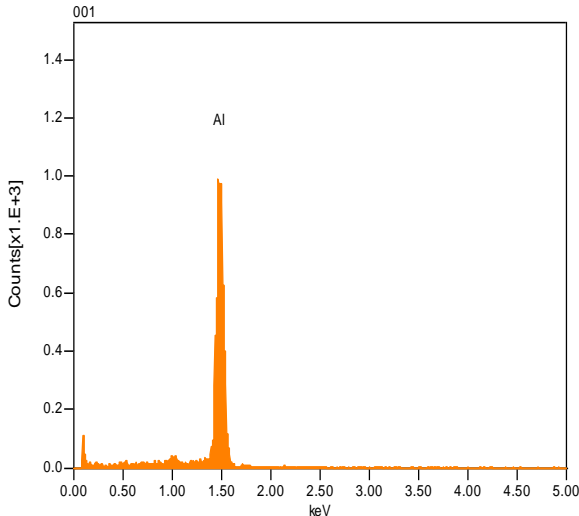
**Tabla 9-4:** (Continuación)

Placa:	P180/10	Ampliación de vista:	5 $\mu$ m															
																		
Composición																		
 <table border="1" data-bbox="965 846 1310 1061"> <thead> <tr> <th>Formula</th> <th>mass%</th> <th>Atom%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>O</td> <td>0.19</td> <td>7.70</td> </tr> <tr> <td>Al</td> <td>1.99</td> <td>46.85</td> </tr> <tr> <td>Cu</td> <td>4.56</td> <td>45.45</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>6.74</td> <td>100.00</td> </tr> </tbody> </table>				Formula	mass%	Atom%	O	0.19	7.70	Al	1.99	46.85	Cu	4.56	45.45	Total	6.74	100.00
Formula	mass%	Atom%																
O	0.19	7.70																
Al	1.99	46.85																
Cu	4.56	45.45																
Total	6.74	100.00																
Síntesis																		
<p>Mediante el análisis por EDS en la ZAC fuera de los límites de grano se encontró partículas de cobre, las cuales al igual que el zinc, beneficiaron a las propiedades mecánicas del material, estas aparecen debido al aporte de energía.</p>																		

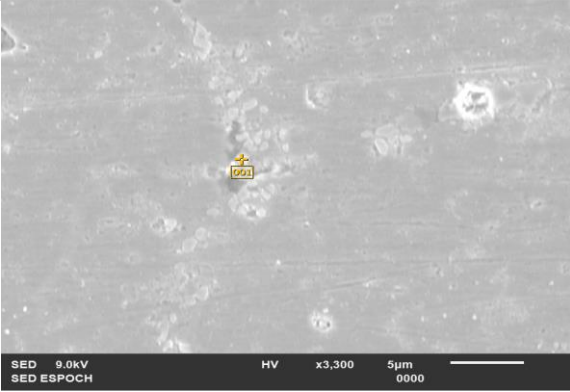
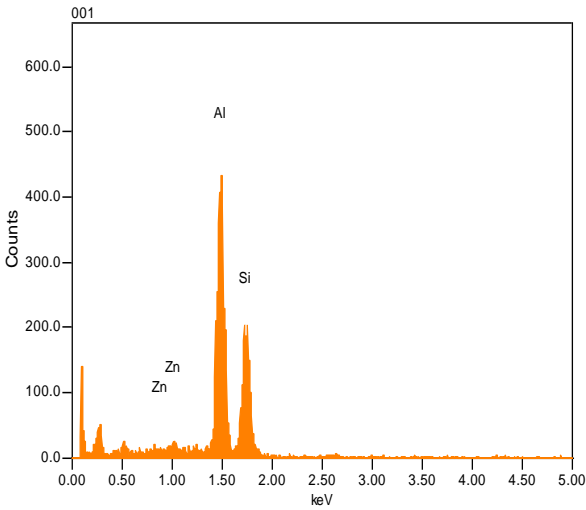
**Tabla 9-4:** (Continuación)

Placa:	P180/5	Ampliación de vista:	5 um															
																		
<b>Composición</b>																		
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 1; margin-left: 20px;"> <table border="1" data-bbox="946 846 1326 1088"> <thead> <tr> <th>Formula</th> <th>mass%</th> <th>Atom%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>2.60</td> <td>51.23</td> </tr> <tr> <td>Al</td> <td>5.48</td> <td>48.05</td> </tr> <tr> <td>Zn</td> <td>0.20</td> <td>0.71</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>8.27</td> <td>100.00</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>				Formula	mass%	Atom%	C	2.60	51.23	Al	5.48	48.05	Zn	0.20	0.71	Total	8.27	100.00
Formula	mass%	Atom%																
C	2.60	51.23																
Al	5.48	48.05																
Zn	0.20	0.71																
Total	8.27	100.00																
<b>Síntesis</b>																		
<p>Mediante el análisis por EDS al inicio del metal fundido el porcentaje de zinc empezó a disminuir debido a que sobrepaso el límite del material base por lo cual se empezó a incrustar el metal de aporte.</p>																		

**Tabla 9-4:** (Continuación)

Placa:	P180/5	Ampliación de vista:	5 um									
												
<b>Composición</b>												
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="272 719 853 1232">  </div> <div data-bbox="949 875 1329 1010"> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Formula</th> <th>mass%</th> <th>mol%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Al2O3</td> <td>5.95</td> <td>100.00</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>5.95</td> <td>100.00</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>				Formula	mass%	mol%	Al2O3	5.95	100.00	Total	5.95	100.00
Formula	mass%	mol%										
Al2O3	5.95	100.00										
Total	5.95	100.00										
<b>Síntesis</b>												
<p>Mediante el análisis por EDS en la zona del metal fundido fuera del límite de grano se encontró oxido de alúmina.</p>												

**Tabla 9-4:** (Continuación)

<b>Placa:</b>	P180/5	<b>Ampliación de vista:</b>	5 µm															
																		
<b>Composición</b>																		
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Formula</th> <th>mass%</th> <th>Atom%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Al</td> <td>1.14</td> <td>64.13</td> </tr> <tr> <td>Si</td> <td>0.64</td> <td>34.80</td> </tr> <tr> <td>Zn*</td> <td>0.05</td> <td>1.07</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>1.82</td> <td>100.00</td> </tr> </tbody> </table>		Formula	mass%	Atom%	Al	1.14	64.13	Si	0.64	34.80	Zn*	0.05	1.07	Total	1.82	100.00
Formula	mass%	Atom%																
Al	1.14	64.13																
Si	0.64	34.80																
Zn*	0.05	1.07																
Total	1.82	100.00																
<b>Síntesis</b>																		
<p>Mediante el análisis por EDS en los límites de grano del metal fundido debido a la composición del metal de aporte se encontró silicio, ya que es el componente con mayor porcentaje en los componentes químicos del mismo, de igual manera se halló zinc en bajas proporciones con lo cual las propiedades mecánicas tuvieron una gran reducción.</p>																		

**Realizado por:** Remache Karen; Yanchatipan Danilo, 2021

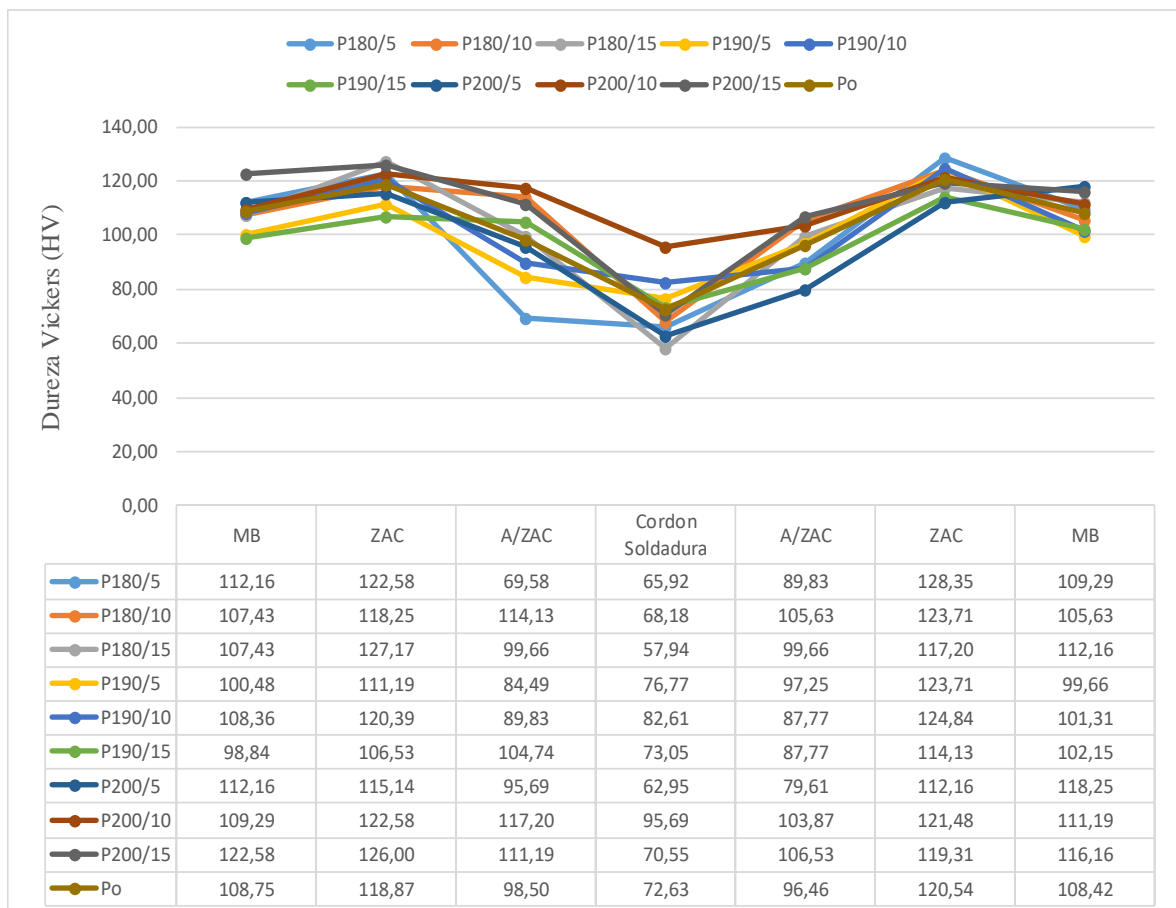
Los granos deformados del material base al someterse al calor debido a la soldadura tendieron a recrystalizarse parcialmente, como se aprecian en la ZAC, a su vez estos granos tendieron a mejorar las propiedades mecánicas del material debido a los componentes que se encuentra como el cobre y el zinc, cuyos resultados y análisis de éstos están registrados en la Tabla 9-4.

