



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

**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE  
SOLDADURA EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE  
JUNTAS SOLDADAS DE ALUMINIO GRADO ESTRUCTURAL  
MEDIANTE PROCESO SMAW”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR:**

**EDWIN DAVID SISLEMA CHACHA**

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MECÁNICA**

**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE  
SOLDADURA EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE  
JUNTAS SOLDADAS DE ALUMINIO GRADO ESTRUCTURAL  
MEDIANTE PROCESO SMAW”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR: EDWIN DAVID SISLEMA CHACHA**

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

Riobamba – Ecuador

2023

**©2023, Edwin David Sislema Chacha**

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.

Yo, Edwin David Sislema Chacha, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 28 de junio de 2023

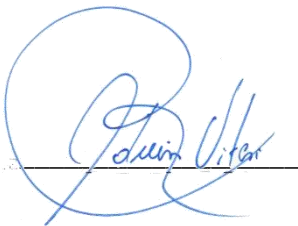
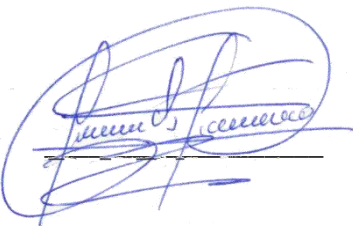
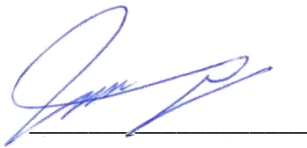


**Edwin David Sislema Chacha**

**172422689-7**

**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 INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE SOLDADURA EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE JUNTAS SOLDADAS DE ALUMINIO GRADO ESTRUCTURAL MEDIANTE PROCESO SMAW**” realizado por el señor **EDWIN DAVID SISLEMA CHACHA**, 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. Msc. Edwin Fernando Viteri Núñez<br><b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>                     |  | 2023-06-28   |
| Ing. Carlos Oswaldo Serrano Aguiar<br><b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b> |  | 2023-06-28   |
| Ing. Andrés Joao Noguera Cundar<br><b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>      |  | 2023-06-28   |

## **DEDICATORIA**

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.

Edwin

## **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.

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.

Edwin

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| ÍNDICE DE TABLAS.....        | x   |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | xii |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....       | xii |
| RESUMEN .....                | xv  |
| SUMMARY .....                | xvi |
| INTRODUCCIÓN .....           | 1   |

### CAPÍTULO I

|              |                                       |          |
|--------------|---------------------------------------|----------|
| <b>1.</b>    | <b>DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....</b> | <b>1</b> |
| <b>1.1</b>   | <b>Antecedentes .....</b>             | <b>1</b> |
| <b>1.2</b>   | <b>Delimitación .....</b>             | <b>2</b> |
| <i>1.2.1</i> | <i>Delimitación espacial.....</i>     | <i>2</i> |
| <i>1.2.2</i> | <i>Delimitación sectorial.....</i>    | <i>2</i> |
| <b>1.3</b>   | <b>Formulación del problema.....</b>  | <b>2</b> |
| <b>1.4</b>   | <b>Objetivos.....</b>                 | <b>3</b> |
| <i>1.4.1</i> | <i>Objetivo general.....</i>          | <i>3</i> |
| <i>1.4.2</i> | <i>Objetivos específicos .....</i>    | <i>3</i> |

### CAPÍTULO II

|                |  |           |
|----------------|--|-----------|
| <b>2.</b>      | <b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>                               | <b>4</b>  |
| <b>2.1</b>     | <b>Aluminio .....</b>  | <b>4</b>  |
| <i>2.1.1</i>   | <i>Aleaciones de aluminio.....</i>                             | <i>4</i>  |
| <i>2.1.1.1</i> | <i>Designación de temple para aleaciones de aluminio .....</i> | <i>5</i>  |
| <i>2.1.1.2</i> | <i>Aleaciones de aluminio serie AA2XXX.....</i>                | <i>6</i>  |
| <i>2.1.1.3</i> | <i>Aleaciones de aluminio serie AA7XXX.....</i>                | <i>7</i>  |
| <b>2.2</b>     | <b>Soldadura SMAW en aleaciones de aluminio .....</b>          | <b>9</b>  |
| <i>2.2.1</i>   | <i>Polaridad.....</i>  | <i>12</i> |
| <i>2.2.1.1</i> | <i>Polaridad directa.....</i>                                  | <i>12</i> |
| <i>2.2.1.2</i> | <i>Polaridad inversa .....</i>                                 | <i>13</i> |
| <i>2.2.2</i>   | <i>Material de aporte.....</i>                                 | <i>15</i> |
| <i>2.2.2.1</i> | <i>Metales de aporte .....</i>                                 | <i>15</i> |



|         |   |    |
|---------|---|----|
| 2.2.2.2 | <i>Parámetros de soldeo</i> .....                             | 16 |
| 2.2.3.  | <i>Cordón de soldadura</i> .....                              | 16 |
| 2.3     | <b>Normas para los ensayos</b> .....                          | 17 |
| 2.3.1   | <i>Ensayo de doblado</i> .....                                | 17 |
| 2.3.2   | <i>Ensayo de tracción</i> .....                               | 17 |
| 2.3.3   | <i>Ensayo de dureza</i> .....                                 | 17 |
| 2.3.4   | <i>Ensayo de metalografía</i> .....                           | 17 |
| 2.4     | <b>Ensayo de tracción</b> .....                               | 17 |
| 2.4.1   | <i>Ensayo de tracción, según la norma NTE INEN 0109</i> ..... | 17 |
| 2.4.1.1 | <i>Definiciones</i> .....                                     | 17 |
| 2.4.3   | <i>Preparación de la probeta</i> .....                        | 20 |

### CAPÍTULO III

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3.      | <b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....                          | 22 |
| 3.1     | <b>Materiales y proceso de soldadura</b> .....           | 22 |
| 3.1.1   | <i>Metal base</i> .....                                  | 22 |
| 3.1.1.1 | <i>Espectrometría por chispa del material base</i> ..... | 22 |
| 3.1.2   | <i>Soldadura SMAW</i> .....                              | 23 |
| 3.1.2.1 | <i>SMAW</i> .....  | 23 |
| 3.1.2.2 | <i>Selección del electrodo</i> .....                     | 24 |
| 3.1.2.2 | <i>Equipos de protección personal</i> .....              | 26 |
| 3.1.3   | <i>Preparación de placa a soldar</i> .....               | 26 |
| 3.1.3.1 | <i>Corte por chorro de agua</i> .....                    | 26 |
| 3.1.3.2 | <i>Ranurado de las placas</i> .....                      | 27 |
| 3.1.3.3 | <i>Limpieza de las placas</i> .....                      | 30 |
| 3.1.5   | <i>Juntas Soldadas</i> .....                             | 30 |
| 3.1.4.1 | <i>Proceso de soldadura</i> .....                        | 30 |
| 3.1.4.2 | <i>Codificación de las placas</i> .....                  | 31 |
| 3.2     | <b>Inspección de las placas</b> .....                    | 32 |
| 3.2.1   | <i>Inspección visual</i> .....                           | 32 |
| 3.2.2   | <i>Ultrasonido</i> .....                                 | 33 |
| 3.3     | <b>Análisis metalográfico</b> .....                      | 34 |
| 3.3.1   | <i>Preparación de muestras para metalografía</i> .....   | 35 |
| 3.4     | <b>Ensayos destructivos</b> .....                        | 36 |
| 3.4.1   | <i>Ensayo de tracción</i> .....                          | 36 |
| 3.4.1.1 | <i>Equipo para ensayos de tracción</i> .....             | 37 |
| 3.5     | <b>Costos</b> .....                                      | 38 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3.5.1   | <i>Costos directos</i> .....                             | 39 |
| 3.5.2   | <i>Costos indirectos</i> .....                           | 40 |
| 3.5.1   | <i>Costo total</i> .....                                 | 40 |
| 4.      | <b>RESULTADOS</b> .....                                  | 41 |
| 4.1     | <b>Material base</b> .....                               | 41 |
| 4.1.1   | <i>Espectrometría por chispa del material base</i> ..... | 41 |
| 4.1.2   | <i>Metalografía del metal base</i> .....                 | 41 |
| 4.1.3   | <i>Tracción del metal base</i> .....                     | 42 |
| 4.2     | <b>Juntas soldadas</b> .....                             | 43 |
| 4.2.1   | <i>Inspección visual</i> .....                           | 45 |
| 4.2.2   | <i>Metalografía de las juntas soldadas</i> .....         | 53 |
| 4.2.2.1 | <i>Metalografía con el microscopio óptico</i> .....      | 53 |
| 4.2.2.1 | <i>Metalografía con SEM</i> .....                        | 66 |
| 4.2.3   | <i>Resistencia a la tracción</i> .....                   | 76 |
|         | <b>CONCLUSIONES</b> .....                                | 79 |
|         | <b>RECOMENDACIONES</b> .....                             | 80 |
|         | <b>BIBLIOGRAFIA</b>                                      |    |
|         | <b>ANEXOS</b>  |    |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| <b>Tabla 1-2:</b>  | Designación del aluminio .....   | 5  |
| <b>Tabla 2-2:</b>  | Composición química nominal de aleaciones de forja, serie AA2XXX.....            | 6  |
| <b>Tabla 3-2:</b>  | Propiedades Mecánicas de aleaciones de aluminio serie 2XXX.....                  | 7  |
| <b>Tabla 4-2:</b>  | Composición química nominal de aleaciones de forja, serie AA7XXX.....            | 7  |
| <b>Tabla 5-2:</b>  | Propiedades mecánicas de aleaciones de aluminio serie 7XXX.....                  | 8  |
| <b>Tabla 6-2:</b>  | Composición química de aleación de aluminio 7075-T6.....                         | 8  |
| <b>Tabla 7-2:</b>  | Propiedades mecánicas de aleación de aluminio 7075-T6.....                       | 9  |
| <b>Tabla 8-2:</b>  | Comparación entre soldadura con corriente continua y con corriente alterna ..... | 11 |
| <b>Tabla 9-2:</b>  | Posiciones de soldadura .....  | 14 |
| <b>Tabla 10-2:</b> | Símbolos y designaciones .....   | 19 |
| <b>Tabla 11-2:</b> | Rangos para la probeta de ensayo a tracción .....                                | 20 |
| <b>Tabla 2-3:</b>  | Espesores comerciales de lámina de aluminio 7075.....                            | 22 |
| <b>Tabla 3-3:</b>  | Especificaciones de la soldadora.....  | 23 |
| <b>Tabla 4-3:</b>  | Composición química de electrodos .....  | 24 |
| <b>Tabla 5-3:</b>  | Características del horno.....   | 25 |
| <b>Tabla 6-3:</b>  | Parámetros de soldadura .....  | 25 |
| <b>Tabla 7-3:</b>  | Posición de Soldadura.....   | 25 |
| <b>Tabla 8-3:</b>  | Rangos de valores para el filete .....   | 28 |
| <b>Tabla 9-3:</b>  | Valores para el filete .....   | 28 |
| <b>Tabla 10-3:</b> | Codificación.....  | 31 |
| <b>Tabla 11-3:</b> | Equipo de ultrasonido .....  | 34 |
| <b>Tabla 12-3:</b> | Microscopio .....  | 35 |
| <b>Tabla 13-3:</b> | SEM .....  | 35 |
| <b>Tabla 14-3:</b> | Maquina universal.....   | 38 |
| <b>Tabla 15-3:</b> | Material.....  | 39 |
| <b>Tabla 16-3:</b> | Alquiler .....   | 39 |
| <b>Tabla 17-3:</b> | Mano de obra .....   | 39 |
| <b>Tabla 18-3:</b> | Viajes .....   | 39 |
| <b>Tabla 19-3:</b> | Costos indirectos.....   | 40 |
| <b>Tabla 20-3:</b> | Costos Totales.....  | 40 |
| <b>Tabla 1-4:</b>  | Composición química del material base.....                                       | 41 |
| <b>Tabla 2-4:</b>  | Placas soldadas.....   | 44 |
| <b>Tabla 3-4:</b>  | Grietas .....  | 45 |
| <b>Tabla 4-4:</b>  | Vista de la sección de soldadura .....   | 46 |

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Tabla 5-4:</b>  | Resultado del ultrasonido de la placa CC-PD-95-2 .....              | 48 |
| <b>Tabla 6-4:</b>  | Resultado del ultrasonido de la placa CC-PD-95-3 .....              | 49 |
| <b>Tabla 7-4:</b>  | Resultado del ultrasonido de la placa CC-PD-100-2 .....             | 49 |
| <b>Tabla 8-4:</b>  | Resultado del ultrasonido de la placa CC-PD-100-3 .....             | 49 |
| <b>Tabla 9-4:</b>  | Resultado del ultrasonido de la placa CC-PI-95-3 .....              | 50 |
| <b>Tabla 10-4:</b> | Resultado del ultrasonido de la placa CC-PI-100-2 .....             | 50 |
| <b>Tabla 11-4:</b> | Resultado del ultrasonido de la placa CC-PI-100-3 .....             | 51 |
| <b>Tabla 12-4:</b> | Resultado del ultrasonido de la placa CA-X-95-2 .....               | 51 |
| <b>Tabla 13-4:</b> | Resultado del ultrasonido de la placa CA-X-95-3 .....               | 52 |
| <b>Tabla 14-4:</b> | Resultado del ultrasonido de la placa CA-X-100-2 .....              | 52 |
| <b>Tabla 15-4:</b> | Resultado del ultrasonido de la placa CA-X-100-3 .....              | 53 |
| <b>Tabla 16-4:</b> | Metalografías de las juntas soldadas a una ampliación de 100X ..... | 54 |
| <b>Tabla 17-4:</b> | Metalografías de las juntas soldadas a una ampliación de 200X ..... | 58 |
| <b>Tabla 18-4:</b> | Metalografías de las juntas soldadas a una ampliación de 500X ..... | 62 |
| <b>Tabla 19-4:</b> | EDS en la zona del punto 1 .....                                    | 69 |
| <b>Tabla 20-4:</b> | EDS de un microporo.....  | 70 |
| <b>Tabla 21-4:</b> | EDS en la zona del punto 2.....                                     | 71 |
| <b>Tabla 22-4:</b> | EDS en la zona del punto 5.....                                     | 72 |
| <b>Tabla 23-4:</b> | EDS en la zona del punto 6.....                                     | 73 |
| <b>Tabla 24-4:</b> | EDS en una región blanca.....                                       | 74 |
| <b>Tabla 25-4:</b> | EDS en una partícula redonda.....                                   | 75 |
| <b>Tabla 26-4:</b> | Resistencia a la tracción de las juntas soldadas .....              | 76 |
| <b>Tabla 27-4:</b> | Resistencia a la tracción promedio.....                             | 77 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|                          |   |    |
|--------------------------|---|----|
| <b>Ilustración 1-2:</b>  | Microestructura del aluminio 7075-0, con 25% de ácido nítrico ..... | 9  |
| <b>Ilustración 2-2:</b>  | Soldadora para proceso SMAW .....                                   | 10 |
| <b>Ilustración 3-2:</b>  | Polaridad directa .....   | 12 |
| <b>Ilustración 4-2:</b>  | Polaridad inversa .....   | 13 |
| <b>Ilustración 5-2:</b>  | Tipos de corriente .....  | 13 |
| <b>Ilustración 6-2:</b>  | Cordón de soldadura .....   | 16 |
| <b>Ilustración 7-2:</b>  | Probeta de ensayo a tracción .....                                  | 20 |
| <b>Ilustración 8-2:</b>  | Probeta para el ensayo de tracción .....                            | 21 |
| <b>Ilustración 1-3:</b>  | Soldadora PROWAR 301 .....  | 23 |
| <b>Ilustración 2-3:</b>  | Termo para electrodos .....   | 24 |
| <b>Ilustración 3-3:</b>  | División de la plancha de aluminio 7075 .....                       | 27 |
| <b>Ilustración 4-3:</b>  | Dimensiones de la placa según la norma AWS D1.2 .....               | 27 |
| <b>Ilustración 5-3:</b>  | Dimensiones de la junta según la norma AWS D1.2 .....               | 28 |
| <b>Ilustración 6-3:</b>  | Galga de inspección de soldadura .....                              | 29 |
| <b>Ilustración 7-3:</b>  | Angulo del bisel .....  | 29 |
| <b>Ilustración 8-3:</b>  | Bisel de las placas .....   | 29 |
| <b>Ilustración 9-3:</b>  | Placa realizada la limpieza del área a soldar .....                 | 30 |
| <b>Ilustración 10-3:</b> | Proceso de soldadura .....  | 31 |
| <b>Ilustración 11-3:</b> | Criterio de soldadura .....   | 33 |
| <b>Ilustración 12-3:</b> | Equipo de ultrasonido .....   | 34 |
| <b>Ilustración 13-3:</b> | Microscopio .....   | 34 |
| <b>Ilustración 14-3:</b> | SEM .....   | 35 |
| <b>Ilustración 15-3:</b> | Probeta pulida .....  | 36 |
| <b>Ilustración 16-3:</b> | Probeta dimensionada .....  | 37 |
| <b>Ilustración 17-3:</b> | Maquina Universal .....   | 38 |
| <b>Ilustración 1-4:</b>  | Vista isométrica de una plancha 7075-T6 .....                       | 42 |
| <b>Ilustración 2-4:</b>  | Plancha 7075 T6 (A) vista superior, (B) vista lateral a 500X .....  | 42 |
| <b>Ilustración 3-4:</b>  | Gráfica esfuerzo vs deformación de placa base .....                 | 43 |
| <b>Ilustración 4-4:</b>  | Partes de un cordón de soldadura .....                              | 45 |
| <b>Ilustración 5-4:</b>  | Extracto del informe de ultrasonido .....                           | 47 |
| <b>Ilustración 6-4:</b>  | Esquema de una placa para ultrasonido .....                         | 48 |
| <b>Ilustración 7-4:</b>  | Puntos a analizar .....   | 53 |
| <b>Ilustración 8-4:</b>  | Metalografía en SEM de la probeta CC-PD-95-3 .....                  | 67 |
| <b>Ilustración 9-4:</b>  | Metalografía del metal base a 1100X mediante SEM .....              | 68 |

|                          |   |    |
|--------------------------|---|----|
| <b>Ilustración 10-4:</b> | Probeta ensayada a tracción .....                               | 76 |
| <b>Ilustración 11-4:</b> | Resistencia a la tracción promedio de las juntas soldadas ..... | 78 |