En la zona del metal fundido se encontraron granos no homogéneos debido a la composición del metal de aporte, en la cual tenían componentes como el silicio; mientras que el zinc se hallaba solo en los límites de grano en bajas proporciones, afectando las propiedades mecánicas, como por ejemplo afectó la dureza y disminuyó la resistencia a la tracción, mostrados en la Tabla 9-4.



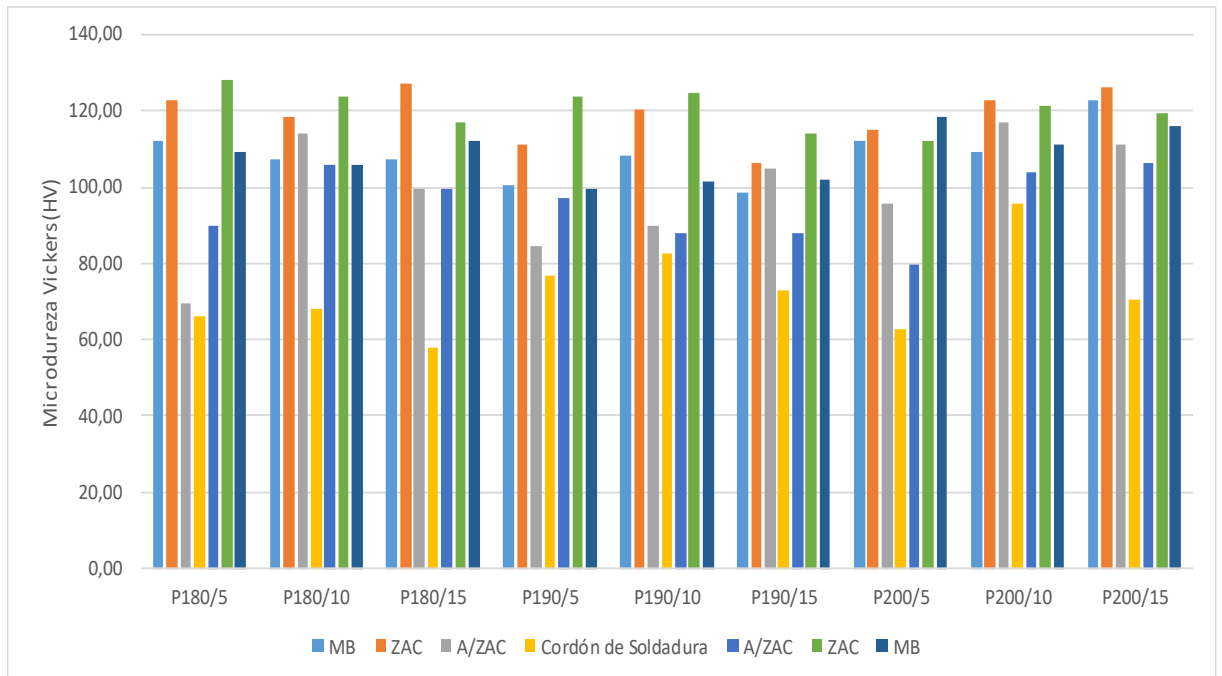
#### 4.2.4. Dureza de las juntas soldadas

Como se mencionó antes, el metal base adquirió mayor dureza al entrar en contacto con el calor (ZAC), la cual se debe a que en esta zona los granos empiezan a recrystalizarse parcialmente donde tienen una mayor presencia de precipitados (engrosamiento del límite de grano), consecuentemente se obtuvieron un valor de dureza promedio de 118, 87 HV y 120,54 HV con una variación promedio de 10 unidades con respecto al material base, como se observa en los Gráficos 4-4 y 5-4. Mientras que, al entrar a la zona del metal fundido, los valores empezaron a decaer por consecuencia del bajo porcentaje de zinc y la escasa presencia de cobre, en la cual se obtuvo un valor de dureza promedio de 72,63 HV. Po es un valor promedio de las durezas en cada zona de las probetas.



**Gráfico 4-4.** Dureza a lo largo de la sección longitudinal de las juntas sondadas.

**Realizado por:** Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.

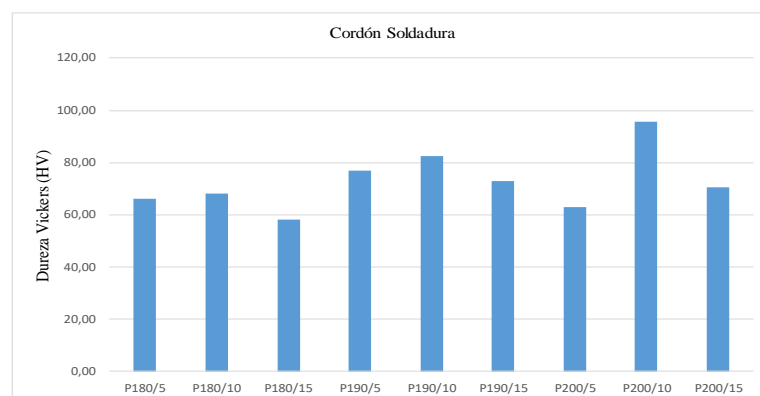


**Gráfico 5-4.** Dureza a lo largo de la sección longitudinal de las juntas soldadas.

**Realizado por:** Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.

La placa P200/10 presentó los más altos valores con respecto a la ZAC con un valor promedio de 122,03 HV y metal fundido con un valor de 96,59 HV, sin embargo, al analizar la placa P180/15 la dureza en el metal fundido fue la más baja de todas con un valor de 57,94 HV.

Al trabajar con un rango de corriente de 180 A hasta 200 A y usar caudales de argón de 5 y 10 l/min, los valores de dureza fueron en incremento en el metal fundido, mientras que al utilizar un caudal de 15 l/min los valores disminuyeron debido a un exceso de caudal, el cual provoca turbulencias atrayendo partículas del polvo que están fuera del límite del flujo del argón, contaminando al cordón de soldadura. Estas durezas en el metal fundido se muestran en el Gráfico 6-4.



**Gráfico 6-4.** Dureza en el metal fundido.

Realizado por: Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.

#### 4.2.5. Resistencia a la tracción de las juntas soldadas

Se utilizaron dos probetas por cada cordón para el análisis, ya que así lo establece la norma AWS D1.2/D1.2 M: 2003, designadas como zona A y zona C. Los resultados se muestran en la Tabla 10-4.

**Tabla 10-4.** Resultados de los ensayos de tracción de las probetas.

Probetas	Zonas	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza máxima (N)	Resistencia a la Tracción (MPa)	Observaciones
P180/5	Zona A	38.730	6.240	63650.010	263.370	FJS
	Zona C	39.030	6.260	59250.010	242.500	FJS
P180/10	Zona A	38.760	6.290	67450.010	276.660	FJS
	Zona C	38.860	6.240	62100.010	256.100	FJS
P180/15	Zona A	39.210	6.260	59950.010	244.240	FJS
	Zona C	37.410	6.220	64550.010	277.410	FJS
P190/5	Zona A	37.310	6.290	68800.010	293.170	FJS
	Zona C	35.720	6.240	64600.010	289.830	FJS
P190/10	Zona A	38.760	6.270	66300.010	272.810	FJS
	Zona C	38.880	6.290	71800.010	293.590	FJS
P190/15	Zona A	39.910	6.230	73650.010	296.210	FJS
	Zona C	38.020	6.220	63450.010	268.310	FJS
P200/5	Zona A	38.720	6.280	67600.010	278.000	FJS
	Zona C	37.260	6.260	62800.010	269.240	FJS
P200/10	Zona A	38.270	6.220	68900.010	289.450	FJS
	Zona C	39.430	6.290	66550.010	268.330	FJS
P200/15	Zona A	39.240	6.240	69550.010	284.040	FJS
	Zona C	39.340	6.290	64200.010	259.450	FJS
* FMB: Falla metal base						
* FJS: Falla en las juntas soldadas						

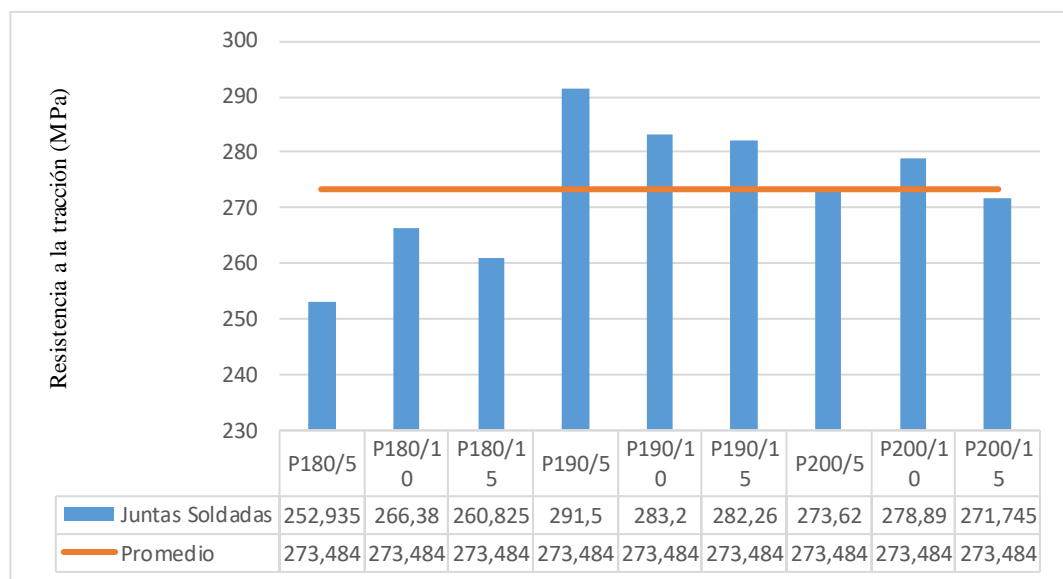
Realizado por: Remache K, Yanchatipan D, 2021

Al trabajar con valores promedios, se observó que las placas P190/5, P190/10 Y P190/15 presentaron mejores propiedades de resistencia a la tracción. Mientras que al trabajar con 180 A y 200 A, el caudal perfecto fue de 10 l/min debido a su mayor resistencia a la tracción. Estos valores promedios de resistencia a la tracción de las probetas, se observa en la Tabla 11-4 y Gráfico 7-4.

**Tabla 11-4.** Resistencia a la tracción promedio.

	Resistencia a la tracción (MPa)
P180/5	252,935
P180/10	266,380
P180/15	260,825
P190/5	291,500
P190/10	283,200
P190/15	282,260
P200/5	273,620
P200/10	278,890
P200/15	271,745
<b>Promedio</b>	<b>273,484</b>

Realizado por: Remache K, Yanchatipan D, 2021



**Gráfico 7-4.** Resistencia a la tracción promedio de las juntas soldadas.

Realizado por: Remache, K; Yanchatipan, D, 2021.

## CONCLUSIONES

- El aluminio 7075 T6 a nivel nacional lo conocen como duraluminio lo cual dentro de la teoría se encuentra mal dicho, por ende, su designación correcta se denomina zical, mientras que para realizar el proceso de soldadura se necesitó de una máquina de soldar con alta frecuencia, además de combinar los procesos tales como penetración y limpieza que mediante pulsaciones sobre una unidad de tiempo se logra la fundición del material. La contaminación en el cordón de raíz se evitó con la ayuda de una placa base con un canal, ya que la soldadura de aluminio tiende a contaminarse muy fácilmente al entrar en contacto con el oxígeno.
- Al empezar a soldar con una corriente de 180 A, se necesitó de una baja velocidad de avance de 0,4972 mm/s, ya que la corriente es directamente proporcional a la velocidad de avance, es decir mientras aumentamos la corriente la velocidad de avance aumentó como es el caso de trabajar a 200 A, la cual utilizó una velocidad de avance promedio de 0.7144 mm/s.
- Al realizar un análisis de componentes por EDS, en la zona del metal fundido se encontró el elemento aleante zinc con un porcentaje de 0,05%, éste pertenece al 0,1% de zinc propio del metal de relleno. Al disminuirse drásticamente el porcentaje de zinc de un 6,708% propio del metal base a un 0,05%, dio como resultado un decrecimiento en las propiedades mecánicas de las juntas soldadas las cuales fueron verificadas en los distintos ensayos. Mientras que al realizar un análisis de la ZAC y enfocarnos en una cierta porción tanto de límites de grano como exteriores a este, se apreció componentes como el zinc y el cobre el cual su porcentaje varía dependiendo la porción analizada, estos mejoraron las propiedades mecánicas del material.
- La resistencia a la tracción pasó de un 613,28 MPa a un valor promedio de 273,484 MPa, mientras que la dureza en el metal fundido tuvo un valor promedio de 72,63 HV. Estos valores disminuyeron con respecto a los valores bibliográficos debido al bajo porcentaje de zinc que es de 0,05%. Este elemento aleante es el responsable del incremento de las propiedades mecánicas.

## **RECOMENDACIONES**

- Realizar los ensayos restantes que indica la norma AWS D1.2/D1.2M, para poder observar si tiene un mejor comportamiento estas juntas soldadas en esos ensayos, en la investigación se realiza los ensayos ya mostrados debido al alcance de la investigación, la misma que es planteada considerando tiempo y recursos.
- Considerar utilizar otro tipo de junta como también otro tipo de bisel, el cual puede dar un aumento o una disminución a la resistencia a tracción.
- Utilizar un metal de aporte correspondiente a la serie 5xxx para realizar el proceso de soldadura, ya que esta serie también es recomendable para soldar esta aleación de aluminio.

## BIBLIOGRAFIA

- AGUILAR SCHAFFER, Julio Alberto.** "Aluminio". Industries Pace. [En línea], 2020,(EEUU). [Consulta: 15 mayo 2021]. Disponible en: <https://docplayer.es/32767950-Aluminio-julio-alberto-aguilarschafer.html>.
- ALACERO.** *¿Porqué en Acero? Resistencia.* Sao Paulo-Brasil : Alacero, 2016,pp.1-8.
- AMERICAN WELDING SOCIETY(AWS).** *Guide for Aluminum Hull Welding Code D3.7.* USA:2004, pp. 1-217.
- ARREGUI, Fernanda.** *¿Porqué el aluminio no se oxida?.* Vol. 2. México: Ulbrinox, 2020. ISBN 01 800 099 2255.
- ASM METALS HANDBOOK.** *In Properties and Selection: Nonferrous alloys and special purpose materials.* Volume 2. USA: ASM International, 1992,pp. 1-300.
- ASTM.** *Práctica estándar para Micrograbado de metales y aleaciones.* E 407,2007, pp. 1-8.
- ASTM.** *Método de prueba estándar para el examen de líquido penetrante.* E 165-95,1995, pp. 1-10.
- AWS D1.2/D1.2 M.** *Structural Welding Code—Aluminum.* Miami : AWS, 2003, pp.1-217.
- CALLISTER, William D.** *Fundamentals of Materials Science and Engineering.* 2ª ed. s.l.: Wiley & Sons, 2005, pp.1-252.
- CALVARIO, Mesías.** *Metal de Aporte.* Brasil : Brazil Welds, 2016, pp.1-20.
- CAMPOS CORDERO, Lucas.** *Soldadura.* México: SlidPayer, 2016,pp.1-27.
- CARDONA.** *Análisis de comportamiento metalúrgico en uniones de aleaciones de aluminio.* México: Comimsa, 2015, pp.1-15.
- BOHÓRQUEZ, Carlos Arturo; et al.** *Influencia del tratamiento térmico de envejecimiento en las propiedades mecánicas de los aluminios 6061 T6 y 6063 T5.* Bogota-Colombia : s.n., 2011, pp.1-6.
- CIPEM SRL.** *Resistencia a la Tracción .* Ecuador : Zwick Roell Ecuador, 2020, pp.1-30.
- CRUZ, Antonio.** *Análisis del comportamiento metalúrgico y propiedades mecánicas en aleaciones de aluminio.* Mexico: Comimsa, 2015, pp. 1-8.
- CRUZ, S; & Rodriguez, M.** *Laboratorio de caracterización de materiales Aluminio.* Colombia : Calvi, 2017, pp. 1-20.
- DE LA CRUZ, A.** *Análisis del comportamiento metalúrgico y propiedades mecánicas en uniones de aleaciones de aluminio 6061-t6 7075-t6 para aplicaciones en industria de transporte unidas mediante el proceso de soldadura GTAW.* Saltillo : s.n., 2015, pp. 1-50.
- DÍAZ, María.** *Estudio de la influencia de la onda cuadrada desbalanceada en las propiedades mecánicas de la soldadura de la aleación de aluminio 6061.* Quito : Nacional, 2019, pp. 1-104.
- FCM. 2021.** *Aleaciones de aluminio.* EEUU: upv, 2021, pp. 1-30.
- GARCIA, M; et al.** *Efecto de la interacción electromagnética de baja intensidad en la microestructura y propiedades mecánicas de soldaduras de acero inoxidable dúplex.* Ecuador : SALESIANA, 2014, pp.1-55.
- GARFIAS, Patricia.** *¿Cuáles son las aplicaciones del aluminio estructural?.* México: EA, 2019, ISBN 52 55 11504935.
- GIACHINO, J; & WEEKS, W.** *Técnica y Práctica de Soldadura.* Barcelona-España : Reverté S.A, 2001, pp.1-15.
- HANDBOOK.** *Heat Treating.* Volumen 4. USA : ASM international, 1997, pp. 1862-1960.
- HANDBOOK.** *ASM International-Metal.* EEUU : ASM international, 1998, pp. 1000-2000.
- HARRISON, T; et al.** *Differing microstructural properties of 7075-T6 sheet and 7075-T651 extruded aluminium alloy.* Australia: ELSEVIER, 2011, pp. 1-5.
- HOLLOMON, J H.** *Ferrous metallurgical design.* Michigan: Reimpresa, 2006, pp. 1-35.
- HOULDCROFT, P.** *Tecnología de los procesos de soldadura.* Barcelona, España : CEAC S.A., 1980, pp.1-15.

**INDURA.** *ER 4043*. Ecuador: INDURA, 2021, pp.1-10.

**INFRASUR.** *Electrodos*. México: INFRASUR, 2021, pp. 1-6.

**INTEREMPRESAS.** *Soldeo de alto rendimiento de aleaciones de aluminio*. Italia : Metamecánica Canales Sectoriales, 2019. ISBN 918149083.

**JAPAN ALUMINIUM ASSOCIATION.** *Aluminium Statistics*. Japón: JAA, 2014, pp. 1-12.

**JEFFUS, L.** *Soldadura: Principios y aplicaciones*. Madrid-España: Nobel, 2005, pp. 1-25.

**KANG, M; & KIM,C.** *A Review of Joining Processes for High Strength 7xxx Series Aluminum Alloys*. Korea: Journal of welding and joining , 2017. ISBN 24662232.

**LINCOLN ELECTRIC.** *Soldadura bajo atmósfera inerte y electrodo de tungsteno(TIG)*. México: LINCOLN, 2016, pp. 1-35.

**LONTANA GROUP.** "Soldadura".Lontana. [En línea], 2020,(España).Disponible en: <https://www.alu-stock.es/es/informacion-tecnica/soldadura/>.

**MARIN HERRERA, Andres Mauricio.** *Proceso GTAW*. s.l.: Soldadura y Estructuras, 2016, pp.1-15.

**MATHERS, Gene.** *La soldadura de aluminio y sus aleaciones*. EEUU: Woodhead Publishing Limited, 2002, pp. 1-242.

**MATWEB.** "Zircal ". Material Property Data. [En línea], 1996-2021, (Japón). [Consulta: 25 mayo 2021]. Disponible en: <http://www.matweb.com>.

**MCGRAW-HILL.** *Soldadura*. México-México DF: Interamericana de México S.A, 2000, pp. 1-18.

**MONTAJE SOLUCIONES INGENIERÍA.** *Cómo hacer un cordón de soldadura correctamente*. México: Montaje Soluciones Ingeniería, 2020, pp. 1-16.

**PACE INDUSTRIES.** *Aleaciones de zinc aluminio*. EEUU: PACEIND, 2020, pp. 1-10.

**PUJARI, K; & PATIL, D.** *Effect of GTAW Process Parameters on Weld Bead Geometry of AA 7075-T6 Weldments*. India : IJERT, 2014. ISBN 22780181,pp.1-26.

**RONCH.** "Aluminio". Codinter. [En línea],02 Enero 2021, (España). [Consulta: 23 Marzo 2021]. Disponible en: <https://www.codinter.com/files/ronch-200-tigp-acdc.pdf>.

**SENCICO.** *Soldador de Estructuras Metálicas*. Lima, Perú: SENCICO, 2013, pp. 1-18.

**STRUERS.** *Ensayos de dureza*. España: Struers Ensuring Certainty, 2020, pp. 1-21.

**SUAREZ, Rodrigo.** *Aluminio 7075(Trabajo de titulación)*. Universidad Tecnica Federico Santa María, Chile. 2020. pp. 1-90.

**THERMO Fisher.** *Espectroscopia dispersiva de energía*. Ecuador: SCIENTIFIC, 2020, pp.1-16.

**TOTTEN G, Mackenzie D.** *Handbook of Aluminum Voll:Physical Metallurgy and Processes*. USA: Marcel Dekker Inc., 2003, pp. 1-315.