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** RESULTADOS ULTRASONIDO

**ANEXO B:** INFORME DE ENSAYOS DE TRACCIÓN.

## RESUMEN

El aluminio y sus aleaciones con el cobre o el zinc van en continuo desarrollo ya que ofrecen ventajas favorables como por ejemplo es ligero y puede dar la misma resistencia e incluso superior que un acero estructural. El objetivo de este proyecto es determinar cuáles son los parámetros que influyen en la resistencia a la tracción y analizar el cambio que se tiene en las distintas zonas mediante la metalografía en juntas soldadas de aluminio grado estructural con el proceso SMAW, las juntas soldadas se realizaron en el aluminio 7075-T6. Se realizó estudios tanto teóricos como prácticos para poder seleccionar los parámetros que puedan intervenir al momento de analizar su resistencia mecánica y así modificar cada uno de ellos. Los parámetros que se determinaron fueron: el tipo de corriente, la polaridad, el amperaje y la separación entre placas. La soldadura fue compleja debido al proceso de soldadura y a la contaminación que se tiene cuando el aluminio reacciona con el oxígeno. En los cordones de soldadura se realizó el ultrasonido mediante norma UTPA ASME VIII, para así determinar si el cordón presenta algún tipo de discontinuidad. La probeta o placa soldada que tuvo una mayor resistencia a la tracción fue con corriente alterna, amperaje de 100 y una separación entre placas. Finalmente, la combinación de parámetros que se recomendaría es la variación entre los tipos de junta más la variación en la apertura de raíz. Se concluyó que lo que influye directamente a que la junta soldada no resista lo necesario es que el electrodo no consiguió fusionarse correctamente con el material base, esto se debe a que el material se contamina demasiado rápido con el oxígeno provocando óxido de aluminio que al realizar el cordón internamente provoca poros debido al punto de fusión que tiene dicho óxido.

**Palabras clave:** <METALOGRAFÍA> <ALUMINIO> <RESISTENCIA A LA TRACCIÓN>  
<POLARIDAD> <SOLDADURA DE ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO (SMAW)>

1433-DBRA-UPT-2023

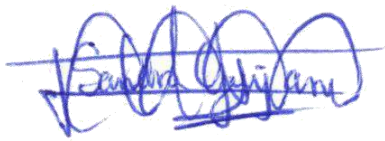




## SUMMARY

Aluminum and its alloys with copper or zinc are continuously being developed due to their favorable advantages, such as being lightweight while providing comparable or even superior strength to structural steel. This project aims to determine the parameters that influence tensile strength and analyze the changes in different zones through metallography in welded joints of structural-grade aluminum using the SMAW welding process. The welded joints were performed on 7075-T6 aluminum. The study involved theoretical and practical investigations to select the parameters that could affect the mechanical strength and modify each accordingly. The determined parameters include the current type, polarity, amperage, and plate separation. The welding process was complex due to the interaction between aluminum and oxygen, leading to contamination. Ultrasonic testing was conducted on the weld beads following the UTPA ASME VIII standard to identify potential discontinuities. The welded specimen with the highest tensile strength was achieved using alternating current, an amperage of 100, and a specific plate separation. Ultimately, the recommended parameter combination involves common types and root openings variations. It was concluded that the improper fusion between the electrode and the base material directly affects the joint's inadequate resistance. This is mainly attributed to the rapid contamination of the material with oxygen, leading to the formation of aluminum oxide and subsequent internal porosity in the weld bead due to the oxide's melting point.

**Keywords:** <METALLOGRAPHY> <ALUMINUM> <TENSILE STRENGTH>  
<POLARITY> <SHIELDED METAL ARC WELDING (SMAW) >.



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay  
C.I.: 0603366113

## INTRODUCCIÓN

El aluminio en la actualidad tiene varias aplicaciones, y estas van desarrollándose rápidamente, esto se debe a las propiedades que brindan en comparación al acero, estas aplicaciones están más enfocados principalmente en el sector automotriz y aeronáutico, en la actualidad hay varias investigaciones tanto nacionales e internacionales sobre la soldadura en aluminio, no obstante estas mismas investigaciones se basan en procesos de soldaduras en aluminio normal, mas no a las aleaciones de aluminio.

Por tal motivo el presente trabajo se enfoca en la soldadura de una de las aleaciones de aluminio específicamente el 7075-T6 con el proceso SMAW, la bibliografía determino que este proceso es el menos recomendado, lo cual conlleva a un análisis exhaustivo en cuanto a la metalografía y a sus propiedades mecánicas.

El proyecto consiste en realizar la soldadura de 11 pares de placas que van a variar parámetros para encontrar la mejor combinación de estos y obtener una mayor resistencia a la tracción, una vez realizados los cordones de soldadura se analiza la microestructura para poder determinar cuáles son sus propiedades metalográficas, el ensayo de tracción es muy importante en este proyecto porque ayuda a determinar cuánto resiste cada una de las juntas soldadas con respecto a la tracción y así se pueda obtener cual es la combinación de parámetros con mejores resultados.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En este capítulo se va a iniciar con una investigación de los antecedentes que se tiene sobre la soldadura SMAW y el cómo se aplica en aluminio para poder encontrar el problema y poder generar los objetivos para esta investigación.

### 1.1 Antecedentes

La soldadura SMAW es reconocida por ser uno de los primeros procesos utilizados para la unión de metales más antiguos que actualmente existe, sus inicios están dados en los años 90 del siglo XVIII, en ese entonces el proceso se realizaba solo con un electrodo de carbón el cual se utilizaba para producir el arco eléctrico, en el año 1907 el fundador de ESAB Kjellber mejoro el método de soldadura, haciendo que esta se realice con un electrodo recubierto que actualmente se lo conoce como SMAW(Shielded Metal Arc Welding) (Flores 2002).

A nivel mundial las investigaciones con el aluminio están muy avanzadas ya que la mayoría de países este material se utiliza mucho en las industrias gracias a las propiedades que brindan como lo son: la resistencia a la corrosión, su soldabilidad y sobre todo su relación entre la resistencia y el peso. (Tušek 2016) mediante una investigación de soldadura TIG en un aluminio 7075-T6 determino que con este proceso de soldadura la temperatura de precalentamiento más óptima fue de 200 °C, y llego a la conclusión que el cordón de soldadura va a tener una resistencia a la tracción menor a la del metal base, pero igual al metal de aportación.

A nivel de Latinoamérica las investigaciones son escasas, la mayoría se realizaron en Perú, esto debido a que ese país cuenta con una amplia variedad de soldadores que tienen certificaciones para todo tipo de soldadura. (Zarate 2007) realizo una soldadura con el proceso MIG en el cual el material base fue de la serie AA3XXX y el material de aportación fueron el ER4043 y ER5356 el cual llego a la conclusión que en cuestión de apariencia superficial es mejor el aporte ER4043, mientras que el aporte ER5356 tiene una mejor penetración. En cuestión de resistencia a la tracción los valores son similares entre los dos aportes, en ambos casos la resistencia a la tracción disminuye entre un 30% y 33% con relación al material base.

En el país las investigaciones de soldadura en aluminio son escasas, y mucho más en aluminio tipo estructural esto se debe a que en el país su uso es casi nulo, una razón es que se tiene poca información de estos materiales con respecto a su soldadura y su precio es elevado. (Pérez 2015)

Realizo una investigación en la Universidad Técnica de Ambato el cual trata sobre la soldadura en aluminio utilizando el proceso SMAW el cual el material base fue el 6005-T6 para evaluar sus propiedades mecánicas en juntas a tope del marco de la ventana del bus en las carrocerías IMCE, esta investigación llevo a la conclusión del material no necesita un precalentamiento ya que al momento de los ensayos de tracción el que mejor resultado dio fue la probeta soldada sin precalentamiento.

Para este procedimiento de soldadura ya existen electrodos los cuales se utilizan para arco eléctrico, gracias a las investigaciones realizadas de la soldadura en aluminio los parámetros que se pueden variar en la soldadura SMAW son su amperaje y el tipo de corriente cuyos resultados se presentaran en la presente investigación.

## **1.2 Delimitación**

### **1.2.1 Delimitación espacial**

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

### **1.2.2 Delimitación sectorial**

El estudio y desarrollo de este trabajo se acoge al Plan Nacional de Desarrollo 2017-2023, en base al objetivo 1 el cual indica; Garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas.

## **1.3 Formulación del problema**

El aluminio y sus aleaciones con el cobre o el zinc van en continuo desarrollo ya que ofrecen ventajas favorables como por ejemplo es ligero y puede dar la misma resistencia e incluso superior que un acero estructural, por lo general se utiliza el acero ya que varias personas no están familiarizados con este tema, esto se debe a que en el país no se ha investigado lo necesario este tema y al momento de querer realizar este proceso, se realizan métodos inadecuados que a la larga provoquen que las propiedades mecánicas disminuyan en la unión soldada.

Para ello se ha procedido a realizar soldadura mediante el proceso SMAW ya que este en uno de los procesos básicos de la soldadura, pero para aluminio estructural es uno de los procesos menos estudiados tanto a nivel del país como del mundo.

## **1.4 Objetivos**

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

Determinar la influencia de los parámetros de soldadura en la resistencia a tracción de juntas de aleaciones de aluminio grado estructural, utilizando el proceso SMAW.

### **1.4.2 *Objetivos específicos***

- Revisar información bibliográfica sobre la soldadura SMAW.
- Seleccionar parámetros modificables de soldeo y electrodos adecuados para la junta soldada.
- Elaborar probetas de aluminio para soldadura mediante normas.
- Determinar límite de fluencia y resistencia a la tracción de las juntas soldadas.
- Caracterizar mediante metalografía la soldadura de la ZAC.
- Determinar que parámetros influyen en el límite de fluencia y resistencia a la tracción de las juntas.

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En este capítulo se detalla de forma teórica sobre el aluminio y sus aleaciones, el material de aporte para soldadura SMAW, proceso de soldadura, normas para los distintos ensayos, todo esto para comprender los temas que son esenciales para la realización de este proyecto.

#### 2.1 Aluminio

El valor de la densidad del aluminio es de apenas 2,7 g/cm<sup>3</sup>, que en comparación con la densidad del acero es apenas un tercio (7,83 g/cm<sup>3</sup>), cobre (8,93 g/cm<sup>3</sup>), o bronce (8.53 g/cm<sup>3</sup>). El aluminio tiene una alta resistencia a la corrosión en distintas condiciones y ambientes, incluyendo la atmósfera, el agua (incluso agua salada) y productos petroquímicos (Hidalgo y Cabrera 2014, p. 11).

El aluminio suele tener una excelente conductividad eléctrica y térmica. Las aleaciones especiales están diseñadas para su uso en aplicaciones que requieren alta resistencia eléctrica, como motores eléctricos. Los requisitos de alta durabilidad y resistencia mecánica se pueden cumplir utilizando un cable de acero con núcleo de aluminio, también conocido como línea de transmisión blindada (Hidalgo y Cabrera 2014, p. 12).

El aluminio es no ferromagnético, lo cual es una propiedad importante en la industria eléctrica y electrónica. No es auto inflamable, lo cual es importante cuando se trabaja con objetos inflamables o explosivos. El aluminio tampoco es tóxico y se usa comúnmente en envases de alimentos y bebidas. Se ve atractivo en sus colores naturales, que pueden ser brillantes y brillantes o brillantes y brillantes. Puede ser de casi cualquier color y textura. Las aleaciones de aluminio tienen como objetivo aumentar las características mecánicas del aluminio provocando así que varias de estas aleaciones tengan un mejor comportamiento en cuestión del esfuerzo que el acero estructural (Hidalgo y Cabrera 2014, p. 12).

##### 2.1.1 Aleaciones de aluminio

Algunas aleaciones de aluminio endurecido pueden alcanzar propiedades mecánicas similares a las de algunos aceros. Además de los elementos de aleación, el conformado en frío y el tratamiento térmico aumentan considerablemente la resistencia mecánica. Sin embargo, las propiedades mecánicas y microestructurales de las zonas afectadas por el calor (ZAC) cambian durante la soldadura por fusión de aleaciones de aluminio (Zarate Monje 2007, p. 2).

Los elementos de aleación, normalmente en pequeñas cantidades, mejoran las propiedades mecánicas del aluminio puro. Las aleaciones de aluminio se pueden clasificar como se observa en la Tabla 1-2, el elemento principal integrado o con el contenido de los elementos principales; y su unión o agrupación depende si se pueden realizar o no el tratamiento térmico (Zarate Monje 2007, p. 2).

**Tabla 1-2:** Designación del aluminio

| ALUMINIO | Elementos aleantes principales | Serie | Aleaciones comunes |
|----------|--------------------------------|-------|--------------------|
|          | Ninguno                        | 1XXX  | AA1050             |
|          | Cu                             | 2XXX  | AA2014             |
|          | Mn                             | 3XXX  | AA3103             |
|          | Si                             | 4XXX  | AA4043             |
|          | Mg                             | 5XXX  | AA5083             |
|          | Si+Mg                          | 6XXX  | AA6082             |
|          | Zn                             | 7XXX  | AA7020             |
|          | Otros                          | 8XXX  | AA8090             |

Fuente: (Zarate Monje 2007)

#### 2.1.1.1 Designación de temple para aleaciones de aluminio

El estado en el que se pueden encontrar las aleaciones de aluminio es:

- O. Recocida
- H. Trabajada en frío
- H1x. Solo trabajada en frío. (La x se refiere a la cantidad de trabajo en frío y endurecimiento.)
- H12. Trabajo en frío que da resistencia a la tensión en medio entre templados 0 y H14
- H14. Trabajo en frío que da resistencia a la tensión en medio entre templados 0 y H18
- H16. Trabajo en frío que da resistencia a la tensión en medio entre templados H14
- H18. Trabajo en frío que da alrededor de 75% de reducción.
- H19. Trabajo en frío que da resistencia a la tensión mayor a 2000 psi de la obtenida por el templeado H18.
- H2x. Trabajo en frío y parcialmente recocida.
- H3x. Trabajada en frío y estabilizada a baja temperatura para impedir endurecimiento por envejecimiento de la estructura.
- W. Tratada por solución
- T. Endurecido por envejecimiento.
- T1. Enfriada desde la temperatura de fabricación y envejecida naturalmente.
- T2. Enfriada desde la temperatura de fabricación, trabajada en frío y envejecida naturalmente.
- T3. Tratada por solución, trabajada en frío y envejecida naturalmente.

- T4. Tratada por solución y envejecida naturalmente.
- T5. Enfriada desde la temperatura de fabricación y envejecida artificialmente.
- T6. Tratada por solución y envejecida artificialmente.
- T7. Tratada por solución y estabilizada por exceso de envejecimiento.
- T8. Tratada por solución, trabajada en frío y envejecida artificialmente.
- T9. Tratada por solución, envejecida artificialmente y trabajada en frío.
- T10. Enfriada desde la temperatura de fabricación, trabajada en frío y envejecida artificialmente (Cabrera 2014, p. 8).

### 2.1.1.2 Aleaciones de aluminio serie AA2XXX

Las aleaciones de aluminio del grupo 2 su principal elemento aleante es el cobre y su proporción en peso es de aproximadamente entre el 2% y el 10% como se observa en la Tabla 2-2 (Espinoza Hurtado 2014, p. 7).