**TUŠEK., J, & KLOBČAR, D.** Tungsten inert gas (TIG) welding of aluminum alloy EN AW-AlZn5.5MgCu (Maestría). Universidad de Cavares. 2016. pp 1-5.



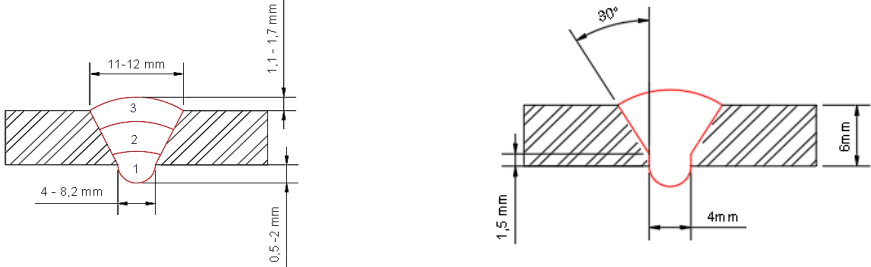
**URIARTE, Julia Máxima.** *Aluminio*. España, 2021, pp. 1-5.

**VANDER, G F.** *Metallography: Principles and practices*. s.l. : Proquest, Book Central, 1984, pp.1-14.





# ANEXOS

## Anexo A. WPS

		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES WPS					
Nombre de Compañía: ESPOCH			No. Identificación: General				
Según norma: AWS D1.2			Fecha: 27/08/20				
<b>Artículo I.</b>		<b>Junta Utilizada</b>		Realizado por: K. Remache, D. Yanchatipan			
Tipo de junta:		CJP		Organización: ESPOCH			
Abertura raíz:		4 [mm]		<b>Artículo II.</b>		<b>Técnica de soldadura</b>	
Talón:		1,5 [mm]		Proceso de soldadura:		GTAW	
Ángulo de ranura:		60°		Tipo de soldadura			
Placa de respaldo:		Canal 7075T6 de 6x2 [mm]		Manual: X	Semiautomática:	Automática:	
Preparar bisel:		si: X no:		Soldadura a:	Un lado: X	Dos lados:	
Método:		GTAW		Cordón de respaldo:		Si: No: X	
Tipo de onda:		Sinusoidal		Limpieza			
				Pase raíz: Cepillo metálico			
<b>Artículo III.</b>		<b>Metal Base</b>		Pases siguientes: Cepillo metálico			
Especificación:		AWS 7075 T6		<b>Artículo V.</b>		<b>Posición de soldadura</b>	
Espesor:		6 [mm]		Posición de soldadura:		1G	
<b>Artículo IV.</b>		<b>Metal de aporte</b>		Progresión:		Ascendente	
Denominación:		ER 4043		Técnica:	Un pase:	Dos pases: Tres pases: X	
				Precalentamiento:		NA	
<b>Artículo VI.</b>		<b>Gas de protección</b>		Tiempo entre pases:		NA	
Tipo de gas:		100% Argón		<b>Artículo VII.</b>		<b>Notas</b>	
Flujo de gas:		5-15 L/min		Verificar alineación de la junta			
				Asegurar limpieza de las partes			
							
No. de pase	Metal de aporte	Corriente		Tensión de trabajo [V]	Vel. Deavance [mm/min]	Técnica de soldadura	
	Clase	Tipo y polaridad	Intensidad [A]			Oscilado	Recto
1	ER 4048	AC	180-200	17,2-18	67,05-107,14	x	
2	ER 4048	AC	180-200	17,2-18	104,65-166,67	x	
3	ER 4048	AC	180-200	17,2-18	81,08-174,19	x	

**Anexo B. TINTAS**

<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REPORTE No:</b> 001	
Karen Remache, Danilo Yanchatipan		<b>PLACA No:</b> P180/5	
<b>FECHA:</b>	27/08/20	<b>LUGAR:</b>	ESPOCH
<b>REVISADO POR:</b>		<b>APROBADO:</b> Si/No	
Ing. Carlos Serrano		Si	
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA PIEZA</b>			
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		<b>ESTADO SUPERFICIE:</b>	
Soldadura tipo ranura de juntas a tope		Placas lisas	
<b>MATERIAL BASE:</b>		<b>MATERIAL DE APORTE:</b>	
Aluminio 7075 T6		Varilla de Aluminio ER 4043	
<b>ESQUEMA DE LA PIEZA</b>			
			
<b>MATERIALES E INSTRUMENTOS</b>			
<b>Materiales:</b>			
<b>Removedor:</b>	KD-CHECK PR-1	<b>Emulsificador:</b>	Ninguno
<b>Penetrante:</b>	KD-CHECK RDP-1	<b>Revelador:</b>	KD-CHECK SD-1
<b>Instrumentos de medición:</b>			
Calibrador, flexómetro, magnificador			
<b>Procedimiento:</b>			
El procedimiento de inspección por tintas penetrantes para el Aluminio 7075 se realizó bajo la norma ASTM E-165-02			
<b>Tiempos de permanencia:</b>			
<b>Penetrante:</b>	5 min	<b>Emulsificador:</b>	N/A
<b>Revelador:</b>	10 min		
<b>Luz visible:</b>	mayor a 500 lx		
<b>Criterios de aceptación:</b> Bajo la norma AWS D1.2 sección 5.14			
<b>Resultados:</b>			
<b>Tipo de discontinuidad</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Aprobado(A)/Rechazado(R)</b>	<b>Observaciones</b>
Poros, D<1 mm	Zona A,,B,C	A	Contaminación Baja
Fisura	Zona C	A	1 fisura muy pequeña.

<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REPORTE No:</b> 002	
Karen Remache, Danilo Yanchatipan		<b>PLACA No:</b> P180/10	
<b>FECHA:</b>	27/08/20	<b>LUGAR:</b>	ESPOCH
<b>REVISADO POR:</b>		<b>APROBADO:</b> Si/No	
Ing. Carlos Serrano		Si	
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA PIEZA</b>			
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		<b>ESTADO SUPERFICIE:</b>	
Soldadura tipo ranura de juntas a tope		Placas lisas	
<b>MATERIAL BASE:</b>		<b>MATERIAL DE APORTE:</b>	
Aluminio 7075 T6		Varilla de Aluminio E 4043	
<b>ESQUEMA DE LA PIEZA</b>			
			
<b>MATERIALES E INSTRUMENTOS</b>			
<b>Materiales:</b>			
<b>Removedor:</b>	KD-CHECK PR-1	<b>Emulsificador:</b>	Ninguno
<b>Penetrante:</b>	KD-CHECK RDP-1	<b>Revelador:</b>	KD-CHECK SD-1
<b>Instrumentos de medición:</b>			
Calibrador, flexómetro, magnificador			
<b>Procedimiento:</b>			
El procedimiento de inspección por tintas penetrantes para el Aluminio 7075 se realizó bajo la norma ASTM E-165-02			
<b>Tiempos de permanencia:</b>			
<b>Penetrante:</b>	5 min	<b>Emulsificador:</b>	N/A
<b>Revelador:</b>	10 min		
<b>Luz visible:</b>	mayor a 500 lx		
<b>Criterios de aceptación:</b> Bajo la norma AWS D1.2 sección 5.14			
<b>Resultados:</b>			
<b>Tipo de discontinuidad</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Aprobado(A)/Rechazado(R)</b>	<b>Observaciones</b>
Poros, D<1 mm	Zona A,,B,C	A	Contaminación media

<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REPORTE No:</b> 003	
Karen Remache, Danilo Yanchatipan		<b>PLACA No:</b> P180/15	
<b>FECHA:</b>	27/08/20	<b>LUGAR:</b>	ESPOCH
<b>REVISADO POR:</b>		<b>APROBADO:</b> Si/No	
Ing. Carlos Serrano		Si	
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA PIEZA</b>			
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		<b>ESTADO SUPERFICIE:</b>	
Soldadura tipo ranura de juntas a tope		Placas lisas	
<b>MATERIAL BASE:</b>		<b>MATERIAL DE APORTE:</b>	
Aluminio 7075 T6		Varilla de Aluminio E 4043	
<b>ESQUEMA DE LA PIEZA</b>			
			
<b>MATERIALES E INSTRUMENTOS</b>			
<b>Materiales:</b>			
<b>Removedor:</b>	KD-CHECK PR-1	<b>Emulsificador:</b>	Ninguno
<b>Penetrante:</b>	KD-CHECK RDP-1	<b>Revelador:</b>	KD-CHECK SD-1
<b>Instrumentos de medición:</b>			
Calibrador, flexómetro, magnificador			
<b>Procedimiento:</b>			
El procedimiento de inspección por tintas penetrantes para el Aluminio 7075 se realizó bajo la norma ASTM E-165-02			
<b>Tiempos de permanencia:</b>			
<b>Penetrante:</b>	5 min	<b>Emulsificador:</b>	N/A
<b>Revelador:</b>	10 min		
<b>Luz visible:</b>	mayor a 500 lx		
<b>Criterios de aceptación:</b> Bajo la norma AWS D1.2 sección 5.14			
<b>Resultados:</b>			
<b>Tipo de discontinuidad</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Aprobado(A)/Rechazado(R)</b>	<b>Observaciones</b>
Poros, D<1 mm	Zona A,,B,C	A	Contaminación Baja

<b>ELABORADO POR:</b>		REPORTE No: 004	
Karen Remache, Danilo Yanchatipan		PLACA No: P190/5	
<b>FECHA:</b>	03/09/20	<b>LUGAR:</b>	ESPOCH
<b>REVISADO POR:</b>		<b>APROBADO: Si/No</b>	
Ing. Carlos Serrano		Si	
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA PIEZA</b>			
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		<b>ESTADO SUPERFICIE:</b>	
Soldadura tipo ranura de juntas a tope		Placas lisas	
<b>MATERIAL BASE:</b>		<b>MATERIAL DE APORTE:</b>	
Aluminio 7075 T6		Varilla de Aluminio E 4043	
<b>ESQUEMA DE LA PIEZA</b>			
			
<b>MATERIALES E INSTRUMENTOS</b>			
<b>Materiales:</b>			
<b>Removedor:</b>	KD-CHECK PR-1	<b>Emulsificador:</b>	Ninguno
<b>Penetrante:</b>	KD-CHECK RDP-1	<b>Revelador:</b>	KD-CHECK SD-1
<b>Instrumentos de medición:</b>			
Calibrador, flexómetro, magnificador			
<b>Procedimiento:</b>			
El procedimiento de inspección por tintas penetrantes para el Aluminio 7075 se realizó bajo la norma ASTM E-165-02			
<b>Tiempos de permanencia:</b>			
<b>Penetrante:</b>	5 min	<b>Emulsificador:</b>	N/A
<b>Revelador:</b>	10 min		
<b>Luz visible:</b>	mayor a 500 lx		
<b>Criterios de aceptación:</b> Bajo la norma AWS D1.2 sección 5.14			
<b>Resultados:</b>			
<b>Tipo de discontinuidad</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Aprobado(A)/Rechazado(R)</b>	<b>Observaciones</b>
Poros, D<1 mm	Zona A,,B,C	A	Contaminación baja

<b>ELABORADO POR:</b>		REPORTE No: 005	
Karen Remache, Danilo Yanchatipan		PLACA No: P190/10	
<b>FECHA:</b>	03/09/20	<b>LUGAR:</b>	ESPOCH
<b>REVISADO POR:</b>		<b>APROBADO: Si/No</b>	
Ing. Carlos Serrano		Si	
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA PIEZA</b>			
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		<b>ESTADO SUPERFICIE:</b>	
Soldadura tipo ranura de juntas a tope		Placas lisas	
<b>MATERIAL BASE:</b>		<b>MATERIAL DE APORTE:</b>	
Aluminio 7075 T6		Varilla de Aluminio E 4043	
<b>ESQUEMA DE LA PIEZA</b>			
			
<b>MATERIALES E INSTRUMENTOS</b>			
<b>Materiales:</b>			
<b>Removedor:</b>	KD-CHECK PR-1	<b>Emulsificador:</b>	Ninguno
<b>Penetrante:</b>	KD-CHECK RDP-1	<b>Revelador:</b>	KD-CHECK SD-1
<b>Instrumentos de medición:</b>			
Calibrador, flexómetro, magnificador			
<b>Procedimiento:</b>			
El procedimiento de inspección por tintas penetrantes para el Aluminio 7075 se realizó bajo la norma ASTM E-165-02			
<b>Tiempos de permanencia:</b>			
<b>Penetrante:</b>	5 min	<b>Emulsificador:</b>	N/A
<b>Revelador:</b>	10 min		
<b>Luz visible:</b>	mayor a 500 lx		
<b>Criterios de aceptación:</b> Bajo la norma AWS D1.2 sección 5.14			
<b>Resultados:</b>			
<b>Tipo de discontinuidad</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Aprobado(A)/Rechazado(R)</b>	<b>Observaciones</b>
Poros, D<1 mm	Zona A,,B,C	A	Contaminación muy baja

<b>ELABORADO POR:</b>		REPORTE No: 006	
Karen Remache, Danilo Yanchatipan		PLACA No: P190/15	
<b>FECHA:</b>	03/09/20	<b>LUGAR:</b>	ESPOCH
<b>REVISADO POR:</b>		<b>APROBADO: Si/No</b>	
Ing. Carlos Serrano		Si	
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA PIEZA</b>			
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		<b>ESTADO SUPERFICIE:</b>	
Soldadura tipo ranura de juntas a tope		Placas lisas	
<b>MATERIAL BASE:</b>		<b>MATERIAL DE APORTE:</b>	
Aluminio 7075 T6		Varilla de Aluminio E 4043	
<b>ESQUEMA DE LA PIEZA</b>			
			
<b>MATERIALES E INSTRUMENTOS</b>			
<b>Materiales:</b>			
<b>Removedor:</b>	KD-CHECK PR-1	<b>Emulsificador:</b>	Ninguno
<b>Penetrante:</b>	KD-CHECK RDP-1	<b>Revelador:</b>	KD-CHECK SD-1
<b>Instrumentos de medición:</b>			
Calibrador, flexómetro, magnificador			
<b>Procedimiento:</b>			
El procedimiento de inspección por tintas penetrantes para el Aluminio 7075 se realizó bajo la norma ASTM E-165-02			
<b>Tiempos de permanencia:</b>			
<b>Penetrante:</b>	5 min	<b>Emulsificador:</b>	N/A
<b>Revelador:</b>	10 min		
<b>Luz visible:</b>	mayor a 500 lx		
<b>Criterios de aceptación:</b> Bajo la norma AWS D1.2 sección 5.14			
<b>Resultados:</b>			
<b>Tipo de discontinuidad</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Aprobado(A)/Rechazado(R)</b>	<b>Observaciones</b>
Poros, D<1 mm	Zona A,,B,C	A	Contaminación baja









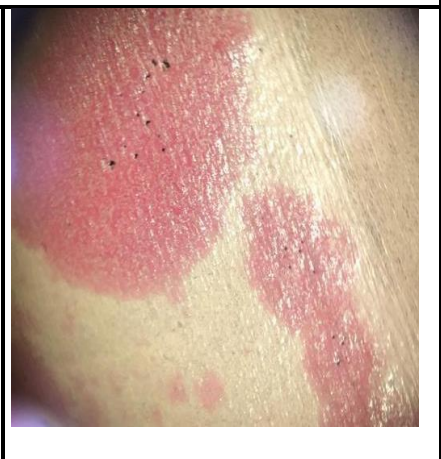
<b>ELABORADO POR:</b>		REPORTE No: 007	
Karen Remache, Danilo Yanchatipan		PLACA No: P200/5	
<b>FECHA:</b>	03/09/20	<b>LUGAR:</b>	ESPOCH
<b>REVISADO POR:</b>		<b>APROBADO: Si/No</b>	
Ing. Carlos Serrano		Si	
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA PIEZA</b>			
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		<b>ESTADO SUPERFICIE:</b>	
Soldadura tipo ranura de juntas a tope		Placas lisas	
<b>MATERIAL BASE:</b>		<b>MATERIAL DE APORTE:</b>	
Aluminio 7075 T6		Varilla de Aluminio E 4043	
<b>ESQUEMA DE LA PIEZA</b>			
			
<b>MATERIALES E INSTRUMENTOS</b>			
<b>Materiales:</b>			
<b>Removedor:</b>	KD-CHECK PR-1	<b>Emulsificador:</b>	Ninguno
<b>Penetrante:</b>	KD-CHECK RDP-1	<b>Revelador:</b>	KD-CHECK SD-1
<b>Instrumentos de medición:</b>			
Calibrador, flexómetro, magnificador			
<b>Procedimiento:</b>			
El procedimiento de inspección por tintas penetrantes para el Aluminio 7075 se realizó bajo la norma ASTM E-165-02			
<b>Tiempos de permanencia:</b>			
<b>Penetrante:</b>	5 min	<b>Emulsificador:</b>	N/A
<b>Revelador:</b>	10 min		
<b>Luz visible:</b>	mayor a 500 lx		
<b>Criterios de aceptación:</b> Bajo la norma AWS D1.2 sección 5.14			
<b>Resultados:</b>			
<b>Tipo de discontinuidad</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Aprobado(A)/Rechazado(R)</b>	<b>Observaciones</b>
Poros, D<1 mm	Zona A,,B,C	A	Contaminación Baja




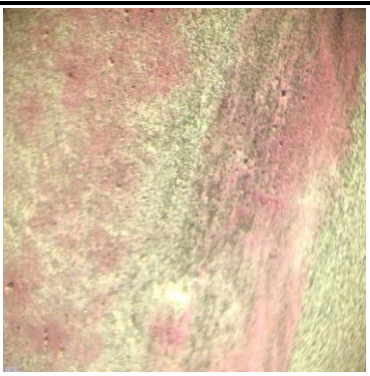
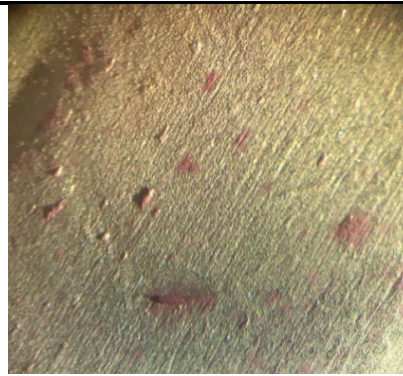






<b>ELABORADO POR:</b>		REPORTE No: 009	
Karen Remache, Danilo Yanchatipan		PLACA No: P200/15	
<b>FECHA:</b>	03/09/20	<b>LUGAR:</b>	ESPOCH
<b>REVISADO POR:</b>		<b>APROBADO: Si/No</b>	
Ing. Carlos Serrano		Si	
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA PIEZA</b>			
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		<b>ESTADO SUPERFICIE:</b>	
Soldadura tipo ranura de juntas a tope		Placas lisas	
<b>MATERIAL BASE:</b>		<b>MATERIAL DE APORTE:</b>	
Aluminio 7075 T6		Varilla de Aluminio E 4043	
<b>ESQUEMA DE LA PIEZA</b>			
			
<b>MATERIALES E INSTRUMENTOS</b>			
<b>Materiales:</b>			
<b>Removedor:</b>	KD-CHECK PR-1	<b>Emulsificador:</b>	Ninguno
<b>Penetrante:</b>	KD-CHECK RDP-1	<b>Revelador:</b>	KD-CHECK SD-1
<b>Instrumentos de medición:</b>			
Calibrador, flexómetro, magnificador			
<b>Procedimiento:</b>			
El procedimiento de inspección por tintas penetrantes para el Aluminio 7075 se realizó bajo la norma ASTM E-165-02			
<b>Tiempos de permanencia:</b>			
<b>Penetrante:</b>	5 min	<b>Emulsificador:</b>	N/A
<b>Revelador:</b>	10 min		
<b>Luz visible:</b>	mayor a 500 lx		
<b>Criterios de aceptación:</b> Bajo la norma AWS D1.2 sección 5.14			
<b>Resultados:</b>			
<b>Tipo de discontinuidad</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Aprobado(A)/Rechazado(R)</b>	<b>Observaciones</b>
Poros, D<1 mm	Zona A,,B,C	A	Contaminación muy baja

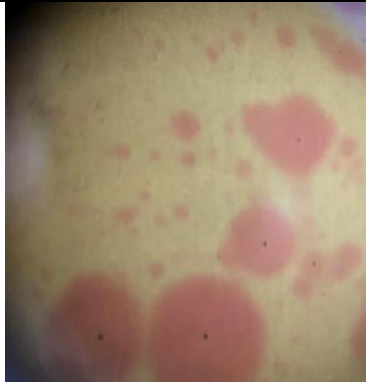





<b>ELABORADO POR:</b>		REPORTE No: 008	
Karen Remache, Danilo Yanchatipan		PLACA No: P200/10	
<b>FECHA:</b>	03/09/20	<b>LUGAR:</b>	ESPOCH
<b>REVISADO POR:</b>		<b>APROBADO: Si/No</b>	
Ing. Carlos Serrano		Si	
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA PIEZA</b>			
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		<b>ESTADO SUPERFICIE:</b>	
Soldadura tipo ranura de juntas a tope		Placas lisas	
<b>MATERIAL BASE:</b>		<b>MATERIAL DE APORTE:</b>	
Aluminio 7075 T6		Varilla de Aluminio E 4043	
<b>ESQUEMA DE LA PIEZA</b>			
			