**Tabla 2-2:** Composición química nominal de aleaciones de forja, serie AA2XXX

| AA   | Si       | Fe  | Cu      | Mn       | Mg       | Cr  | Ni      | Zn   | Ti   | Otros |       | Aluminio mín. |
|------|----------|-----|---------|----------|----------|-----|---------|------|------|-------|-------|---------------|
|      |          |     |         |          |          |     |         |      |      | C/u   | Total |               |
| 2011 | 0.4      | 0.7 | 5.0-6.0 | -        | -        | -   | -       | 0.3  | -    | 0.05  | 0.15  | El resto      |
| 2014 | 0.50-1.2 | 0.7 | 3.9-5.0 | 0.40-1.2 | 0.20-0.8 | 0.1 | -       | 0.25 | 0.15 | 0.05  | 0.15  | El resto      |
| 2017 | 0.20-0.8 | 0.7 | 3.5-4.5 | 0.40-1.0 | 0.40-0.8 | 0.1 | -       | 0.25 | 0.15 | 0.05  | 0.15  | El resto      |
| 2018 | 0.9      | 1   | 3.5-4.5 | 0.2      | 0.45-0.9 | 0.1 | 1.7-2.3 | 0.25 | -    | 0.05  | 0.15  | El resto      |

Fuente: (Zarate Monje 2007)

Gracias a que se pueden realizar tratamientos térmicos se obtiene alta resistencia mecánica y propiedades fuertes. Sin embargo, debido a sus propiedades, no es muy duradero, por lo que, ante diversos tipos de desgaste durante el funcionamiento, se pinta o se estampa (Espinoza Hurtado 2014, p. 7).

Varias de las aleaciones de la serie 2 son muy utilizadas en la industria aeroespacial y automovilística, principalmente en camiones, debido a su calidad. Estas aplicaciones suelen incluir pernos o remaches, así como soldadura (Espinoza Hurtado 2014, p. 7).

Con referencia a la soldabilidad, en un alto porcentaje de estas aleaciones son muy pobres en procesos de soldadura por arco, los cordones de soldadura tienen propiedades muy malas provocando que estos sean frágiles y extensas zonas de eutéctico de bajo punto de fusión debilitan la unión. Las aleaciones que como elemento aleante principal tienen el Cu y sin Mg son las que mejor se comportan con respecto a la soldadura (AA2014, AA2219, AA2519); Las aleaciones



que contienen como elemento aleante el Mg (duraluminio) la soldabilidad en estas aleaciones es muy baja. La mayoría de la serie AA2XXX no se recomienda para el soldeo por fusión, porque tienden al agrietamiento ya sea por licuación o por solidificación. La Tabla 3-2 representa los valores de propiedades mecánicas en la cual se observa las aleaciones más comunes de este grupo o serie (Zarate Monje 2007, p. 12).

**Tabla 3-2:** Propiedades Mecánicas de aleaciones de aluminio serie 2XXX

| Aleación | Estado | Esfuerzo máx (MPa) | Esfuerzo de Fluencia (MPa) | Alargamiento (%) | Dureza HB |
|----------|--------|--------------------|----------------------------|------------------|-----------|
| AA2011   | T4     | 350                | 270                        | 18               | 90        |
|          | T6     | 395                | 300                        | 12               | 110       |
|          | T8     | 420                | 315                        | 13               | 115       |
| AA2014   | O      | 190                | 85                         | 20               | 55        |
|          | T4     | 430                | 290                        | 18               | 110       |
|          | T6     | 485                | 425                        | 12               | 140       |
| AA2024   | O      | 185                | 75                         | 20               | 55        |
|          | T3     | 475                | 340                        | 18               | 120       |
|          | T8     | 485                | 450                        | -                | 130       |

Fuente: (Zarate Monje 2007)

### 2.1.1.3 Aleaciones de aluminio serie AA7XXX

Dentro de la serie AA7XXX, un elemento aleante que está dentro de todas las aleaciones de esta serie es el Magnesio, pero este no es el principal aleante, como principal aleante está el Zinc. La combinación de estos dos elementos aleantes le da muy alta resistencia, cuando son tratadas térmicamente, Gracias a que al alearse el Zn y el Mg se produce un compuesto intermetálico llamado MgZn<sub>2</sub>, este compuesto se lo considera como el principal precipitado que produce el endurecimiento para esta serie de aleaciones de aluminio (Zarate Monje 2007, p. 15).

**Tabla 4-2:** Composición química nominal de aleaciones de forja, serie AA7XXX

| AA   | Si   | Fe  | Cu       | Mn        | Mg      | Cr        | Ni | Zn      | Ti   | Otros |       | Aluminio min. |
|------|------|-----|----------|-----------|---------|-----------|----|---------|------|-------|-------|---------------|
|      |      |     |          |           |         |           |    |         |      | C/u   | Total |               |
| 7001 | 0.35 | 0.4 | 1.6-2.6  | 0.2       | 2.6-3.4 | 0.18-0.35 | -  | 6.8-8.0 | 0.2  | 0.05  | 0.15  | El resto      |
| 7011 | 0.15 | 0.2 | 0.05     | 0.10-0.30 | 1.0-1.6 | 0.05-0.20 | -  | 4.0-5.5 | 0.05 | 0.05  | 0.15  | El resto      |
| 7075 | 0.4  | 0.5 | 1.2-2.0  | 0.3       | 2.1-2.9 | 0.18-0.35 | -  | 5.1-6.1 | 0.2  | 0.05  | 0.15  | El resto      |
| 7079 | 0.3  | 0.4 | 0.40-0.8 | 0.10-0.30 | 2.9-3.7 | 0.10-0.25 | -  | 3.8-4.8 | 0.1  | 0.05  | 0.15  | El resto      |

Fuente: (Zarate Monje 2007)

Las aleaciones de este grupo que más resistencia mecánica tienen son AA7010 y AA7050 y la aleación Al-Zn-Mg-Cu (AA7075) tienden al agrietamiento ya sea por licuación o fisuración en caliente en soldeo por fusión, por lo tanto, no se recomienda soldar estas aleaciones. Gracias a

que la aleación contiene Cobre y Magnesio ayuda a que esta aleación tienda a aumentar la sensibilidad de este material a la fisuración en caliente como sucede con la aleación AA2024 (Zarate Monje 2007, p. 16).

**Tabla 5-2:** Propiedades mecánicas de aleaciones de aluminio serie 7XXX

| Aleación | Estado | Esfuerzo máx (MPa) | Esfuerzo de Fluencia (MPa) | Alargamiento (%) | Dureza HB |
|----------|--------|--------------------|----------------------------|------------------|-----------|
| AA7020   | O      | 180                | 80                         | 24               | 55        |
|          | T6     | 380                | 335                        | 13               | 120       |
| AA7075   | O      | 225                | 105                        | —                | 60        |
|          | T6     | 570                | 505                        | 10               | 150       |
| AA7079   | O      | 228                | 103                        | 16               | 60        |
|          | T6     | 538                | 469                        | 14               | 145       |
| AA7178   | O      | 228                | 103                        | 16               | 60        |
|          | T6     | 607                | 538                        | 11               | 160       |

Fuente: (Zarate Monje 2007)

#### *Composición química del aluminio 7075-T6*

**Tabla 6-2:** Composición química de aleación de aluminio 7075-T6

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

Fuente: (MatWeb, 1996-2021)

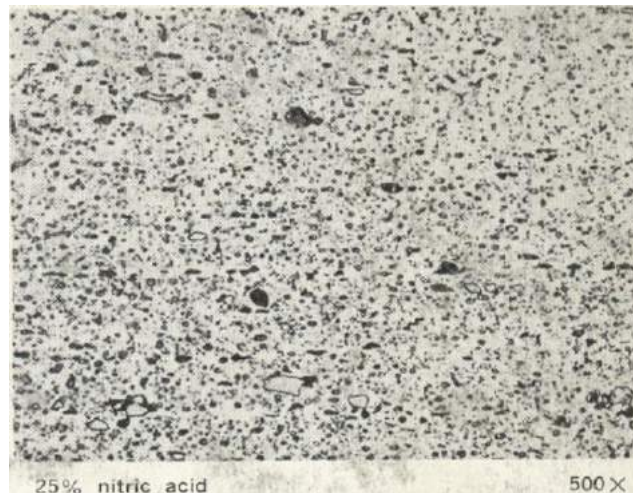
## Propiedades mecánicas del aluminio 7075-T6

**Tabla 7-2:** Propiedades mecánicas de aleación de aluminio 7075-T6

| PROPIEDADES FISICAS                |                           |
|------------------------------------|---------------------------|
| Peso específico kg/dm <sup>3</sup> | 2.83                      |
| Dilatación térmica entre (0-100°C) | 23.7 10 <sup>-6</sup> /°C |
| Conductividad térmica (0-100°C)    | 153 (W/m°C)               |
| Calor específico(0-100°C)          | 857 J/kg °C               |
| Módulo de elasticidad              | 73.000 MPa                |
| Módulo de compresión               | 73.000 MPa                |
| Coefficiente de "Poisson"          | 0.33                      |
| Intervalo de fusión                | 475 – 630 °C              |

Fuente: (MatWeb, 1996-2021)

## Micrografía del aluminio 7075-O



**Ilustración 1-2:** Microestructura del aluminio 7075-O, con 25% de ácido nítrico

Fuente: (ASM Metals Handbook 1972)

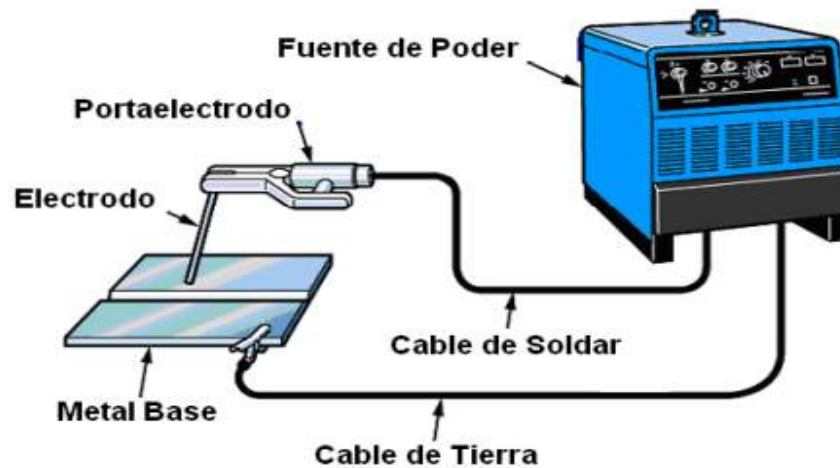
En la Figura 1-2 se observa la micrografía de una hoja de aleación 7075-O, recocida, las partículas finas de  $MgZn_2$  (oscuro) se precipitaron a temperaturas más bajas, durante el calentamiento o enfriamiento desde la temperatura de recocido. las partículas insolubles de  $FeAl_3$  (gris claro, delineadas) no se vieron afectadas por el tratamiento de recocido (ASM Metals Handbook 1972, p. 251).

## 2.2 Soldadura SMAW en aleaciones de aluminio

La soldadura por arco de metal blindado (SMAW) está diseñada para uso manual donde el metal fluye juntos debido al calor generado por el arco entre la punta del electrodo blindado y la

superficie del electrodo. Metal base entre soldaduras. Los electrodos son varillas simples recubiertas de aluminio o una aleación de aluminio y un fundente que disuelve el óxido de aluminio en la base y el óxido de aluminio del electrodo utilizado. Los componentes principales de este proceso son:

Fuente de Poder, Porta electrodo, Electrodo, Cable de Fuerza, Cable de Tierra, Metal Base (Zarate Monje 2007, p. 22).



**Ilustración 2-2:** Soldadora para proceso SMAW

Fuente: (Zarate Monje 2007)

En algunos casos, se utilizan electrodos con núcleo fundente; Dado que no cumple con los requisitos de calidad de la junta, se debe a la porosidad existente ya la baja resistencia mecánica. Las aleaciones de aluminio a veces se sueldan utilizando el proceso de soldadura por arco metálico con protección de gas, que se utiliza para un mayor espesor debido a la entrada de calor efectiva (Zarate Monje 2007, p. 22).

Además de su capacidad para introducir calor, tiende a formar porosidad y mala calidad de soldadura en aleaciones de aluminio delgadas de menos de 9,0 mm de espesor. Las aplicaciones no críticas utilizan 24 electrodos de aleación de aluminio recubiertos con fundente. La resistencia y lisura de su superficie son escasas, lo que limita la soldadura a tope de chapas de aluminio con un espesor de 3,2 mm, o de un espesor superior (Zarate Monje 2007, p. 23).

Se puede encontrar dos tipos de electrodos comerciales en nuestro medio, estos aplicados a aluminio puro y aleaciones de aluminio, cuyas especificaciones están según norma AWS A5.3 (Zarate Monje 2007, p. 23).

## Tipos de corriente

El soldeo por arco con electrodos revestidos se puede realizar tanto con corriente alterna como con corriente continua. La elección de una u otra dependerá del tipo de fuente de corriente disponible, del electrodo a utilizar, y del material base (Lincoln Electric 2012, p. 5).

**Tabla 8-2:** Comparación entre soldadura con corriente continua y con corriente alterna

| <b>Parámetros</b>   | <b>Corriente continua</b>   | <b>Corriente alterna</b>   |
|---|---|--|
| Soldeo a gran distancia de la fuente de corriente.                                    |   | Preferible   |
| Soldeo con electrodos de pequeño diámetro que requieren bajas intensidades de soldeo. | La operación resulta más fácil.   | Precaución. El material se puede deteriorar debido a la dificultad de encendido del arco.    |
| Cebado del arco.  | Resulta más fácil.  | Más difícil, en especial si se emplean electrodos de pequeño diámetro.                       |
| Mantenimiento del arco.   | Más fácil por la mayor estabilidad.   | Más difícil, excepto cuando se emplean electrodos de gran rendimiento.                       |
| Soplo magnético.  | Puede ser un problema en el soldeo de materiales ferromagnéticos.   | No se presentan problemas.   |
| Posiciones de soldeo.   | Se prefiere en el soldeo en posiciones vertical y bajo techo, porque deben utilizarse intensidades bajas. | Si se utilizan los electrodos adecuados se pueden realizar soldaduras en cualquier posición. |
| Tipo de electrodo   | Se puede emplear con cualquier tipo de electrodo.   | El revestimiento del electrodo debe contener sustancias que restablezcan el arco.            |
| Espesor de la pieza.  | Se prefiere para espesores delgados.  | Se prefiere con espesores gruesos. Se obtiene mayor rendimiento.                             |
| Salpicaduras.   | Poco frecuentes.  | Más frecuentes.  |

**Tabla 8-2:** (continuación)

|  |  |                     |
|--|--|---------------------|
| Soldeo utilizando longitudes de arco pequeñas (importante en algún tipo de electrodos, sobre todo los de tipo básico). | El soldeo resulta más fácil.   |                     |
| Polaridad.   | Posibilidad de elección de la polaridad en función del metal a soldar y del electrodo a emplear. | No hay polaridades. |

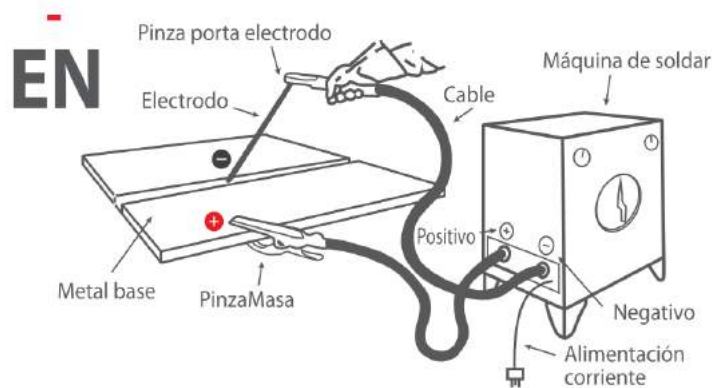
Fuente: (MatWeb, 1996-2021)

## 2.2.1 Polaridad

### 2.2.1.1 Polaridad directa

Polaridad

Polaridad directa



**Ilustración 3-2:** Polaridad directa

Fuente: (Zarate Monje 2007)

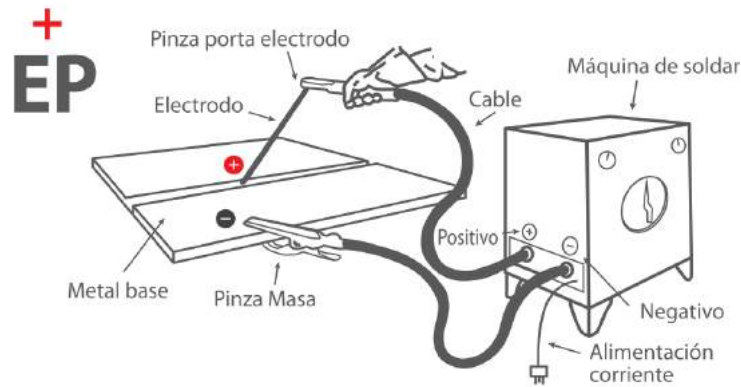
Pinza porta electrodos en el polo negativo y la masa en el polo positivo obtenemos las siguientes características:

El flujo de corriente continua es en sentido al material base (JET-ARCO 2019, p. 1).

En la polaridad directa la limpieza de óxidos no se produce, con lo que las superficies deben estar limpias de estas previas a la soldadura.

Baño de fusión ancho, alta penetración.

2.2.1.2 Polaridad inversa



**Ilustración 4-2:** Polaridad inversa

Fuente: (Zarate Monje 2007)

Pinza porta electrodos en el polo positivo y la masa en el polo negativo obtenemos las siguientes características:

El flujo de corriente continua es en sentido al electrodo.

En la polaridad inversa la limpieza de óxidos si se genera de manera automática, favorables en soldaduras de aluminio y magnesio.

Baño de fusión ancho con poca penetración.

Efecto de la polaridad en la soldadura SMAW

| TIPO DE CORRIENTE                             | CC EN   | CC EP   | CA                              |
|---|---|---|---------------------------------|
| Polaridad del electrodo                       | Negativo (-)  | Positivo (+)  | Balanceada                      |
| Flujo de electrones e iones                   |   |   |                                 |
| Características de la penetración             |   |   |                                 |
| Acción limpiadora de los óxidos superficiales | NO  | SI  | SI Alternadamente en cada ciclo |
| Balace calorico del arco (aprox.)             | 70% a extremo del electrodo<br>30% al extremo del material base | 30% a extremo del electrodo<br>70% al extremo del material base | 50%<br>50%                      |
| Penetración                                   | Profunda y estrecha   | Amplio y superficial  | Intermedia                      |
| Capacidad del electrodo                       | 3,2mm 400 Amp.  | 4,0 mm 150 Amp.   | Buena 3,2 mm 225 Amp.           |

**Ilustración 5-2:** Tipos de corriente




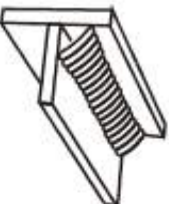

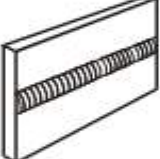
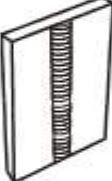



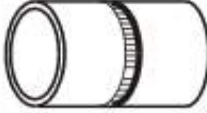
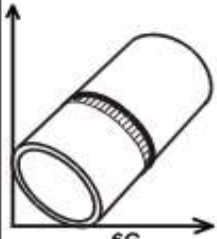
Fuente: (Zarate Monje 2007)

La figura ayuda a responder la siguiente pregunta: ¿Cómo afecta la polaridad el arco eléctrico, el baño de fusión y la penetración del material de aportación?

Esto se debe al sentido de la corriente en el circuito de soldadura DC o AC, es decir, si colocamos la pinza del portaelectrodos en el terminal positivo de la máquina, la corriente fluirá en sentido contrario al del electrodo. En este caso, si ponemos el polo positivo en el borne de tierra, el sentido de la corriente es hacia la fuente. Este flujo en una u otra dirección cambia la forma en que los electrones y los iones cambian las estructuras solubles tanto del material de relleno como del material base.

Posiciones de soldadura

**Tabla 9-2:** Posiciones de soldadura

| <b>UNIONES DE FILETES</b>  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| <br><b>1F</b>  | <br><b>2F</b>  | <br><b>3F</b>  | <br><b>4F</b>  |
| <b>UNIONES BISELADAS</b>   |  |   |  |
| <br><b>1G</b>   | <br><b>2G</b> | <br><b>3G</b>   | <br><b>4G</b> |
| <b>UNIONES DE TUBERIAS</b>   |  |   |  |
| <br>LA TUBERIA SE ROTA<br>MIENTRAS SE SUELDA<br><b>1G</b> | <br><b>2G</b> | <br>LA TUBERIA NO SE<br>ROTA<br>MIENTRAS SE SUELDA<br><b>5G</b> | <br><b>6G</b> |

Fuente: (Sugiyono 2016)



Como se observa en la figura, existen varias posiciones para realizar la soldadura, esto va a depender de qué tipo de elemento se va a soldar, ya sea placa o tubería.

### **2.2.2 Material de aporte**

Dependiendo de la aplicación de las soldaduras, se clasifican como soldadura de aleación y soldadura tipo autógena. La soldadura tipo autógena se realiza sin agregar material mientras que la soldadura de aleación se realiza agregando un metal de aporte. Adicionalmente, la clasificación de la soldadura se puede determinar por la temperatura de fusión que tiene cada uno de los metales de aporte, estos pueden ser soldadura blanda y soldadura fuerte la soldadura blanda tiene como característica principal que el metal de aporte su punto de fusión debe ser inferior a los 450 °C y la soldadura fuerte se usa como metal de aporte metales con un punto de fusión mucho más elevado (Meléndez y Quelal 2009, p. 22).

#### **2.2.2.1 Metales de aporte**

Para seleccionar los materiales de aporte se toma en cuenta la clasificación de acuerdo a las especificaciones dadas por la sociedad americana de soldadura (AWS); y son los siguientes según (Meléndez y Quelal 2009, p. 23):

- Electrodo para soldadura de arco, de acero blando recubierto A5.1
- Varillas de soldadura de hierro y acero para soldar a gas A5.2
- Electrodo de aluminio y aleaciones de aluminio para la soldadura de arco: A5.3
- Electrodo de acero al cromo y al cromo níquel, resistentes a la corrosión y recubiertos: A5.4
- Electrodo para soldadura de arco, de acero con bajo contenido de aleación, recubiertos: A5.5
- Electrodo de cobre y aleaciones de cobre para soldadura de arco: A5.6
- Electrodo de cobre y aleaciones de cobre para soldar: A5.7
- Metal de aporte para soldadura fuerte: A5.8
- Varillas de soldadura y electrodos desnudos de acero al cromo y cromo níquel, resistentes a la corrosión: A5.9
- Varillas de soldadura y electrodos desnudos de aluminio, y aleaciones de aluminio: A5.10
- Electrodo de soldadura de níquel y aleaciones de níquel, recubiertos: A5.11
- Varillas de soldadura y electrodos para recubrimientos superficiales A5.13
- Varillas desnudas de soldadura y electrodos desnudos de níquel y aleaciones de níquel: A5.14
- Varillas de soldadura y electrodos recubiertos para soldar hierro fundido: A5.15
- Varillas desnudas de soldadura y electrodos desnudos de titanio y aleaciones de titanio: A5.16
- Electrodo desnudo de acero blando, y fundente para soldadura de arco sumergido: A5.17

- Electrodo de acero blando para soldadura de arco metálico con gas A5.18
- Varillas de soldadura y electrodos desnudos de aleaciones de magnesio: A5.19
- Electrodo de acero blando para soldadura de arco, con núcleo de fundente: A5.20
- Varillas de soldadura y electrodos compuestos para recubrimientos superficiales: A5.21

#### 2.2.2.2 Parámetros de soldeo

Los parámetros en la soldadura son muy importantes ya que de ello depende la calidad del cordón de soldadura, para ello se busca la mejor combinación de los siguientes parámetros:

Amperaje

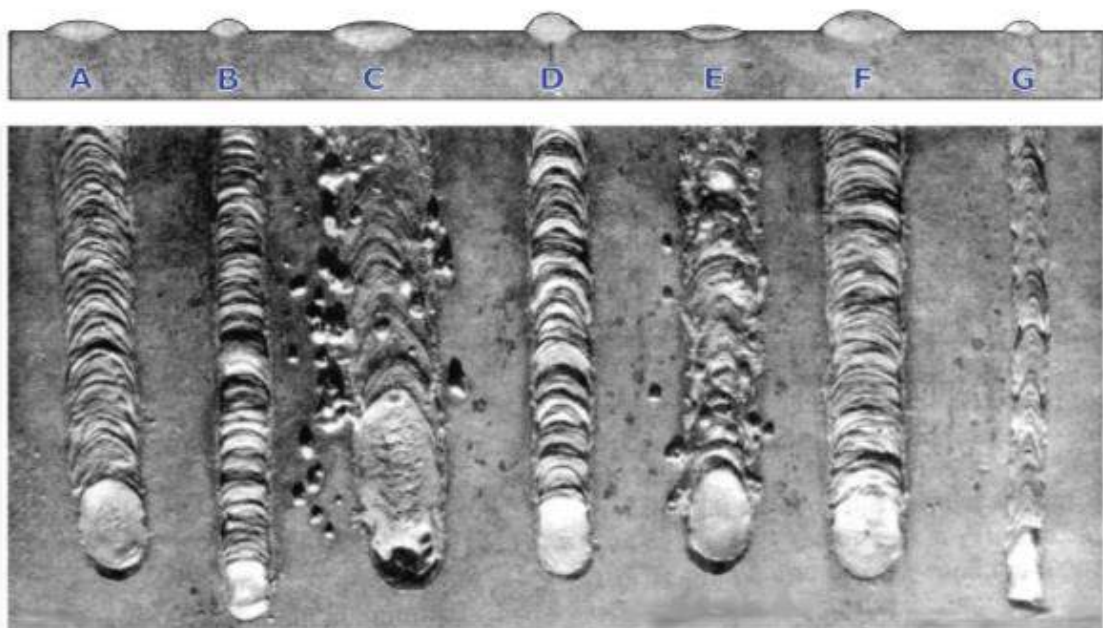
polaridad

Pre calentamiento

Separación entre placas

Electrodos

#### 2.2.3. Cordón de soldadura



**Ilustración 6-2:** Cordón de soldadura

Fuente: (Zarate Monje 2007)

En la fotografía de la Figura 6-2 se observan varias pruebas de soldadura realizadas con distintas corrientes y velocidades de avance. En ella, podemos clasificar a las soldaduras de la siguiente manera, a saber:

- A. Costura correcta con amperaje y velocidad adecuados.
- B. Costura aceptable con amperaje muy bajo.
- C. Costura deficiente por amperaje muy elevado.
- D. Costura aceptable con amperaje muy bajo, ocasionando demasiado aporte metálico.
- E. Costura deficiente con corriente inadecuada.
- F. Costura correcta con muy poca velocidad de avance. Observar que la costura está muy ancha y muy alta.
- G. Costura deficiente con corriente adecuada, pero con velocidad de avance muy elevada.

## **2.3 Normas para los ensayos**

### **2.3.1 *Ensayo de doblado***

En la norma AWS D 1.2 habla sobre el ensayo de dureza la cual servirá para la preparación de probetas y la realización de este ensayo (Villavicencio 2011, p. 87).

### **2.3.2 *Ensayo de tracción***

En la norma INEN 0109 habla sobre el ensayo de tracción la cual servirá para la preparación de probetas y la realización de este ensayo (Villavicencio 2011, p. 87).

### **2.3.3 *Ensayo de dureza***

En la norma ASTM E-10 habla sobre la dureza Brinell la cual servirá para la preparación de probetas y la realización de este ensayo (Villavicencio 2011, p. 88).

### **2.3.4 *Ensayo de metalografía***

Para la realización del ensayo de metalografía los parámetros están bajo la norma ASTM E-3 (Villavicencio 2011, p. 88).

## **2.4 Ensayo de tracción**

### **2.4.1 *Ensayo de tracción, según la norma NTE INEN 0109***

#### **2.4.1.1 *Definiciones***

Para los efectos de esta norma se aplican las siguientes definiciones según (Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) 2009, p. 1)

**Longitud calibrada (L).** Es la longitud de la sección cilíndrica o prismática de la probeta de ensayo en la que se va a medir la elongación en cualquier momento durante el ensayo.

**Longitud calibrada inicial (Lo).** Longitud calibrada antes de la aplicación de la carga.

**Longitud calibrada final (Lu).** Longitud calibrada después de la rotura de la probeta ensayo.

**Longitud paralela (Lc).** Longitud de la sección reducida paralela de la probeta de ensayo  
Elongación. Incremento de la longitud calibrada inicial (Lo) en cualquier instante del ensayo.

**Porcentaje de elongación.** Alargamiento expresado como un porcentaje de la longitud calibrada inicial (Lo).

**Porcentaje de elongación permanente.** Incremento de la longitud calibrada inicial en una probeta de ensayo después de eliminar el esfuerzo especificado), expresado como un porcentaje de la longitud calibrada inicial (Lo).

**Porcentaje de elongación después de la rotura (A).** Elongación permanente de la longitud calibrada inicial después de la rotura ( $L_u - L_o$ ) expresado como un porcentaje de la longitud calibrada inicial (Lo).

**Porcentaje de elongación total a la rotura (At).** Es el alargamiento total (elongación elástica más elongación plástica) de la longitud calibrada en el momento de la rotura, expresado como un porcentaje de la longitud calibrada inicial (Lo).

**Porcentaje de elongación al esfuerzo máximo.** Es el aumento en la longitud calibrada inicial de la probeta cuando la fuerza es máxima, expresado como un porcentaje de la longitud calibrada inicial (Lo) Se hace una distinción entre el porcentaje de elongación total a la carga máxima (Agt) y el porcentaje de elongación no proporcional a la carga máxima (Ag).

**Longitud calibrada del extensómetro (Le).** Longitud de la sección paralela de la probeta de ensayo usada para la medición del alargamiento por medio de un extensómetro.

Se recomienda la medición del límite de fluencia y el esfuerzo de prueba, para el parámetro  $L_e \geq$

$$\frac{L_o}{2}$$

Además, se recomienda que para las medidas de los parámetros durante y después de la fuerza máxima,  $L_e$  será aproximadamente igual a  $L_0$ .

**Extensión.** Incremento de la longitud calibrada ( $L_e$ ) del extensómetro en un momento dado del ensayo.

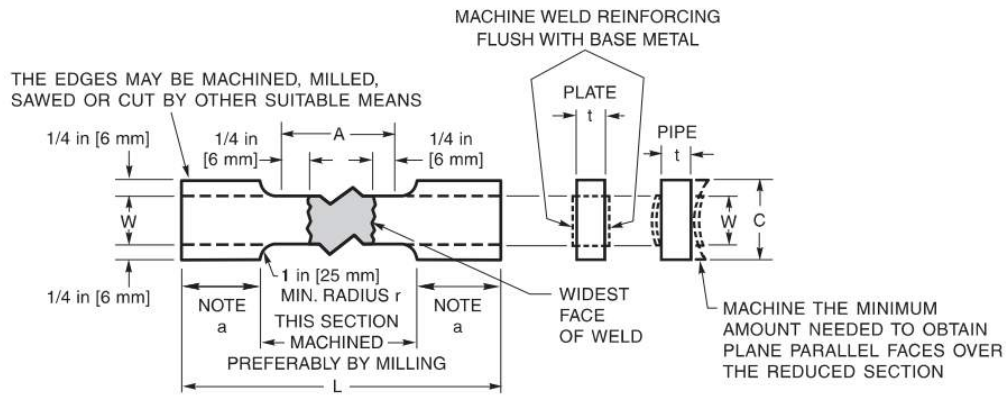
**Tabla 10-2:** Símbolos y designaciones

| Número de Referencia <sup>1)</sup> | Símbolo | Unidades        | Designación   |
|------------------------------------|---------|-----------------|---|
| <b>Probeta</b>                     |         |                 |   |
| 1                                  | $a^2)$  | mm              | Espesor de la probeta de ensayo plana o de la pared de un tubo  |
| 2                                  | $b$     | mm              | Ancho de la longitud paralela de la probeta de ensayo plana o ancho promedio de una tira longitudinal tomada de un tubo o ancho de un alambre plano |
| 3                                  | $d$     | mm              | Diámetro de la longitud paralela de una probeta circular o diámetro de un alambre redondo o diámetro interno de un tubo                             |
| 4                                  | $D$     | mm              | Diámetro externo de un tubo   |
| 5                                  | $L_0$   | mm              | Longitud calibrada inicial  |
| -                                  | $L'_0$  | mm              | Longitud calibrada inicial para determinar $A_g$  |
| 6                                  | $L_c$   | mm              | Longitud paralela   |
| -                                  | $L_e$   | mm              | Longitud calibrada del extensómetro   |
| 7                                  | $L_t$   | mm              | Longitud total de la probeta  |
| 8                                  | $L_u$   | mm              | Longitud final calibrada después de la rotura   |
| -                                  | $L'_u$  | mm              | Longitud calibrada final después de la rotura para determinar $A_g$ (Ver anexo H)   |
| 9                                  | $S_0$   | mm <sup>2</sup> | Área de la sección transversal inicial de la longitud paralela.   |
| 10                                 | $S_u$   | mm <sup>2</sup> | Área mínima de la sección transversal después de la rotura.   |
|                                    | $k$     |                 | Coeficiente de proporcionalidad   |
| 11                                 | $Z$     | %               | Porcentaje de reducción de área<br>$\frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100$   |
| 12                                 | -       | -               | Superficie de agarre de la probeta para las mordazas  |

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) 2009)

#### 2.4.2 Ensayo de tracción, según la norma AWS D1.2

Según la norma AWS D1.2, la probeta debe tener las siguientes dimensiones



**Ilustración 7-2:** Probeta de ensayo a tracción

Fuente: (AWS 2014)

Para poder determinar los valores numéricos de la probeta a ensayar, la norma AWS D1.2 entrega rangos mínimos para que los ensayos sean válidos, los rangos están dados en la tabla.