<b>MATERIALES E INSTRUMENTOS</b>			
<b>Materiales:</b>			
<b>Removedor:</b>	KD-CHECK PR-1	<b>Emulsificador:</b>	Ninguno
<b>Penetrante:</b>	KD-CHECK RDP-1	<b>Revelador:</b>	KD-CHECK SD-1
<b>Instrumentos de medición:</b>			
Calibrador, flexómetro, magnificador			
<b>Procedimiento:</b>			
El procedimiento de inspección por tintas penetrantes para el Aluminio 7075 se realizó bajo la norma ASTM E-165-02			
<b>Tiempos de permanencia:</b>			
<b>Penetrante:</b>	5 min	<b>Emulsificador:</b>	N/A
<b>Revelador:</b>	10 min		
<b>Luz visible:</b>	mayor a 500 lx		
<b>Criterios de aceptación:</b> Bajo la norma AWS D1.2 sección 5.14			
<b>Resultados:</b>			
<b>Tipo de discontinuidad</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Aprobado(A)/Rechazado(R)</b>	<b>Observaciones</b>
Poros, D<1 mm	Zona A,,B,C	A	Contaminación Baja



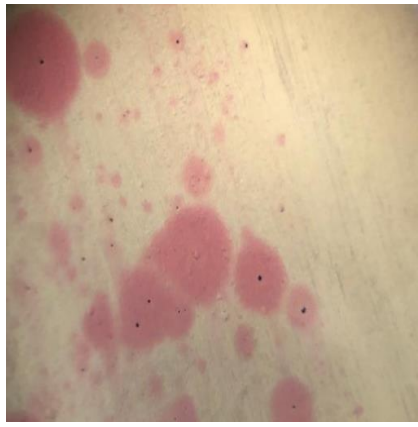
**Anexo C. RESULTADO TINTAS**

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DECHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
<b>ELABORADO POR:</b> Karen Remache Danilo Yanchatipan	<b>Objetivos:</b>	*Evaluar las discontinuidades superficiales de los cordones	
<b>Material Base:</b> Aluminio 7075 T6			
<b>Material de relleno:</b> ER4043	<b>Ampliación lente ocular:</b> 10X		
<b>Ensayo:</b> Tintas Penetrantes	<b>Tipo de Soldadura:</b>		
Soldadura tipo ranura de juntas a tope			
<b>ESQUEMAS</b>			
<b>Identificación de la pieza:</b>		P180/5	
ZONA A	ZONA B	ZONA C	
			
<b>Porosidad:</b> muy baja(3 poros) <b>Fisuras:</b> nula	<b>Porosidad:</b> baja(15 poros) <b>Fisuras:</b> nula	<b>Porosidad:</b> muy baja(9 poros) <b>Fisuras:</b> muy baja,pequeña (1)	
<b>Identificación de la pieza:</b>		P180/10	
ZONA A	ZONA B	ZONA C	
			
<b>Porosidad:</b> media, pequeños(30) <b>Fisuras:</b> nula	<b>Porosidad:</b> muy baja, pequeños <b>Fisuras:</b> nula	<b>Porosidad:</b> alta <b>Fisuras:</b> nula	

<b>Identificación de la pieza:</b>		P180/15	
ZONA A		ZONA B	
			
<b>Porosidad:</b> media(40) <b>Fisuras:</b> nula		<b>Porosidad:</b> muy baja(6) <b>Fisuras:</b> nula	
		ZONA C	
			
		<b>Porosidad:</b> muy baja(3 poros,casilimpia) <b>Fisuras:</b> nula	
<b>Identificación de la pieza:</b>		P190/5	
ZONA A		ZONA B	
			
<b>Porosidad:</b> muy baja(casi limpia) <b>Fisuras:</b> nula		<b>Porosidad:</b> muy baja, pequeños <b>Fisuras:</b> nula	
		ZONA C	
			
		<b>Porosidad:</b> media, pequeños <b>Fisuras:</b> nula	
<b>Identificación de la pieza:</b>		P190/10	
ZONA A		ZONA B	
			
<b>Porosidad:</b> muy baja <b>Fisuras:</b> baja, nula		<b>Porosidad:</b> muy baja, pequeño (1poro) <b>Fisuras:</b> nula	
		ZONA C	
			
		<b>Porosidad:</b> muy baja(casi limpia) <b>Fisuras:</b> nula	



<b>Identificación de la pieza:</b>		P190/15	
ZONA A		ZONA B	
			
<b>Porosidad:</b> muy baja(4 poros) <b>Fisuras:</b> nula		<b>Porosidad:</b> muy baja(9) <b>Fisuras:</b> nula	
		<b>Porosidad:</b> Alta, pequeños <b>Fisuras:</b> nula	
<b>Identificación de la pieza:</b>		P200/5	
ZONA A		ZONA B	
			
<b>Porosidad:</b> baja, pequeños <b>Fisuras:</b> nula		<b>Porosidad:</b> media, pequeños <b>Fisuras:</b> nula	
		<b>Porosidad:</b> alta <b>Fisuras:</b> nula	
<b>Identificación de la pieza:</b>		P200/10	
ZONA A		ZONA B	
			
<b>Porosidad:</b> muy baja, pequeños(2poros) <b>Fisuras:</b> nula		<b>Porosidad:</b> muy baja, pequeños <b>Fisuras:</b> nula	
		<b>Porosidad:</b> media, pequeños <b>Fisuras:</b> nula	

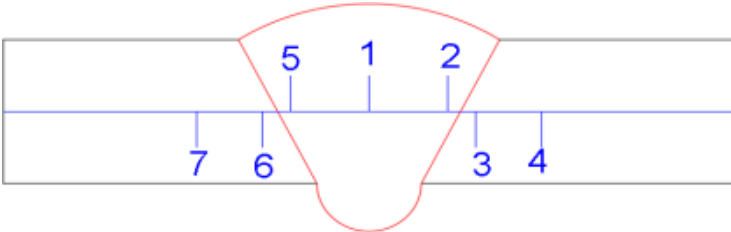
<b>Identificación de la pieza:</b>		P200/15	
ZONA A		ZONA B	ZONA C
			
<b>Porosidad:</b> muy baja(2 poros) <b>Fisuras:</b> nula	<b>Porosidad:</b> muy baja, pequeños <b>Fisuras:</b> nula	<b>Porosidad:</b> muy baja <b>Fisuras:</b> nula	

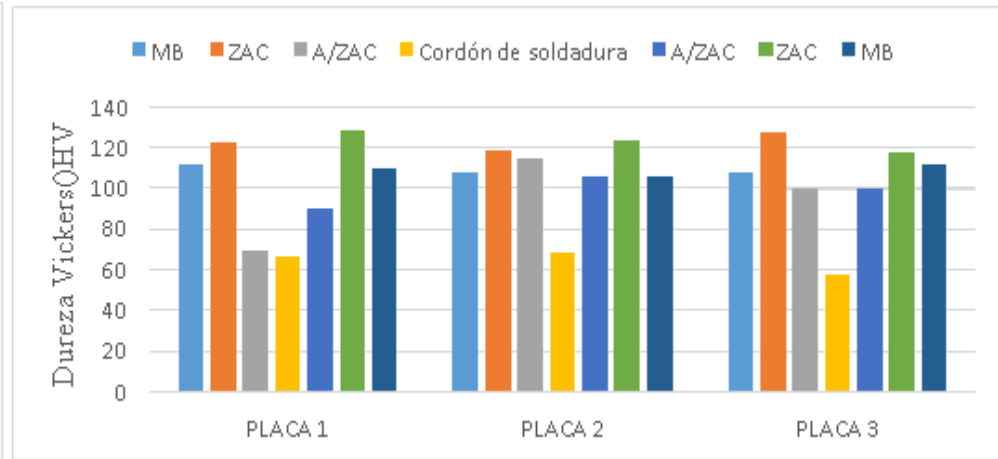
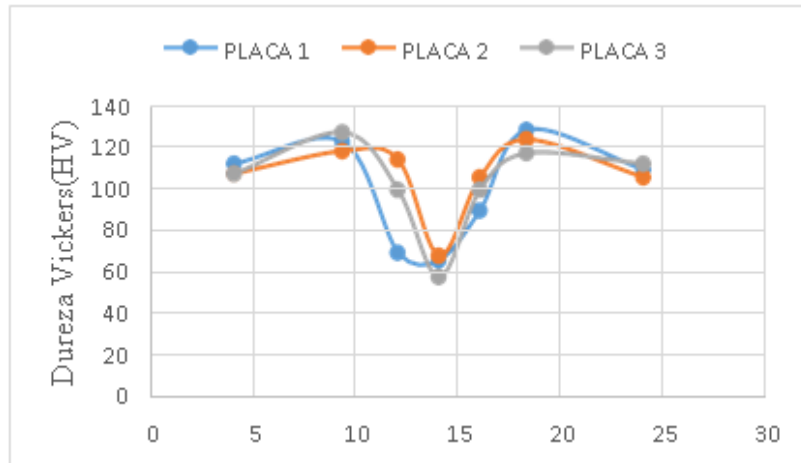


ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD MECÁNICA  
LABORATORIO DE MATERIALES