**Tabla 11-2:** Rangos para la probeta de ensayo a tracción

|  | Dimensions (in)                          |                          |  |   |
|--|--|--------------------------|--|---|
|  | Test Plate                               |                          | Test Pipe  |   |
|  | Thickness $\leq 1$ in                    | Thickness $> 1$ in       | 3 in or Smaller Diameter <sup>a</sup>                      | Greater than 3 in Diameter or Larger Job Size Pipe  |
| A—Length of reduced section                  | Widest face of weld + 1/2 in, 2-1/4 min. |                          | Widest face of weld + 1/2 in                               |   |
| L—Overall length, min. <sup>b</sup>          | As required by testing equipment         |                          | As required by testing equipment                           |   |
| W—Width of reduced section <sup>c,d</sup>    | 1-1/2 in $\pm 0.01$                      | 1 $\pm 0.01$             | 1/2 $\pm 0.01$   | 3/4 $\pm 0.01$                                      |
| C—Width of grip section, min. <sup>d,e</sup> | 2  | 1-1/2                    | 1 approx.  | 1-1/4 approx.                                       |
| t—Specimen thickness                         | Thickness                                | Thickness/n <sup>f</sup> | Maximum possible with plane parallel faces within length A |   |
| r—Radius of fillet, min.                     | 1  | 1                        | 1  | 1   |
|  | Dimensions (mm)                          |                          |  |   |
|  | Test Plate                               |                          | Test Pipe  |   |
|  | Thickness $\leq 25$ mm                   | Thickness $> 25$ mm      | 75 mm or Smaller Diameter <sup>a</sup>                     | Greater than 75 mm Diameter or Larger Job Size Pipe |
| A—Length of reduced section                  | Widest face of weld + 13 mm, 58 min.     |                          | Widest face of weld + 13 mm                                |   |
| L—Overall length, min. <sup>b</sup>          | As required by testing equipment         |                          | As required by testing equipment                           |   |
| W—Width of reduced section <sup>c,d</sup>    | 38 $\pm 0.25$                            | 25 $\pm 0.25$            | 13 $\pm 0.25$  | 19 $\pm 0.25$                                       |
| C—Width of grip section, min. <sup>d,e</sup> | 51                                       | 38                       | 25 approx.   | 32 approx.  |
| t—Specimen thickness                         | Thickness                                | Thickness/n <sup>f</sup> | Maximum possible with plane parallel faces within length A |   |
| r—Radius of fillet, min.                     | 25                                       | 25                       | 25   | 25  |

Fuente:(AWS 2014)

### 2.4.3 Preparación de la probeta

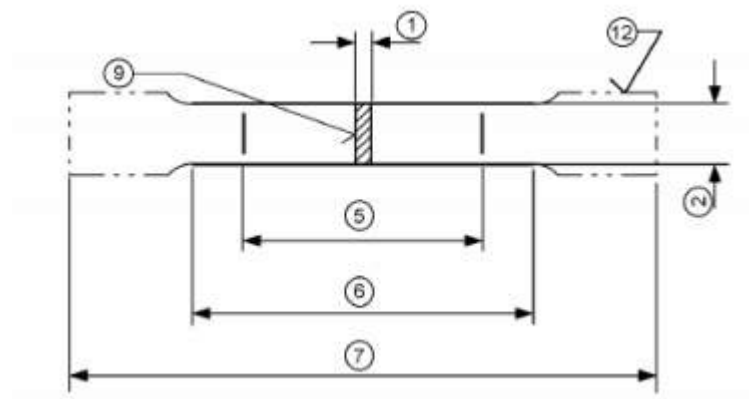
La forma y el tamaño de la muestra dependen de la forma y el tamaño del producto metálico que se muestrea y de las propiedades mecánicas que se miden (Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) 2009, p. 7).

La probeta generalmente se obtiene mediante un maquinado del producto o material que puede ser fundido o estampado, pero se tienen excepciones como es el caso de materiales con una

sección transversal uniforme como son perfiles, barra, alambres, y algunos tipos de fundiciones como las fundiciones de aleaciones ferrosas y las no ferrosas, todas estas pueden ensayarse sin realizar ningún tipo de maquinado (Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) 2009, p. 7).

La sección transversal de las probetas puede ser circular, cuadrada, rectangular, anular o en casos especiales de alguna otra forma.

Las tolerancias dimensionales de las probetas deben estar de acuerdo con los anexos referenciados La probeta por lo general en sus extremos tiene una configuración especial para que se puedan sujetar a las mordazas de la maquina universal. La longitud paralela ( $L_c$ ) se une con los extremos de la probeta gracias a unas curvas que generalmente tienen un radio de por lo menos 20 mm. El ancho de estos extremos debe ser por lo menos de 20 mm y de no más de 40 mm (Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) 2009, p. 7).



**Ilustración 8-2:** Probeta para el ensayo de tracción

**Fuente:** (Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) 2009)

Para las dimensiones de la probeta se detallan los números de la Figura 8-2 en la Tabla 11-2 para que el ensayo sea correcto, con los estándares necesarios.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

En el capítulo 3 se detalla todo lo referente a material, equipos a usar, inspección de soldadura, ensayo de tracción, especificando su proceso y normas a utilizar, para posteriormente realizar el análisis metalográfico de las distintas placas soldadas las cuales son de aluminio grado estructural, específicamente Aluminio 7075-T6.

#### 3.1 Materiales y proceso de soldadura

##### 3.1.1 Metal base

El material base a estudiar es una aleación de aluminio AA7075-T6, el espesor seleccionado fue de 6mm que es el más comercial en el país.

**Tabla 1-3:** Espesores comerciales de lámina de aluminio 7075

| Espesor mm | Dimensión mm | Peso Chapa kg | Aleaciones |      |      |      |      |
|------------|--------------|---------------|------------|------|------|------|------|
|            |              |               | 1050       | 5083 | 5754 | 6082 | 7075 |
| 6,0        | 2000 x 1000  | 33,00         | X          | X    | X    | X    | X    |
| 6,0        | 2500 x 1250  | 51,60         |            | X    | X    |      |      |
| 6,0        | 3000 x 1500  | 75,25         | X          | X    | X    |      |      |
| 6,0        | 3000 x 2000  | 99,00         |            | X    | X    |      |      |
| 6,0        | 3020 x 1520  | 75,74         |            |      |      | X    |      |
| 6,0        | 4000 x 1500  | 99,00         |            | X    | X    |      |      |
| 6,0        | 4000 x 2000  | 132,00        |            | X    | X    |      |      |
| 6,0        | 6000 x 1500  | 148,50        |            | X    | X    |      |      |
| 6,0        | 6000 x 2000  | 198,00        |            | X    | X    |      |      |
| 8,0        | 2000 x 1000  | 44,00         | X          | X    | X    | X    | X    |

Fuente:(Sanmetal 2018)

La composición química teórica que tiene este material se puede observar en la Tabla 6-2, las propiedades mecánicas teóricas están especificadas en la Tabla 7-2, estas características del material son muy importantes ya que con ellas se escoge el material de aportación y el proceso de soldadura más adecuado.

##### 3.1.1.1 Espectrometría por chispa del material base

La espectrometría ayuda a obtener la composición química exacta del material base y poder determinar mediante comparación con valores teóricos si dicho material es realmente el especificado.



Este método tiene como base obtener una chispa entre dos electrodos haciendo que se produzca un plasma de vapor en uno de los electrodos en este caso en el cátodo llegando a una temperatura mayor a los 10000 °K.

### 3.1.2 Soldadura SMAW

#### 3.1.2.1 SMAW

El proceso de soldadura SMAW es de los procesos más utilizados gracias a que no se necesita ningún elemento adicional al material de aporte, al ser necesario una corriente de entre 90 y 110 amperios, la máquina de soldar que se utilizó fue la PROWAR MMA 301 que tiene la capacidad de soportar hasta 300 amperios y un diámetro de electrodo de hasta 5 mm, la máquina de soldar se observa en la Figura 1-3 y sus especificaciones están detalladas en la Tabla 2-3.



**Ilustración 1-3:** Soldadora PROWAR 301

**Realizado por:** Sislema, Edwin, 2023

**Tabla 2-3:** Especificaciones de la soldadora

| <b>Soldadora PROWAR MMA-301</b> |            |
|---------------------------------|------------|
| Voltaje de entrada              | 220 V      |
| Frecuencia de entrada           | 50/60 Hz   |
| Rango de regulación             | 40-300 A   |
| Eficiencia                      | 85%        |
| Grado de protección             | IP23       |
| Diámetro del electrodo          | 1,6-5,0 mm |

**Realizado por:** Sislema, Edwin, 2023

### 3.1.2.2 Selección del electrodo

Para poder seleccionar el electrodo se utilizó la norma AWS 5.3, esta norma muestra los electrodos revestidos que se pueden utilizar en soldadura SMAW de aluminio. El electrodo más comercial en el país es el electrodo E4043.

El electrodo se adquirió en la empresa DISOLOXI, ubicada en la ciudad de Quito, la marca utilizada fue INDUWAR que cuenta con los estándares de la norma AWS 5.3, con un diámetro de 3.2 mm o 1/8 plg.

**Tabla 3-3:** Composición química de electrodos

| Chemical Composition Requirements for Core Wire |                              |                               |     |           |         |      |      |      |        |                |       |                        |
|---|------------------------------|-------------------------------|-----|-----------|---------|------|------|------|--------|----------------|-------|------------------------|
|   |                              | Weight Percent <sup>a,b</sup> |     |           |         |      |      |      |        | Other Elements |       |                        |
| AWS Classification <sup>f</sup>                 | UNS Designation <sup>c</sup> | Si                            | Fe  | Cu        | Mn      | Mg   | Zn   | Ti   | Be     | Each           | Total | Al                     |
| E1100   | A91100                       | (d)                           | (d) | 0.05–0.20 | 0.05    | —    | 0.10 | —    | 0.0008 | 0.05           | 0.15  | 99.00 min <sup>e</sup> |
| E3003   | A93003                       | 0.6                           | 0.7 | 0.05–0.20 | 1.0–1.5 | —    | 0.10 | —    | 0.0008 | 0.05           | 0.15  | Remainder              |
| E4043   | A94043                       | 4.5–6.0                       | 0.8 | 0.30      | 0.05    | 0.05 | 0.10 | 0.20 | 0.0008 | 0.05           | 0.15  | Remainder              |

Fuente:(Society 1998)

El electrodo para soldar aluminio requiere un trato y cuidado especial ya que este no debe estar húmedo, debido a que podría conllevar a tener imperfecciones en el cordón de soldadura, para evitar estos contratiempos se debe calentar el electrodo revestido antes de realizar la soldadura, este calentamiento se realiza en un horno especial para electrodos, la marca del horno utilizada fue ELECTROSEC, la temperatura de este horno esta preajustada a 120°C, los elementos del horno para electrodos se observa en la Figura 2-3 y sus especificaciones están detalladas en la Tabla 2-3.



**Ilustración 2-3:** Termo para electrodos

Fuente:(Society 1998)

**Tabla 4-3:** Características del horno

| <b>Horno ELECTROSEC 51939</b>       |       |
|-------------------------------------|-------|
| Voltaje de entrada                  | 110 V |
| Frecuencia de entrada               | 60 Hz |
| Temperatura de secado (Preajustado) | 120°C |
| Capacidad de almacenamiento         | 7 kg  |
| Certificación                       | ANCE  |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

## 3.1.2.3 Variación de parámetros de soldeo

Los parámetros de soldeo determinados son, la polaridad, la variación de amperaje y la separación entre placas, como se observa en la Tabla 5-3.

**Tabla 5-3:** Parámetros de soldadura

| <b>Parámetros</b>            |                  |                     |                                     |
|------------------------------|------------------|---------------------|-------------------------------------|
| <b>Electrodo</b>             | <b>polaridad</b> | <b>Amperaje (A)</b> | <b>Separación entre placas (mm)</b> |
| E4043                        | Directa          | 95                  | 2                                   |
|                              |                  |                     | 3                                   |
|                              |                  | 100                 | 2                                   |
|                              |                  |                     | 3                                   |
|                              | Inversa          | 95                  | 3                                   |
|                              |                  |                     | 2                                   |
|                              |                  | 100                 | 3                                   |
|                              |                  |                     | 2                                   |
|                              | C/A              | 95                  | 2                                   |
|                              |                  |                     | 3                                   |
|                              |                  | 100                 | 2                                   |
|                              |                  |                     | 3                                   |
| <b>Total placas soldadas</b> |                  |                     | <b>11</b>                           |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

Existen varias posiciones de soldeo como se observa en la Tabla 9-2, para la soldadura con electrodo E4043 solo se la puede realizar en posición plana es decir 1G porque dicho electrodo este fabricado para ser soldado solo en esta posición como se observa en la Tabla 6-3.

**Tabla 6-3:** Posición de Soldadura

| <b>Especificación</b>        | <b>Clasificación AWS</b> | <b>Diámetro (mm)</b> | <b>longitud (mm)</b> | <b>Amperaje recomendado (A)</b> | <b>posición para soldar</b> |
|------------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Electrodo revestido AWS A5.3 | E4043                    | 3.2                  | 350                  | 90-120                          | Plana                       |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

### *3.1.2.2 Equipos de protección personal*

Cada uno de los cordones de soldadura se realizó siguiendo las recomendaciones de la norma ANSI Z49.1 denominada “Seguridad en soldadura”, con la finalidad de dar la seguridad necesaria al soldador durante el soldeo de cupones, para lo cual se utilizaron los siguientes Equipos de Protección Personal (EPP):

Careta para la protección tanto de los ojos como del rostro, ya que se producen chispas a lo largo del soldeo, además se debe proteger de la intensa luminosidad inherente al proceso de soldadura SMAW.

Mascarillas con filtros especiales que protejan de las partículas producidas por el proceso de limpieza de los cupones y por la el proceso de soldadura, ya que, en la preparación de cupones, la alúmina será eliminada mediante métodos mecánicos y se producirán partículas que van a quedar suspendidas en el ambiente, y el soldador podría inhalarlos provocando problemas de la salud a largo y mediano plazo.

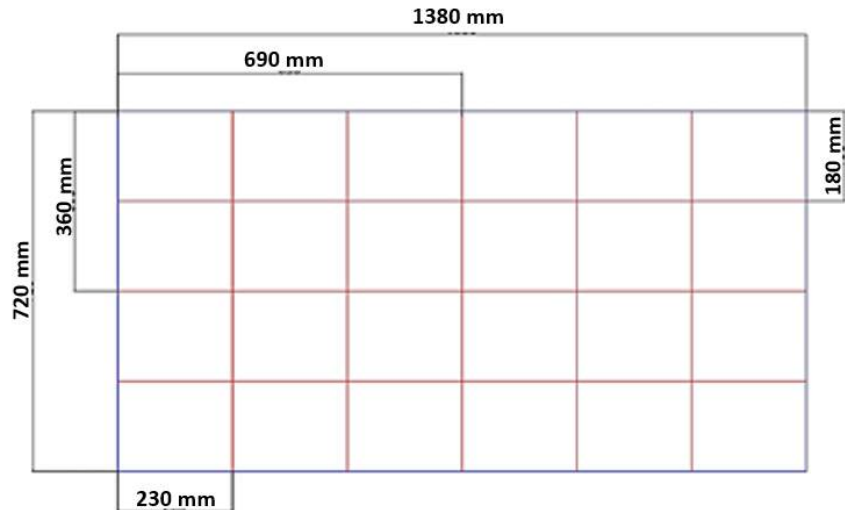
Ropas de seguridad de algodón con mangas largas, debido a presencia de chispas que pueden impactar contra la piel causando lesiones; además, como protección contra la radiación ultravioleta.

### **3.1.3 Preparación de placa a soldar**

#### **3.1.3.1 Corte por chorro de agua**

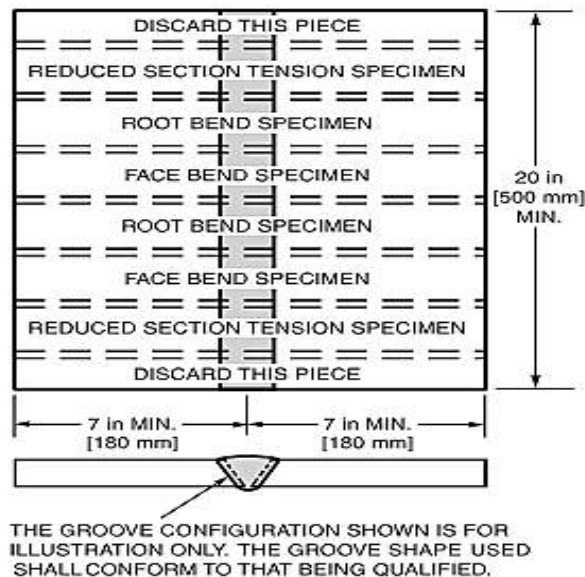
La norma AWS D1.2 detalla las medidas de cada una de las placas para ser soldadas, las medidas son de 180mm x 230mm para cada placa y esta se observa en la Figura 4-3, en la Figura 3-3 están las dimensiones totales del material adquirido que tiene 720mm x 1380mm con un espesor de 6mm, y se establece la distribución a lo largo de la plancha para que se realice el corte.

El corte por chorro de agua se lo realizo en la ciudad de Quito en la empresa SAPTEC, este tipo de corte se maneja mediante una programación CNC, las ventajas de este proceso son: al ser programadas tienen una excelente precisión y debido a que utiliza agua para el corte el material no se afecta térmicamente ni cambiara la composición que tiene el material base.