### Anexo D. DUREZA

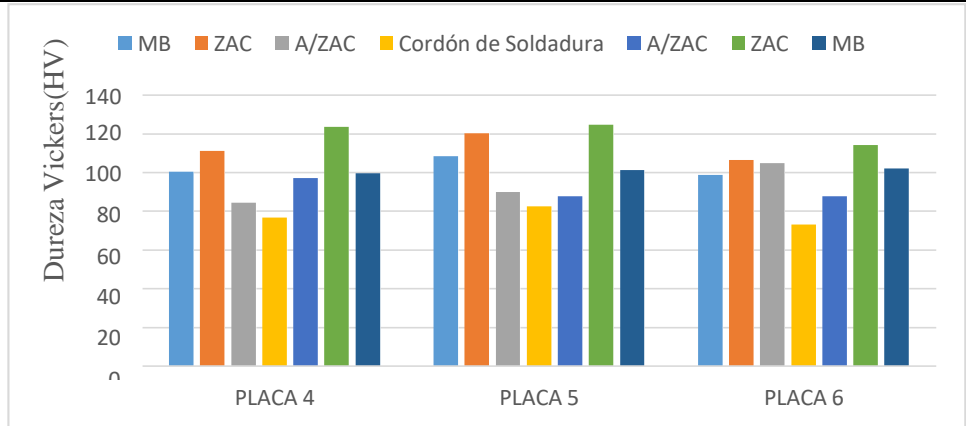
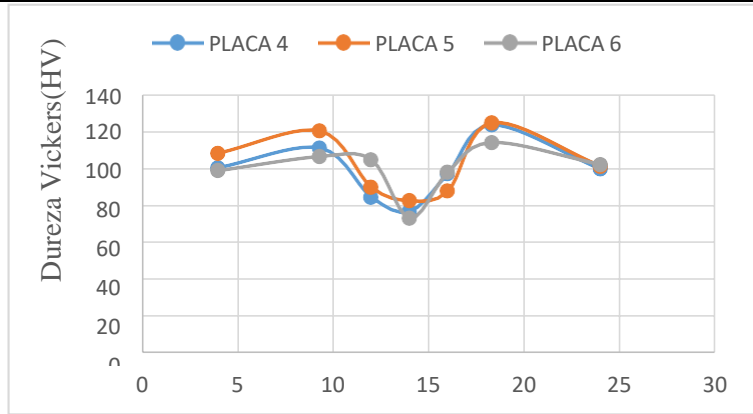
<b>ELABORADO POR:</b> Karen Remache Danilo Yanchatipan		<b>Objetivo:</b>	Analizar las durezas que se presentan en las juntas soldadas
<b>Material Base:</b>	<b>Tipo de Soldadura:</b>	Soldadura tipo ranura de juntas a tope	
Aluminio 7075 T6	<b>Ensayo:</b>	Dureza de juntas soldadas	
<b>Material de relleno:</b>	<b>Carga (g):</b>	200	
ER 4043	<b>Tiempo(s):</b>	10	
<b>ESQUEMAS</b>			
			
<b>Identificación de la pieza:</b>		Placas de 180 A	



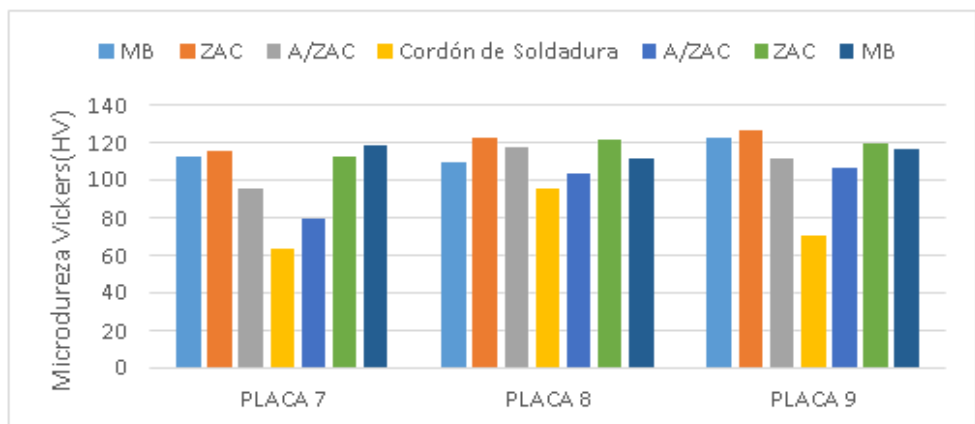
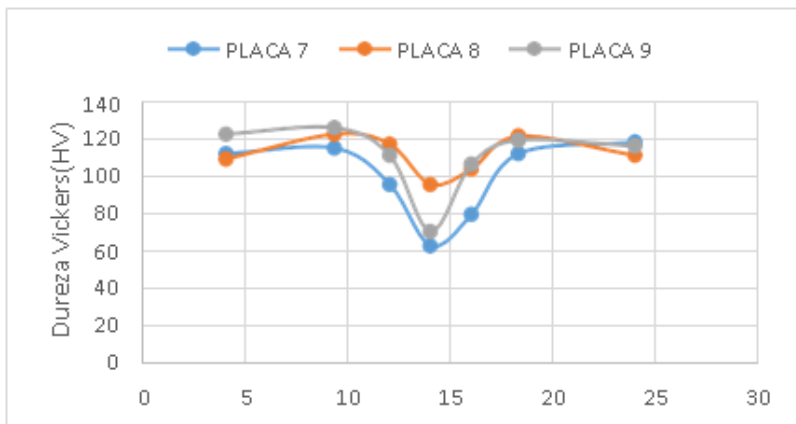
		MB	ZAC	A/ZAC	Cordón de Soldadura	A/ZAC	ZAC	MB
180A/5I	PLACA 1	112,16	122,58	69,58	65,92	128,35	128,35	109,29
180A/10I	PLACA 2	107,43	118,25	114,13	68,18	105,63	123,71	105,63
180A/15I	PLACA 3	107,43	127,17	99,66	57,94	99,66	117,20	112,16



<b>Identificación de la pieza:</b>	<b>Placas de 190 A</b>
------------------------------------	------------------------



		MB	ZAC	A/ZAC	Cordón de Soldadura	A/ZAC	ZAC	MB
<b>190A/5I</b>	<b>PLACA 4</b>	100,48	111,19	84,49	76,77	97,25	123,71	99,66
<b>190A/10I</b>	<b>PLACA 5</b>	108,36	120,39	89,83	82,61	87,77	124,84	101,31
<b>190A/15I</b>	<b>PLACA 6</b>	98,84	106,53	104,74	73,05	87,77	114,13	102,15
<b>Identificación de la pieza:</b>				<b>Placas de 200 A</b>				



		MB	ZAC	A/ZAC	Cordón de Soldadura	A/ZAC	ZAC	MB
200A/5I	PLACA 7	112,16	115,14	95,69	62,95	79,61	112,16	118,25
200A/10I	PLACA 8	109,29	122,58	117,20	95,69	103,87	121,48	111,19
200A/15I	PLACA 9	122,58	126,00	111,19	70,55	106,53	119,31	116,16



## RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

<b>Informe N°:</b> 025000644220210825-ETM	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
<b>Empresa/Cliente:</b> Danilo Yanchatipan.	
<b>Dirección:</b> Riobamba.	
<b>Núm. de cédula/RUC:</b> 0250006442001.	<b>Teléfono:</b> +593962739903.
<b>E-mail:</b> danilo.yanchatipan@epoch.edu.ec	

<b>DATOS INFORMATIVOS</b>
<b>Laboratorio:</b> Resistencia de Materiales.
<b>Designación del material:</b> Material metálico: base Aluminio 7075 T6 y con proceso de soldadura TIG de alta frecuencia, con material de aporte 4043
<b>Método de ensayo:</b> AWS D1.2/D1.2M:2014. Código de soldadura estructural. Aluminio. NTE INEN ISO 6892-1: 2017. Materiales metálicos.- Ensayo de tracción.- Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente.

### Número de Probetas cuantificadas

Nº	Identificación del grupo	Amperaje (A)	Flujo del gas de protección (l/min)	Probetas a Ensayar
1	025000644220210825-ETM 01	180	5	2
2	025000644220210825-ETM 02	180	10	2
3	025000644220210825-ETM 03	180	15	2
4	025000644220210825-ETM 04	190	5	2
5	025000644220210825-ETM 05	190	10	2
6	025000644220210825-ETM 06	190	15	2
7	025000644220210825-ETM 07	200	5	2
8	025000644220210825-ETM 08	200	10	2
9	025000644220210825-ETM 09	200	15	2
10	025000644220210818-ETM 01	Material Base		2
<b>Total</b>				<b>20</b>

**Nota:** La fabricación de las probetas en tipo, cantidad y proceso de soldadura es declarada por el cliente.



ENSAYO SOLICITADO				
No.	No. DE PROBETA	Zona	DESCRIPCIÓN	FECHAS RECEPCIÓN
1	025000644220210825-ETM 01-1	A	Cumple criterios dimensionales	2021/09/06
2	025000644220210825-ETM 01-2	C	Cumple criterios dimensionales	2021/09/06
3	025000644220210825-ETM 02-1	A	Cumple criterios dimensionales	2021/09/06
4	025000644220210825-ETM 02-2	C	Cumple criterios dimensionales	2021/09/06
5	025000644220210825-ETM 03-1	A	Cumple criterios dimensionales	2021/09/06
6	025000644220210825-ETM 03-2	C	Cumple criterios dimensionales	2021/09/06
7	025000644220210825-ETM 04-1	A	Cumple criterios dimensionales	2021/09/06
8	025000644220210825-ETM 04-2	C	Cumple criterios dimensionales	2021/09/06
9	025000644220210825-ETM 05-1	A	Cumple criterios dimensionales	2021/09/06
10	025000644220210825-ETM 05-2	C	Cumple criterios dimensionales	2021/09/06
11	025000644220210825-ETM 06-1	A	Cumple criterios dimensionales	2021/09/06
12	025000644220210825-ETM 06-2	C	Cumple criterios dimensionales	2021/09/06
13	025000644220210825-ETM 07-1	A	Cumple criterios dimensionales	2021/09/06
14	025000644220210825-ETM 07-2	C	Cumple criterios dimensionales	2021/09/06
15	025000644220210825-ETM 08-1	A	Cumple criterios dimensionales	2021/09/06
16	025000644220210825-ETM 08-2	C	Cumple criterios dimensionales	2021/09/06
17	025000644220210825-ETM 09-1	A	Cumple criterios dimensionales	2021/09/06
18	025000644220210825-ETM 09-2	C	Cumple criterios dimensionales	2021/09/06
19	025000644220210818-ETM 01-1	MB	Cumple criterios dimensionales	2021/08/19
20	025000644220210818-ETM 01-2	MB	Cumple criterios dimensionales	2021/08/19

**DATOS INFORMATIVOS:** De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

**NOTA:** LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Jorge Rodas B. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	





**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES METÁLICOS**  
**INFORME DE RESULTADOS N°: 025000644220210825-ETM**

**DATOS GENERALES**

**N° de proforma:** RM\_2021\_026/RM\_2021\_025.  
**Empresa/Cientes:** Danilo Yanchatipan.  
**RUC/C.I.:** 0250006442001.  
**Dirección:** Riobamba.  
**Teléfono:** +593962739903. **Correo:** danilo.yanchatipan@esPOCH.edu.ec.  
**DATOS DEL ENSAYO:**  
**Lugar de Ejecución del Ensayo:** Laboratorio de Resistencia de Materiales.  
**Dirección:** Ambato/Catiglata. Toronto y Rio de Janeiro.  
**Métodos de ensayo:**  
AWS D1.2:2014 Código de soldadura estructural. Aluminio.  
NTE INEN ISO 6892-1: 2017. Materiales metálicos.- Ensayo de tracción.- Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente.  
**Tipo de ensayo:** Cuantitativo.  
**Tipo de probeta:** Plana.  
**Equipo utilizado:** Máquina de ensayos universal para metales Metro test 1500 KN.  
**Modelo:** STH-1500 S/C. **Serie:** 8802M001.  
**Velocidad de ensayo:** 5 mm/min. **Precarga:** 1000 N.  
**Fecha Inicio de Ensayo:** 2021/08/20. **Fecha Finalización de Ensayo:** 2021/09/07.  
Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en *probetas de material metálico base Aluminio 7075 T6 y con proceso de soldadura TIG de alta frecuencia, con material de aporte 4043 de diámetro 3/32"*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H. Gobierno Provincial de Tungurahua.

**OBJETOS DE ENSAYO**

**Número de Probetas cuantificadas**

N°	Identificación del grupo	Amperaje (A)	Flujo del gas de protección (l/min)	Probetas a Ensayar
1	025000644220210825-ETM 01	180	5	2
2	025000644220210825-ETM 02	180	10	2
3	025000644220210825-ETM 03	180	15	2

**Observaciones:** La fabricación de la probeta para la ejecución del ensayo es responsabilidad del cliente.

**Nota:** Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser reproducido total ni parcialmente.

		
<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC.	<b>Revisado por:</b> Ing. David Romero C. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC.	<b>Aprobado por:</b> Ing. Jorge Rodas B. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC.

**Lugar y fecha de emisión de Informe:** Ambato, 10 de septiembre de 2021.

**N°. Factura:** 001-002-000011479.



N°	Identificación del grupo	Amperaje (A)	Flujo del gas de protección (l/min)	Probetas a Ensayar
4	025000644220210825-ETM 04	190	5	2
5	025000644220210825-ETM 05	190	10	2
6	025000644220210825-ETM 06	190	15	2
7	025000644220210825-ETM 07	200	5	2
8	025000644220210825-ETM 08	200	10	2
9	025000644220210825-ETM 09	200	15	2
10	025000644220210818-ETM 01	Material Base		2
			<b>Total</b>	<b>20</b>





**Resultados:**

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza Máxima (N)	Fuerza rotura (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	Rotura dentro de zona soldada
1	025000644220210825-ETM 01-1	19,4	62,9	38,73	6,24	63650,01	63550,01	263,37	262,96	SI
2	025000644220210825-ETM 01-2	19,4	62,9	39,03	6,26	59250,01	59200,01	242,50	242,30	SI
				Promedio $\bar{X}$		61450,010	61375,010	252,936	252,627	
				Desviación estándar $S_{n-1}$		3111,270	3075,914	14,756	14,608	
				Coeficiente de variación $CV$		5,06	5,01	5,83	5,78	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza Máxima (N)	Fuerza rotura (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	Rotura dentro de zona soldada
3	025000644220210825-ETM 02-1	19,8	60,1	38,76	6,29	67450,01	67450,01	276,66	276,66	SI
4	025000644220210825-ETM 02-2	19,8	60,1	38,86	6,24	62100,01	61650,01	256,10	254,24	SI
				Promedio $\bar{X}$		64775,010	64550,010	266,379	265,451	
				Desviación estándar $S_{n-1}$		3783,021	4101,219	14,541	15,853	
				Coeficiente de variación $CV$		5,84	6,35	5,46	5,97	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza Máxima (N)	Fuerza rotura (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	Rotura dentro de zona soldada
5	025000644220210825-ETM 03-1	19,9	60,2	39,21	6,26	59950,01	59700,01	244,24	243,22	SI
6	025000644220210825-ETM 03-2	19,9	60,2	37,41	6,22	64550,01	64500,01	277,41	277,19	SI
				Promedio $\bar{X}$		62250,010	62100,010	260,824	260,207	
				Desviación estándar $S_{n-1}$		3252,691	3394,113	23,452	24,021	
				Coeficiente de variación $CV$		5,23	5,47	8,99	9,23	





Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza Máxima (N)	Fuerza rotura (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	Rotura dentro de zona soldada
7	025000644220210825-ETM 04-1	20,3	59,3	37,31	6,29	68800,01	67900,01	293,17	289,33	SI
8	025000644220210825-ETM 04-2	20,3	59,3	35,72	6,24	64600,01	64600,01	289,83	289,83	SI
				Promedio $\bar{X}$		66700,010	66250,010	291,495	289,578	
				Desviación estándar $S_{n-1}$		2969,848	2333,452	2,362	0,350	
				Coefficiente de variación CV		4,45	3,52	0,81	0,12	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza Máxima (N)	Fuerza rotura (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	Rotura dentro de zona soldada
9	025000644220210825-ETM 05-1	20,6	59,8	38,76	6,27	66300,01	66250,01	272,81	272,61	SI
10	025000644220210825-ETM 05-2	20,6	59,8	38,88	6,29	71800,01	71800,01	293,59	293,59	SI
				Promedio $\bar{X}$		69050,010	69025,010	283,203	283,100	
				Desviación estándar $S_{n-1}$		3889,087	3924,443	14,696	14,841	
				Coefficiente de variación CV		5,63	5,69	5,19	5,24	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza Máxima (N)	Fuerza rotura (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	Rotura dentro de zona soldada
11	025000644220210825-ETM 06-1	20,6	58,6	39,91	6,23	73650,01	73650,01	296,21	296,21	SI
12	025000644220210825-ETM 06-2	20,6	58,6	38,02	6,22	63450,01	63350,01	268,31	267,88	SI
				Promedio $\bar{X}$		68550,010	68500,010	282,259	282,047	
				Desviación estándar $S_{n-1}$		7212,489	7283,200	19,733	20,032	
				Coefficiente de variación CV		10,52	10,63	6,99	7,10	



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza Máxima (N)	Fuerza rotura (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	Rotura dentro de zona soldada
13	025000644220210825-ETM 07-1	20,4	59,6	38,72	6,28	67600,01	67600,01	278,00	278,00	SI
14	025000644220210825-ETM 07-2	20,4	59,6	37,26	6,26	62800,01	62800,01	269,24	269,24	SI
				Promedio $\bar{X}$		65200,010	65200,010	273,623	273,623	
				Desviación estándar $S_{e-1}$		3394,113	3394,113	6,196	6,196	
				Coefficiente de variación CV		5,21	5,21	2,26	2,26	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza Máxima (N)	Fuerza rotura (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	Rotura dentro de zona soldada
15	025000644220210825-ETM 08-1	20,4	59,2	38,27	6,22	68900,01	68550,01	289,45	287,98	SI
16	025000644220210825-ETM 08-2	20,4	59,2	39,43	6,29	66550,01	66550,01	268,33	268,33	SI
				Promedio $\bar{X}$		67725,010	67550,010	278,889	278,154	
				Desviación estándar $S_{e-1}$		1661,701	1414,214	14,932	13,892	
				Coefficiente de variación CV		2,45	2,09	5,35	4,99	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza Máxima (N)	Fuerza rotura (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	Rotura dentro de zona soldada
17	025000644220210825-ETM 09-1	20,5	58,9	39,24	6,24	69550,01	68750,01	284,04	280,78	SI
18	025000644220210825-ETM 09-2	20,5	58,9	39,34	6,29	64200,01	64200,01	259,45	259,45	SI
				Promedio $\bar{X}$		66875,010	66475,010	271,745	270,112	
				Desviación estándar $S_{e-1}$		3783,021	3217,336	17,391	15,081	
				Coefficiente de variación CV		5,66	4,84	6,40	5,58	



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

N	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Longitud Inicial (mm)	Fuerza Máxima (N)	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia máxima a tracción (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	Límite fluencia (MPa)	% Elongación	
1	025000644220210818-ETM 01-1	22,1	57,3	20,01	6,2	80,0	76650,01	75700,01	64650,01	617,84	610,18	521,11	17,92	
2	025000644220210818-ETM 01-2	22,1	57,3	20,02	6,22	80,0	75800,01	73100,01	65000,01	608,72	587,03	521,99	18,75	
							Promedio $\bar{X}$	74400,010	64825,010	613,276	598,606	521,548	18,333	
							Desviación estándar $S_{n-1}$	601,041	1838,478	247,487	6,449	16,366	0,619	0,590
							Coefficiente de variación CV	0,79	2,47	0,38	1,05	2,73	0,12	3,22

Observaciones: Ninguna





Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carroceros



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

### HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

**Informe N°:** 025000644220210825-ETM

#### **DATOS DEL CLIENTE**

**Empresa/Cliente:** Danilo Yanchatipan.

**Dirección:** Riobamba.

**Núm. de cédula / RUC:** 0250006442001.

**E-mail:** danilo.yanchatipan@epoch.edu.ec

**Teléfono:** +593962739903.

#### **DATOS INFORMATIVOS**


**Laboratorio:** Resistencia de Materiales.

**Designación del material:** Material metálico: base Aluminio 7075 T6 y con proceso de soldadura TIG de alta frecuencia, con material de aporte 4043

**Método de ensayo:**

AWS D1.2/D1.2M:2014. Código de soldadura estructural. Aluminio.

NTE INEN ISO 6892-1: 2017. Materiales metálicos.- Ensayo de tracción.- Parte 1: Método de ensayo a temperatura ambiente.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	025000644220210825-ETM 01-1	2021/09/06	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	
2	025000644220210825-ETM 01-2	2021/09/06	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
3	025000644220210825-ETM 02-1	2021/09/06	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	
4	025000644220210825-ETM 02-2	2021/09/06	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	
5	025000644220210825-ETM 03-1	2021/09/06	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	
6	025000644220210825-ETM 03-2	2021/09/06	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	
7	025000644220210825-ETM 04-1	2021/09/06	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	
8	025000644220210825-ETM 04-2	2021/09/06	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	
9	025000644220210825-ETM 05-1	2021/09/06	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	
10	025000644220210825-ETM 05-2	2021/09/06	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carracero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
11	02.5000644220210825-ETM 06-1	2021/09/06	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	
12	02.5000644220210825-ETM 06-2	2021/09/06	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	
13	02.5000644220210825-ETM 07-1	2021/09/06	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	
14	02.5000644220210825-ETM 07-2	2021/09/06	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	
15	02.5000644220210825-ETM 08-1	2021/09/06	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	
16	02.5000644220210825-ETM 08-2	2021/09/06	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	
17	02.5000644220210825-ETM 09-1	2021/09/06	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	
18	02.5000644220210825-ETM 09-2	2021/09/06	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	

Código: RG-RM-003  
Fecha de Elaboración: 06-07-2016  
Fecha de última aprobación: 17-01-2017  
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO  
DE MUESTRAS



N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
19	025000644220210818-ETM 01-1	2021/08/19	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	
20	025000644220210818-ETM 01-2	2021/08/19	2021/09/09	Cliente	Se entrega al cliente	

Todas las muestras de cada grupo ensayado por acuerdo se entregan al cliente, el CFPMC no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las mismas, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

	
<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Jorge Rodas B. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	