**Ilustración 3-3:** División de la plancha de aluminio 7075

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023



**PLATES THROUGH 3/8 in [10 mm]—WPS QUALIFICATION**

**Ilustración 4-3:** Dimensiones de la placa según la norma AWS D1.2

Fuente: (AWS 2014)

### 3.1.3.2 Ranurado de las placas

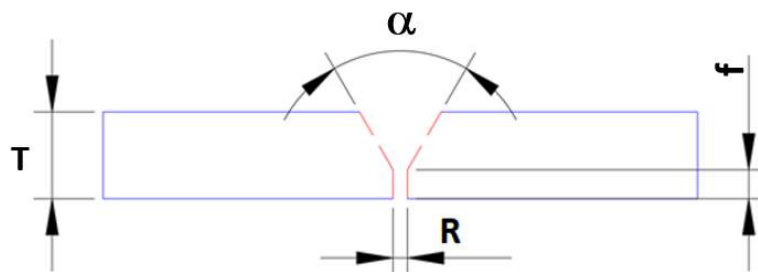
La Tabla 7-3 extraída de la norma AWS D1.2, se indica cual es el tipo de ranura que necesita, en este caso es una ranura en V simple, la abertura de la raíz va a variar entre 2mm y 3mm y el ángulo de la ranura será de 60°, la cara de la raíz tiene un valor de 2mm.

**Tabla 7-3:** Rangos de valores para el filete

| Soldadura de ranura en V simple (2)<br>Junta a tope (B) |                             |   |                          |                         |                  | Equipar Tolerancias     |            |
|---|-----------------------------|---|--------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------|
|   |                             |   |                          |                         |                  | R                       | ± 2        |
|   |                             |   |                          |                         |                  | F                       | ± 2        |
|   |                             |   |                          |                         |                  | $\alpha + \beta$        | + 10°, -5° |
| Soldadura<br>Proceso                                    | Articulación<br>Designación | Espesor del metal base<br>(U = ilimitado) | Preparación de la ranura |                         |                  | Posiciones de soldadura | Notas      |
|   |                             |   | T1                       | Apertura de raíz<br>(R) | Cara raíz<br>(F) |                         |            |
| GMAW  | B-U2b                       | ≤ 25                                      | 0 a 3                    | 2 a 3                   | 60°              | Todas                   | 1, 3       |
|   |                             | > 25                                      | 0 a 3                    | 1/8 T1                  | 60°              |                         |            |
| GTAW  | B-L2b                       | 13 máx.                                   | 0 a 3                    | 2 a 3                   | 60°              | Todas                   | 1          |

Fuente: (AWS 2014)

La figura 5-3 muestra las dimensiones de la junta que esta diseñada para todas las placas que van a ser realizadas el cordón de soldadura, en la Tabla 8-3 se detalla los valores de la junta en donde, (T) es el espesor, (R) es la abertura de la raíz, (f) es la cara de la raíz y ( $\alpha$ ) es el ángulo de ranura.



**Ilustración 5-3:** Dimensiones de la junta según la norma AWS D1.2

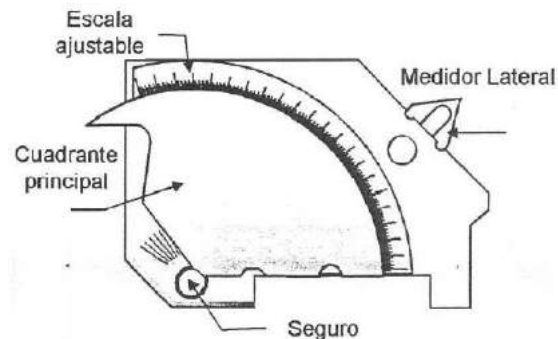
Realizado por: Sisema, Edwin, 2023

**Tabla 8-3:** Valores para el filete

|          |          |
|----------|----------|
| T        | 6mm      |
| R        | variable |
| f        | 2mm      |
| $\alpha$ | 60°      |
| Posición | 1G       |

Realizado por: Sisema, Edwin, 2023

Para medición del ángulo del bisel se utilizó una galga de inspección de soldadura MG-8 universal, la Figura 6-3 muestra un esquema de cómo está conformada la galga o calibrador de soldadura para poder identificar cada una de sus partes.



**Ilustración 6-3:** Galga de inspección de soldadura

Realizado por: Sisema, Edwin, 2023

Para la medición del ángulo del bisel se procede a girar el cuadrante principal hasta que la parte recta de este quede paralelo al bisel, en la Figura se observa que el bisel tiene un ángulo de  $30^\circ$  que al sumar con los  $30^\circ$  del bisel de la segunda placa da como resultado los  $60^\circ$  que debe tener el ángulo de filete, las placas con los biseles terminados se aprecian en la Figura 7-3.



**Ilustración 7-3:** Angulo del bisel

Realizado por: Sisema, Edwin, 2023

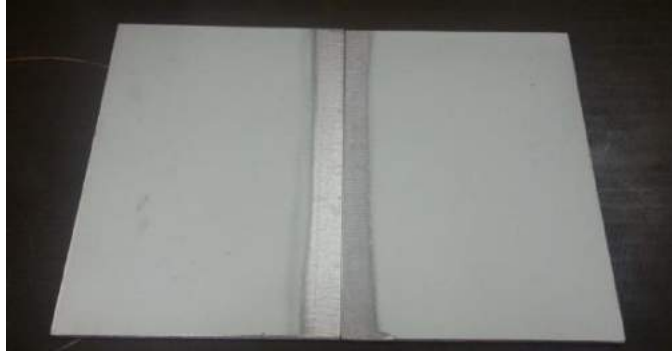


**Ilustración 8-3:** Bisel de las placas

Realizado por: Sisema, Edwin, 2023

### 3.1.3.3 Limpieza de las placas

Las placas una vez realizadas la ranura según la norma AWS D1.2, se debe limpiar con un cepillo de alambre de acero inoxidable ya que el aluminio posee oxido de aluminio o también llamado alúmina que al momento de adherirse al material a soldar provoquen imperfecciones en el cordón de soldadura.



**Ilustración 9-3:** Placa realizada la limpieza del área a soldar

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

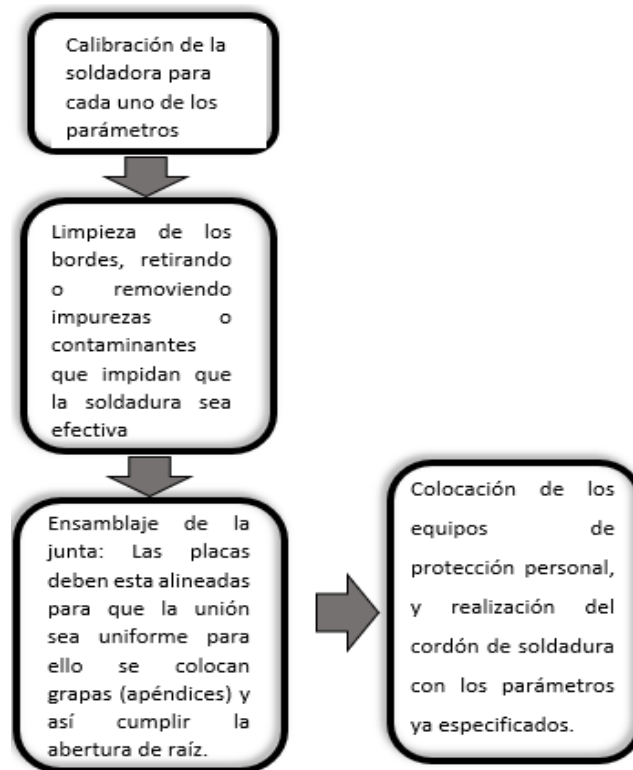
### 3.1.5 Juntas Soldadas

Para la soldadura de las placas de aluminio se procedió con la calibración de cada uno de los parámetros ya determinados en la Tabla 5.3. La soldadura se realizó con un proceso SMAW en el cual intervienen los dos tipos de corriente los cuales son corriente alterna y corriente continua.

#### 3.1.4.1 Proceso de soldadura

El proceso para la soldadura fue el siguiente:





**Ilustración 10-3:** Proceso de soldadura

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

### 3.1.4.2 Codificación de las placas

La codificación de las placas es muy importante para el posterior análisis, ya que este ayuda a identificar los parámetros con los cuales está cada placa, tal y como se muestra en la Tabla 9-3.

**Tabla 9-3:** Codificación

| Corriente | Polaridad | Amperaje (A) | Separación entre placas (mm) | Designación |
|-----------|-----------|--------------|------------------------------|-------------|
| Continua  | Directa   | 95           | 2                            | CC-PD-95-2  |
| Continua  | Directa   | 95           | 3                            | CC-PD-95-3  |
| Continua  | Directa   | 100          | 2                            | CC-PD-100-2 |
| Continua  | Directa   | 100          | 3                            | CC-PD-100-3 |
| Continua  | Inversa   | 95           | 3                            | CC-PI-95-3  |
| Continua  | Inversa   | 100          | 2                            | CC-PI-100-2 |
| Continua  | Inversa   | 100          | 3                            | CC-PI-100-3 |
| Alterna   | X         | 95           | 2                            | CA-X-95-2   |
| Alterna   | X         | 95           | 3                            | CA-X-95-3   |
| Alterna   | X         | 100          | 2                            | CA-X-100-2  |
| Alterna   | X         | 100          | 3                            | CA-X-100-3  |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

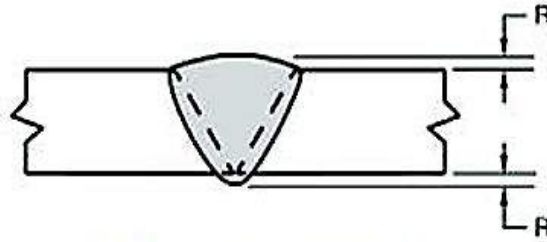
## **3.2 Inspección de las placas**

Una vez obtenidas las placas soldadas y codificadas, con la norma AWS D1.2 se realiza una inspección denominada NDT (Nondestructive testing), que se divide en dos inspecciones, las cuales son una inspección visual y una inspección por ultrasonido. Estas inspecciones a las placas se lo realizan antes de cualquier ensayo destructivo para controlar que cumplan los requerimientos mínimos cada uno de los cordones.

### **3.2.1 Inspección visual**

Para este tipo de inspección se basan algunos criterios de aceptación los cuales están descritos en la norma AWS D1.2/D1.2 M sección 3.6.2, las cuales se detallan a continuación:

1. Tanto la superficie de la cara como la de la raíz deben estar libres de grietas.
2. Todos los cráteres deberán llenarse hasta la sección transversal completa de la soldadura.
3. Los bordes de la soldadura deberán mezclarse suavemente con el metal base.
4. El relleno no debe exceder 0,01 pulgadas [0,25 mm].
5. La raíz deberá mostrar (a) fusión completa para soldaduras de ranura CJP, o (b) penetración igual o mayor que el tamaño de soldadura especificado para soldaduras de ranura PJP.
6. La fusión máxima en soldaduras de ranura en tuberías o tubos no debe exceder 1/8 de pulgada [3 mm].
7. La concavidad de la raíz no deberá exceder 1/16 pulgadas [2mm].
8. El espesor total de la soldadura deberá ser igual o mayor que el espesor del metal base, pero el refuerzo de la soldadura no deberá exceder el valor indicado en la Figura 11-3.



REFUERZO MÁXIMO PARA UNA JUNTA DE ESPESOR DE PLACA DADA - SOLDADA DESDE UN LADO

| ESPESOR, t         |                  | MÁXIMO REFUERZO |    |
|--------------------|------------------|-----------------|----|
| in                 | mm               | in              | mm |
| $t \leq 1/4$       | $t \leq 6$       | 3/32            | 2  |
| $1/4 < t \leq 1/2$ | $6 < t \leq 13$  | 1/8             | 3  |
| $1/2 < t \leq 1$   | $13 < t \leq 25$ | 5/32            | 4  |
| $t > 1$            | $t > 25$         | 3/16            | 5  |

**Ilustración 11-3:** Criterio de soldadura

Fuente: (AWS 2014)

### 3.2.2 Ultrasonido

Se realizó el ensayo de ultrasonido para determinar las discontinuidades internas que pueda tener la junta soldada, la norma AWS D1.2/D1.2 M sección 5.13 no indica una norma específica para realizar el ultrasonido por lo cual este ensayo se realizó basándose en la norma ASME.

El ensayo se lo realizo en la ciudad de Quito, en la empresa llamada SINDES.

La norma que utilizo esta empresa fue la ASME BPVC.IX-2022 / Welding, Brazing, and Fusing Qualifications.

Para el ensayo se utilizó un equipo de ultrasonido cuyo modelo es OLYMPUS - OMNISCAN SX - N/S: QC-001136, el personal que realizo este ensayo tiene una certificación SNT-TC-1 Nivel 2 que es el óptimo para realizar el ultrasonido y así mismo interpretar los resultados, el análisis determinara el tipo de discontinuidades que pueda tener cada uno de los cordones de soldadura.

El equipo se muestra en la Figura 12-3 y sus características en la Tabla 10-3.



**Ilustración 12-3:** Equipo de ultrasonido

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

**Tabla 10-3:** Equipo de ultrasonido

|                           |                                       |
|---------------------------|---------------------------------------|
| <b>Modelo</b>             | OLYMPUS - OMNISCAN SX -N/S: QC-001136 |
| <b>Velocidad [m/s]</b>    | 3227,9                                |
| <b>Rango [mm]</b>         | 19,78                                 |
| <b>Bloque calibración</b> | IIW-Tipo 1                            |
| <b>Ultima calibración</b> | 9/12/2022                             |
| <b>Ganancia [dB]</b>      | 23,72                                 |
| <b>Modo</b>               | PE (Pulse-Echo)                       |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

### 3.3 Análisis metalográfico

Los ensayos metalográficos se realizaron con un microscopio óptico Buehler Ltd que posee lentes objetivos de 5x, 10x, 20x, 50x, este equipo pertenece al laboratorio de materiales de la facultad de mecánica de la ESPOCH, la Figura 13-3 se observa el microscopio y en la Tabla 11-3 sus características.



**Ilustración 13-3:** Microscopio

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

**Tabla 11-3:** Microscopio

|                                  |                        |
|----------------------------------|------------------------|
| <b>Modelo</b>                    | BUEHLER B-<br>IMM21408 |
| <b>Voltaje de funcionamiento</b> | 110                    |
| <b>Ampliaciones</b>              | 100X-200X-500X         |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

El microscopio SEM (Scanning Electron Microscope) marca Jeol se utilizó para determinar cuál es la composición química mediante EDS, este equipo se puede observar en la Figura 14-3, sus características en la Tabla 12-3.



**Ilustración 14-3:** SEM

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

**Tabla 12-3:** SEM

|   |   |
|---|---|
| <b>Modelo</b>                                   | JEOL JSM-IT100  |
| <b>Tipo</b>                                     | Electrónico de barrido  |
| <b>Resolución</b>                               | Modo HV: 3 nm (30 kV *1) 4 nm (20 kV), 8 nm (3 kV) 15 nm (1 kV)<br>Modo LV *2: 4 nm (30 kV *1) 5 nm(20kV) |
| <b>Aumento</b>                                  | x5 a x300,000 (en un tamaño de imagen de 128 mm a 96 mm)  |
| <b>Rango de ajuste de presión de vacío bajo</b> | 10 a 100 Pa   |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

### 3.3.1 Preparación de muestras para metalografía

La preparación de las muestras para analizar en los microscopios se realizó mediante los siguientes pasos determinados por la norma ASTM E3-11(2017):

1. Para la preparación de la superficie a analizar se utilizó el método manual, la norma ASTM E3-11(2017) detalla que se debe ir variando el tamaño de grano de la lija, iniciando con una lija de grano 120, después con lijas con tamaño de grano 240, 320, 600, hasta llegar a un tamaño de grano 1000.
2. El lijado se realiza moviendo la muestra de arriba hacia abajo para tener un desgaste uniforme, adicionalmente se debe ir girando la muestra con un ángulo de 90° en cada giro.
3. Una vez lijadas y sin ningún tipo de rayón se procede a colocar en la pulidora y con la ayuda de alúmina con un tamaño de grano de 1  $\mu\text{m}$  se deja la superficie tipo espejo.
4. Limpiar la superficie pulida con removedor de óxidos.
5. Según la norma ASTM E407 nos indica que el ataque químico para este tipo de material es el Keller (2 ml de HF + 3ml de HCL + 5 ml de HNO<sub>3</sub> + 190 ml de H<sub>2</sub>O), con una pipeta se coloca 1 ml en la superficie pulida dejándola por 5 segundos.
6. Limpiar con agua la superficie atacada y secarla.
7. Una vez atacada y seca la muestra, está lista para colocar en el microscopio para su posterior análisis.



**Ilustración 15-3:** Probeta pulida

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

### **3.4 Ensayos destructivos**

Los ensayos destructivos están determinados ya en la norma que es la AWS D1.2/D1.2 M: 2014, en esta investigación se realizó los ensayos de tracción para determinar cuál es la resistencia mecánica que tienen estas juntas soldadas.

Los ensayos de tracción se realizaron en la ciudad de Ambato en la empresa Centro de fomento productivo metalmecánico carroceros.

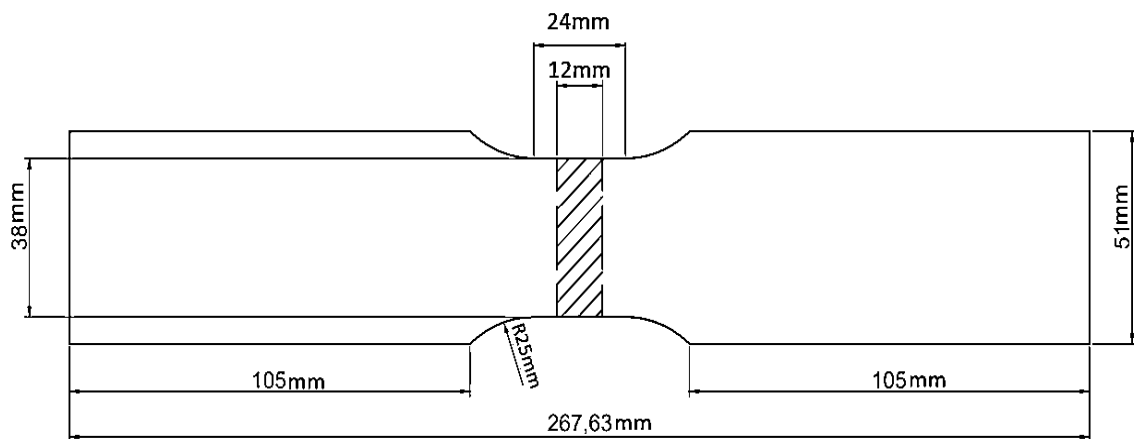
#### **3.4.1 Ensayo de tracción**

Este ensayo, también denominado ensayo de tracción de sección reducida se lo realizó basándose en la norma AWS D1.2/D1.2 M: 2014, en esta norma se indican los parámetros y dimensiones

necesarias para que el ensayo sea válido, así también el número de probetas que se especifica son 2 por cada placa soldada.

#### 3.4.1.1 *Probetas*

Las dimensiones de las probetas fueron determinadas mediante la guía que entrega las norma AWS D1.2/D1.2 M: 2014, las dimensiones obtenidas se pueden observar en la Figura 16-3, estas dimensiones son únicamente para ensayos de tracción en sección reducida.



**Ilustración 16-3:** Probeta dimensionada

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

#### 3.4.1.1 *Equipo para ensayos de tracción*

El ensayo de tracción se realizó en la ciudad de Ambato específicamente en el “CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO CARROCERO DE TUNGURAHUA”, el equipo para ensayos de tracción que se utilizó es, una maquina universal marca Metrotec modelo STH-1500, este equipo entrega una carga máxima de 1500 KN, los valores entregados al momento de realizar el ensayo de tracción son: carga aplicada y elongación, estos valores son importantes en la ingeniería porque con ellos se realiza el grafico esfuerzo vs deformación que sirve para entender como se comporta el material antes de producirse la fractura, la maquina se puede observar en la Figura 14-3 y sus características en la Tabla 13-3.



**Ilustración 17-3:** Maquina Universal

Realizado por: Sisema, Edwin, 2023

**Tabla 13-3:** Maquina universal

|                           |                                |
|---------------------------|--------------------------------|
| <b>Modelo</b>             | Metro test1500 KN STH-1500 S/C |
| <b>Precarga [N]</b>       | 1000                           |
| <b>Fuerza máxima [KN]</b> | 1500                           |
| <b>Velocidad [mm/min]</b> | 5                              |

Realizado por: Sisema, Edwin, 2023

### 3.5 Costos

Los costos totales de esta investigación se dividen en dos grupos que son, costos directos y costos indirectos que sirven para poder visualizar la magnitud económica que conlleva realizar esta investigación.



### 3.5.1 Costos directos

**Tabla 14-3:** Material

| DESCRIPCIÓN                             | COSTO (\$)    |
|---|---------------|
| Plancha de aluminio 7075-T6 1500x750 mm | 600.00        |
| Electrodos 1Kg                          | 100.00        |
| Discos de corte                         | 10.00         |
| Cepillo de acero inoxidable             | 6.00          |
| Elementos de protección                 | 30.00         |
| <b>TOTAL</b>                            | <b>746.00</b> |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

**Tabla 15-3:** Alquiler

| DESCRIPCIÓN              | COSTO (\$)    |
|--------------------------|---------------|
| Alquiler de la soldadora | 80.00         |
| Alquiler de amoladora    | 30.00         |
| Alquiler del taller      | 20.00         |
| <b>TOTAL</b>             | <b>130.00</b> |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

**Tabla 16-3:** Mano de obra

| DESCRIPCIÓN                             | COSTO (\$)     |
|---|----------------|
| Soldador calificado                     | 352.00         |
| Corte de la plancha                     | 80.00          |
| Maquinado de las probetas para tracción | 100.00         |
| Ensayos de tracción                     | 370.00         |
| Ensayos de ultrasonido                  | 110.00         |
| <b>TOTAL</b>                            | <b>1072.00</b> |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

**Tabla 17-3:** Viajes

| DESCRIPCIÓN                | COSTO (\$)    |
|----------------------------|---------------|
| Viajes dentro de la ciudad | 20.00         |
| Viajes fuera de la ciudad  | 150.00        |
| <b>TOTAL</b>               | <b>170.00</b> |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

### 3.5.2 Costos indirectos

**Tabla 18-3:** Costos indirectos

| DESCRIPCIÓN  | COSTO (\$)   |
|--------------|--------------|
| Imprevistos  | 50.00        |
| <b>TOTAL</b> | <b>50.00</b> |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

### 3.5.1 Costo total

**Tabla 19-3:** Costos Totales

| DESCRIPCIÓN       | COSTO (\$)     |
|-------------------|----------------|
| Costos directos   | 2118.00        |
| Costos indirectos | 50.00          |
| <b>TOTAL</b>      | <b>2168.00</b> |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

Este capítulo se basa en analizar los resultados obtenidos a lo largo de la investigación tanto en las juntas soldadas como en el material base, y con ello determinar si los objetivos planteados se cumplieron en su totalidad.

#### 4.1 Material base

##### 4.1.1 Espectrometría por chispa del material base

**Tabla 1-4:** Composición química del material base

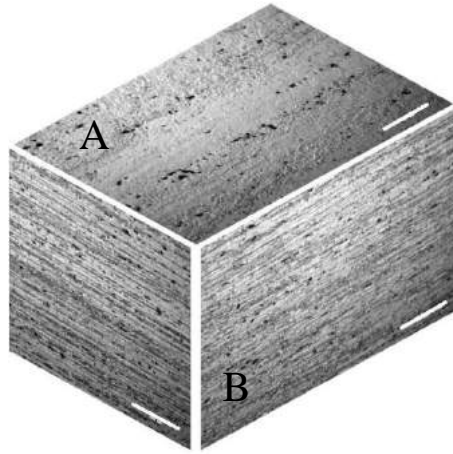
|               |               |               |               |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Si [%]</b> | <b>Fe [%]</b> | <b>Cu [%]</b> | <b>Mn [%]</b> | <b>Mg [%]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

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

Al momento de comparar la Tabla 1-4 con la Tabla 6-2 se puede observar ligeras variaciones en los valores de silicio, de hierro, de cobre y de zinc, esto se debe por varios factores, pero principalmente al momento de fundir no se colocan las cantidades exactas y provocan esta pequeña variación, al analizar todo esto se determinó que el material efectivamente cumple con los valores que corresponde al aluminio 7075-T6.

##### 4.1.2 Metalografía del metal base

Al momento de observar la microestructura de la muestra de aluminio se debe especificar qué cara se va a analizar, como se observa en la Figura 1-4 la cara A y la cara B tienen diferentes microestructuras esto se debe a que la cara B depende del proceso que se realizó para obtener este material y la cara A depende del tratamiento térmico que se le haya realizado. Este material en específico fue laminado y su tratamiento térmico fue un T6.



**Ilustración 1-4:** Vista isométrica de una plancha 7075-T6

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023



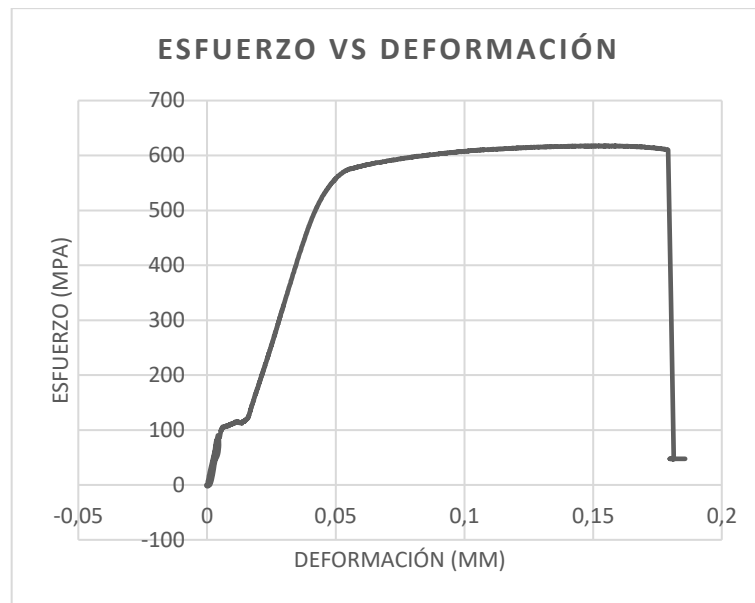
**Ilustración 2-4:** Plancha 7075 T6 (A) vista superior, (B) vista lateral a 500X

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

Como se observa en la Ilustración 2-4, en las metalografías la imagen A corresponde a la cara superior de la placa analizada, mientras que la B corresponde la cara lateral el cual se observa claramente las líneas horizontales que presenta debido a la laminación del material, esta imagen también es el punto de partida ya que en esa cara es en donde se realizan los cordones de soldadura de las placas a analizar y se va a apreciar cómo cambia debido a la soldadura.

#### 4.1.3 *Tracción del metal base*

Mediante el ensayo de tracción se pudo determinar la curva de esfuerzo vs deformación del metal base (7075-T6), el cual arrojó el resultado de una resistencia última a la tensión de 613,28 MPa, -este valor se asemeja al valor teórico que está determinado en la Tabla 7-2, a continuación, se observa en el Gráfico 1-4 los resultados obtenidos.



**Ilustración 3-4:** Gráfica esfuerzo vs deformación de placa base

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023












## 4.2 Juntas soldadas

Para el proceso de soldadura se determinaron los siguientes parámetros: el tipo de corriente a emplear, la polaridad, el amperaje y abertura de raíz, que son determinantes para el resultado final de los cordones.

Al trabajar con corriente continua se soldaron con dos polaridades diferentes unas con polaridad directa y otros con polaridad inversa, en los cuales se puede observar que las placas soldadas con polaridad directa tienen un mejor aspecto visual que las soldadas con polaridad inversa, ya que con la polaridad inversa provoca que se produzcan salpicadura y el material de aporte se esparza en lugares en donde no se necesita soldadura y así el consumo del mismo aporte aumenta para cada placa y se necesite más electrodos para la misma longitud del cordón que en la polaridad directa, los cordones se pueden observar en la Tabla 2-4 .

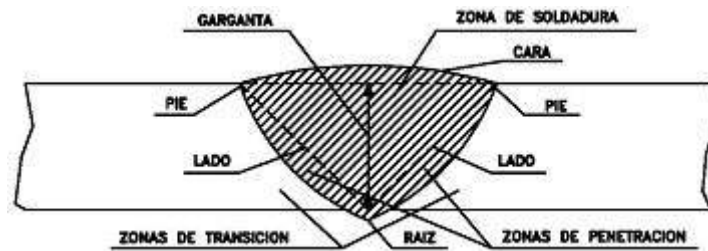
Con respecto a la corriente alterna el cordón que se obtuvo visualmente no fue tan bueno, pero con respecto al consumo de electrodo y penetración los resultados fueron aceptables, las juntas soldadas se pueden observar en la Tabla 2-4.

**Tabla 2-4:** Placas soldadas

| Designación                           | Cordón de soldadura   |  |
|---------------------------------------|---|--|
| <p>CC-PD-95-2</p> <p>CC-PD-95-3</p>   |    |    |
| <p>CC-PD-100-2</p> <p>CC-PD-100-3</p> |    |    |
| <p>CC-PI-95-3</p>                     |  |  |
| <p>CC-PI-100-2</p> <p>CC-PI-100-3</p> |  |  |
| <p>CA-X-95-2</p> <p>CA-X-95-3</p>     |  |  |
| <p>CA-X-100-2</p> <p>CA-X-100-3</p>   |  |  |

Realizado por: Sisema, Edwin, 2023

#### 4.2.1 Inspección visual



**Ilustración 4-4:** Partes de un cordón de soldadura

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

La inspección visual se realiza mediante los criterios ya mencionados de la norma AWS D1.2/D1.2 M sección 3.6.2, la inspección lo realizó el personal calificado que posee una certificación “VISUAL TESTING LEVEL II”, todas las probetas fueron medidas mediante un calibrador, el cual tuvo como resultado que el alto de la cara de todos están dentro del rango excepto la probeta CC-PD-95-2 la cual tiene un tramo en donde sobrepasa el criterio establecido el cual tiene una altura de 4 mm, con respecto al alto de la raíz todas las probetas cumplen con el rango establecido que establece que no debe superar los 2 mm.






Otro de los criterios importantes para que la probeta pase la inspección visual es que no debe haber ningún tipo de grietas tanto en la raíz como en el relleno, como se observa en la Tabla 2-4 la mayoría de placas soldadas cumplen este parámetro, pero hay 4 placas que no lo hacen, estas son, CC-PD-100-3, CC-PI-95-3, CC-PI-100-3 y la placa CA-X-95-3, En la Tabla 3-4 se detalla la ubicación y el tamaño de las grietas de las placas no aprobadas.

**Tabla 3-4:** Grietas

| Designación | Ubicación (mm) eje Y | tamaño de las grietas (mm) |
|-------------|----------------------|----------------------------|
| CC-PD-100-3 | 105                  | 3                          |
| CC-PI-95-3  | 60                   | 4                          |
| CC-PI-100-3 | 80                   | 3                          |
| CA-X-95-3   | 65                   | 3                          |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

**Tabla 4-4:** Vista de la sección de soldadura

| Designación                    | Cordón de soldadura  |
|--------------------------------|--|
| CC-PD-95-2<br><br>CC-PD-95-3   |    |
| CC-PD-100-2<br><br>CC-PD-100-3 |    |
| CC-PI-95-3                     |    |
| CC-PI-100-2<br><br>CC-PI-100-3 |  |
| CA-X-95-2<br><br>CA-X-95-3     |  |
| CA-X-100-2<br><br>CA-X-100-3   |  |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

En la Tabla 4-4 se puede observar el cómo todas las probetas tienen porosidades por lo cual visualmente ninguna de estas probetas pasa la inspección, lo que indica que bajo ningún parámetro analizado se pudo obtener una correcta soldadura, las causas para que este tipo de imperfecciones se produzcan son, la contaminación que se da en el aluminio al estar en contacto con el oxígeno produciendo que se genere una capa de alúmina (óxido de aluminio) y así producir poros dentro del cordón de soldadura.



## 4.2.2 Ultrasonido

| 4. REGISTRO DE INSPECCIÓN |                            |                         |                          |                  |              |   |       |                         |                          |                    |                  |               |                     |                 |            |     |       |          |            |     |
|---------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------|--------------|---|-------|-------------------------|--------------------------|--------------------|------------------|---------------|---------------------|-----------------|------------|-----|-------|----------|------------|-----|
| N° DIBUJO:                |                            | No aplica               |                          |                  |              | DIAMETRO TUBERÍA / ESPESOR: PLACA : 6mm |       |                         |                          |                    |                  |               |                     |                 |            |     |       |          |            |     |
| ITEM                      | DESCRIPCIÓN                | ESPECIFICACIÓN DE JUNTA |                          |                  |              | INSPECCIÓN                              |       |                         | DISCONTINUIDADES         |                    |                  |               | REINSPECCIÓN        |                 |            |     |       |          |            |     |
|                           |                            | JUNTA                   | DIÁMETRO NOMINAL (pulg.) | TUBO / ACCESORIO | No. DE JUNTA | SOLDADORES                              | FECHA | SENTIDO DE BARRIDO (mm) | LONGITUD DE BARRIDO (mm) | ARCHIVO DE BARRIDO | PROFUNDIDAD (mm) | LONGITUD (mm) | UBICACIÓN en X (mm) | CARACTERIZACIÓN | RESULTADOS |     | FECHA | SOLDADOR | RESULTADOS |     |
|                           |                            |                         |                          |                  |              |   |       |                         |                          |                    |                  |               |                     | ACEPTADA        | RECHAZADA  |     |       | ACEPTADA | RECHAZADA  |     |
| 1                         | CUPÓN DE PRUEBA CA-X-100-3 | NA                      | LADO A                   | PC1-A            | -            | 2022-01-06                              | 0-230 | 230                     | LA-CA-X-100-3            | ...                | ...              | ...           | ...                 | X               | ...        | ... | ...   | ...      | ...        | ... |
|                           |                            | NA                      | LADO B                   | PC1-B            | -            | 2022-01-06                              | 0-230 | 230                     | LB-CA-X-100-3            | 3                  | 10               | 35            | IF                  |                 | X          | ... | ...   | ...      | ...        | ... |
|                           |                            |                         |                          |                  |              |   |       |                         |                          | 5                  | 10               | 110           | IF                  |                 | X          | ... | ...   | ...      | ...        | ... |
|                           |                            |                         |                          |                  |              |   |       |                         |                          | 2                  | 10               | 110           | IF                  |                 | X          | ... | ...   | ...      | ...        | ... |
|                           |                            |                         |                          |                  |              |   |       |                         | 2                        | 40                 | 200              | IF            |                     | X               | ...        | ... | ...   | ...      | ...        |     |

| ESQUEMA DE INSPECCIÓN | IMÁGENES SCAN C - DE JUNTAS INSPECCIONADAS: |
|-----------------------|---|
|                       |   |

**Ilustración 5-4:** Extracto del informe de ultrasonido

**Realizado por:** Sislema, Edwin, 2023

El ultrasonido permite determinar cuáles son las posibles discontinuidades que tendrán las placas soldadas antes de realizar cualquier tipo de ensayo destructivo, las discontinuidades que se puede detectar con este ensayo son: fisuras (F), falta de fusión (IF), falta de penetración (FP), concavidad (CC), poros (P), escorias (E) y mordeduras (M), un extracto del informe del ultrasonido se puede apreciar en la Figura, donde se puede observar 3 secciones en los que constan, un esquema de inspección, imágenes entregadas por el scanner y finalmente la tabla con las discontinuidades encontradas en la placa soldada.

Para el ultrasonido se debe tomar en cuenta un punto inicial para que el equipo de ultrasonido tenga un punto de referencia, como se puede observar en la Figura 5-4 hay un punto 0 que es el punto de referencia, y también es muy importante establecer cuál es la longitud de barrido, todas las placas se tiene la misma longitud de barrido que es de 230 milímetros como se observa en la Figura 5-4.



**Ilustración 6-4:** Esquema de una placa para ultrasonido

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

**Tabla 5-4:** Resultado del ultrasonido de la placa CC-PD-95-2

| Designación | Profundidad (mm) | Longitud (mm) | Ubicación en X (mm) | Discontinuidad | Resultados |
|-------------|------------------|---------------|---------------------|----------------|------------|
| CC-PD-95-2  | 3                | 10            | 10                  | IF             | Rechazada  |
|             | 2                | 10            | 100                 | IF             | Rechazada  |
|             | 5                | 5             | 120                 | IF             | Rechazada  |
|             | 2,5              | 100           | 150                 | IF             | Rechazada  |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

En la Tabla 5-4 se observa que en 4 puntos del cordón existen fallos, en el primer punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 10 milímetros a una profundidad de 3 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros. En el segundo punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 100 milímetros a una profundidad de 2 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros. En el tercer punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 120 milímetros a una profundidad de 5 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 5 milímetros. En el cuarto punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 150 milímetros a una profundidad de 2.5 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 100 milímetros.

**Tabla 6-4:** Resultado del ultrasonido de la placa CC-PD-95-3

| <b>Designación</b> | <b>Profundidad (mm)</b> | <b>Longitud (mm)</b> | <b>Ubicación en X (mm)</b> | <b>Fallo</b> | <b>Resultados</b> |
|--------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|--------------|-------------------|
| CC-PD-95-3         | 2                       | 20                   | 10                         | IF           | Rechazada         |
|                    | 3                       | 10                   | 170                        | IF           | Rechazada         |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

En la Tabla 6-4 se observa que en 2 puntos del cordón existen fallos, en el primer punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 10 milímetros a una profundidad de 2 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 20 milímetros. En el segundo punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 170 milímetros a una profundidad de 3 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros.

**Tabla 7-4:** Resultado del ultrasonido de la placa CC-PD-100-2

| <b>Designación</b> | <b>Profundidad (mm)</b> | <b>Longitud (mm)</b> | <b>Ubicación en X (mm)</b> | <b>Fallo</b> | <b>Resultados</b> |
|--------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|--------------|-------------------|
| CC-PD-100-2        | 2                       | 12                   | 0                          | IF           | Rechazada         |
|                    | 4                       | 10                   | 90                         | IF           | Rechazada         |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

En la Tabla 7-4 se observa que en 2 puntos del cordón existen fallos, en el primer punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 0 milímetros a una profundidad de 2 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 12 milímetros. En el segundo punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 90 milímetros a una profundidad de 4 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros.

**Tabla 8-4:** Resultado del ultrasonido de la placa CC-PD-100-3

| <b>Designación</b> | <b>Profundidad (mm)</b> | <b>Longitud (mm)</b> | <b>Ubicación en X (mm)</b> | <b>Fallo</b> | <b>Resultados</b> |
|--------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|--------------|-------------------|
| CC-PD-100-3        | 3                       | 20                   | 0                          | IF           | Rechazada         |
|                    | 3                       | 25                   | 110                        | IF           | Rechazada         |
|                    | 3                       | 10                   | 200                        | IF           | Rechazada         |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

En la Tabla 8-4 se observa que en 3 puntos del cordón existen fallos, en el primer punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 0 milímetros a una profundidad de 3 milímetros

y esta discontinuidad se desplaza 20 milímetros. En el segundo punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 110 milímetros a una profundidad de 3 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 25 milímetros. En el tercer punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 200 milímetros a una profundidad de 3 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros.

**Tabla 9-4:** Resultado del ultrasonido de la placa CC-PI-95-3

| <b>Designación</b> | <b>Profundidad (mm)</b> | <b>Longitud (mm)</b> | <b>Ubicación en X (mm)</b> | <b>Fallo</b> | <b>Resultados</b> |
|--------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|--------------|-------------------|
| CC-PI-95-3         | 3                       | 10                   | 0                          | IF           | Rechazada         |
|                    | 3                       | 10                   | 35                         | IF           | Rechazada         |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

En la Tabla 9-4 se observa que en 2 puntos del cordón existen fallos, en el primer punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 0 milímetros a una profundidad de 3 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros. En el segundo punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 35 milímetros a una profundidad de 3 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros.

**Tabla 10-4:** Resultado del ultrasonido de la placa CC-PI-100-2

| <b>Designación</b> | <b>Profundidad (mm)</b> | <b>Longitud (mm)</b> | <b>Ubicación en X (mm)</b> | <b>Fallo</b> | <b>Resultados</b> |
|--------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|--------------|-------------------|
| CC-PI-100-2        | 2,7                     | 10                   | 45                         | IF           | Rechazada         |
|                    | 2                       | 8                    | 70                         | IF           | Rechazada         |
|                    | 2                       | 15                   | 100                        | IF           | Rechazada         |
|                    | 3                       | 10                   | 150                        | IF           | Rechazada         |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

En la Tabla 10-4 se observa que en 4 puntos del cordón existen fallos, en el primer punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 45 milímetros a una profundidad de 2.7 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros. En el segundo punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 70 milímetros a una profundidad de 2 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 8 milímetros. En el tercer punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 100 milímetros a una profundidad de 2 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 15 milímetros. En el cuarto punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 150 milímetros a una profundidad de 3 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros.

**Tabla 11-4:** Resultado del ultrasonido de la placa CC-PI-100-3

| <b>Designación</b> | <b>Profundidad<br/>(mm)</b> | <b>Longitud<br/>(mm)</b> | <b>Ubicación<br/>en X (mm)</b> | <b>Fallo</b> | <b>Resultados</b> |
|--------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------|-------------------|
| CC-PI-100-3        | 4                           | 10                       | 0                              | IF           | Rechazada         |
|                    | 3                           | 10                       | 35                             | IF           | Rechazada         |
|                    | 2                           | 10                       | 70                             | IF           | Rechazada         |
|                    | 3                           | 10                       | 190                            | IF           | Rechazada         |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

En la Tabla 11-4 se observa que en 4 puntos del cordón existen fallos, en el primer punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 0 milímetros a una profundidad de 4 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros. En el segundo punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 35 milímetros a una profundidad de 3 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros. En el tercer punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 70 milímetros a una profundidad de 2 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros. En el cuarto punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 190 milímetros a una profundidad de 3 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros.

**Tabla 12-4:** Resultado del ultrasonido de la placa CA-X-95-2

| <b>Designación</b> | <b>Profundidad<br/>(mm)</b> | <b>Longitud<br/>(mm)</b> | <b>Ubicación<br/>en X (mm)</b> | <b>Fallo</b> | <b>Resultados</b> |
|--------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------|-------------------|
| CA-X-95-2          | 3                           | 10                       | 40                             | IF           | Rechazada         |
|                    | 3                           | 10                       | 65                             | IF           | Rechazada         |
|                    | 2                           | 40                       | 190                            | IF           | Rechazada         |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

En la Tabla 12-4 se observa que en 3 puntos del cordón existen fallos, en el primer punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 40 milímetros a una profundidad de 3 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros. En el segundo punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 65 milímetros a una profundidad de 3 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros. En el tercer punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 190 milímetros a una profundidad de 2 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 40 milímetros.

**Tabla 13-4:** Resultado del ultrasonido de la placa CA-X-95-3

| <b>Designación</b> | <b>Profundidad<br/>(mm)</b> | <b>Longitud<br/>(mm)</b> | <b>Ubicación<br/>en X (mm)</b> | <b>Fallo</b> | <b>Resultados</b> |
|--------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------|-------------------|
| CA-X-95-3          | 2                           | 15                       | 10                             | IF           | Rechazada         |
|                    | 2                           | 10                       | 100                            | IF           | Rechazada         |
|                    | 2                           | 10                       | 130                            | IF           | Rechazada         |
|                    | 2                           | 10                       | 166                            | IF           | Rechazada         |

**Realizado por:** Sislema, Edwin, 2023

En la Tabla 13-4 se observa que en 4 puntos del cordón existen fallos, en el primer punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 10 milímetros a una profundidad de 2 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 15 milímetros. En el segundo punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 100 milímetros a una profundidad de 2 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros. En el tercer punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 130 milímetros a una profundidad de 2 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros. En el cuarto punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 166 milímetros a una profundidad de 2 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros.

**Tabla 14-4:** Resultado del ultrasonido de la placa CA-X-100-2

| <b>Designación</b> | <b>Profundidad<br/>(mm)</b> | <b>Longitud<br/>(mm)</b> | <b>Ubicación<br/>en X (mm)</b> | <b>Fallo</b> | <b>Resultados</b> |
|--------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------|-------------------|
| CA-X-100-2         | 2                           | 15                       | 0                              | IF           | Rechazada         |
|                    | 3                           | 10                       | 50                             | IF           | Rechazada         |

**Realizado por:** Sislema, Edwin, 2023

En la Tabla 14-4 se observa que en 2 puntos del cordón existen fallos, en el primer punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 0 milímetros a una profundidad de 2 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 15 milímetros. En el segundo punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 50 milímetros a una profundidad de 3 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros.

**Tabla 15-4:** Resultado del ultrasonido de la placa CA-X-100-3

| Designación | Profundidad (mm) | Longitud (mm) | Ubicación en X (mm) | Fallo | Resultados |
|-------------|------------------|---------------|---------------------|-------|------------|
| CA-X-100-3  | 3                | 10            | 35                  | IF    | Rechazada  |
|             | 5                | 10            | 110                 | IF    | Rechazada  |
|             | 2                | 10            | 110                 | IF    | Rechazada  |
|             | 2                | 40            | 200                 | IF    | Rechazada  |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

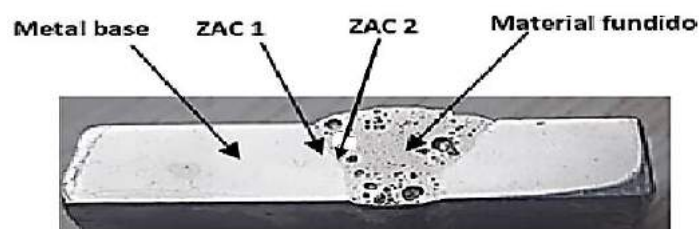
En la Tabla 15-4 se observa que en 4 puntos del cordón existen fallos, en el primer punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 35 milímetros a una profundidad de 3 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros. En el segundo punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 110 milímetros a una profundidad de 5 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros. En el tercer punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 110 milímetros a una profundidad de 2 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 10 milímetros. En el cuarto punto se encuentra a una distancia desde el punto cero de 200 milímetros a una profundidad de 2 milímetros y esta discontinuidad se desplaza 40 milímetros.

Como se puede observar en cada uno de los análisis de ultrasonido todas las placas tienen algún tramo con falta de fusión eso ayuda a determinar que las placas no están del todo soldadas por ende en los resultados posteriores no se tiene buenas expectativas el informe completo se puede observar en el anexo.

#### 4.2.2 Metalografía de las juntas soldadas

##### 4.2.2.1 Metalografía con el microscopio óptico

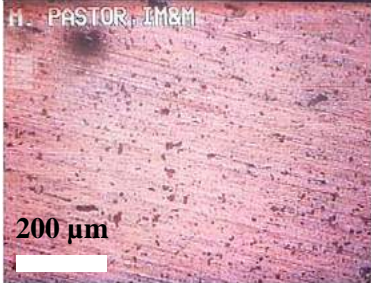
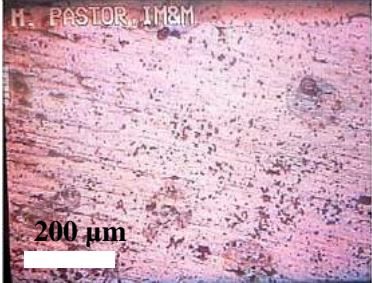
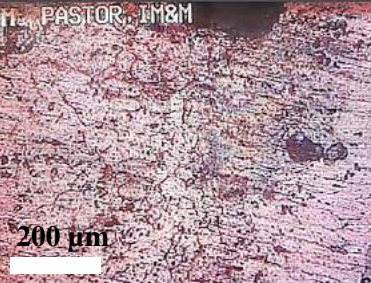
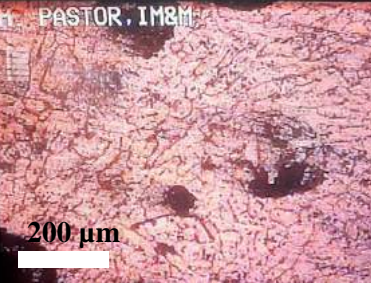
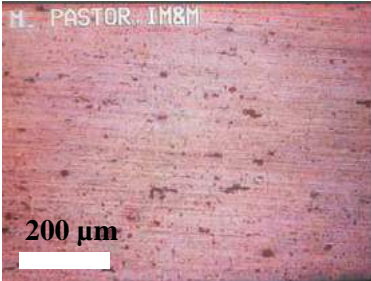
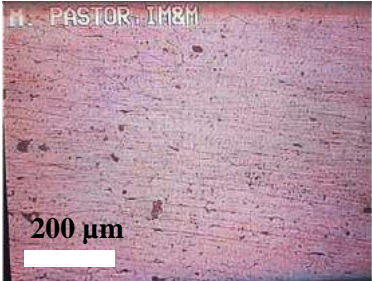
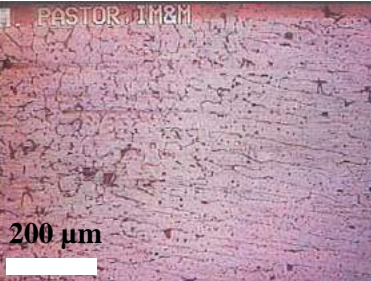

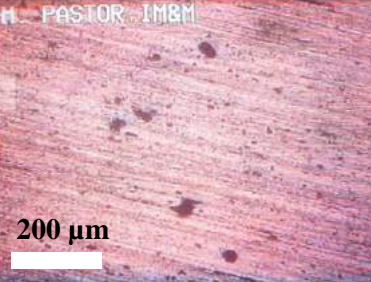
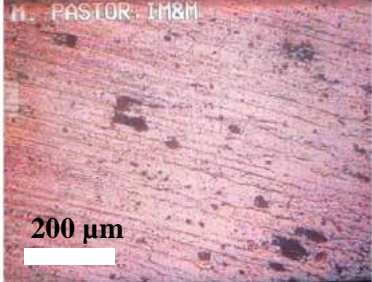
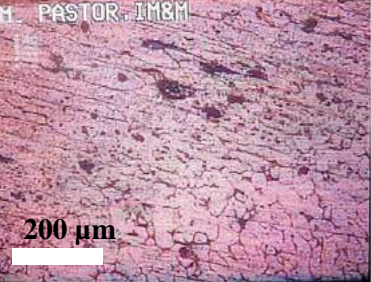
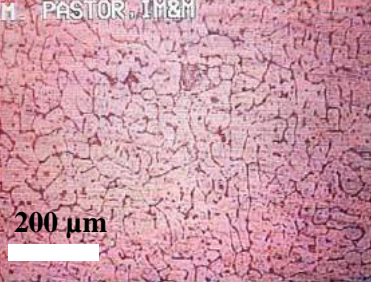
Para el análisis de las microestructuras se tomó como referencia cuatro puntos en cada probeta en los cuales consiste las siguientes zonas: metal base, ZAC, y el material fundido como se observan en la Tabla 16-4, Tabla 17-4, y Tabla 18-4.



**Ilustración 7-4:** Puntos a analizar

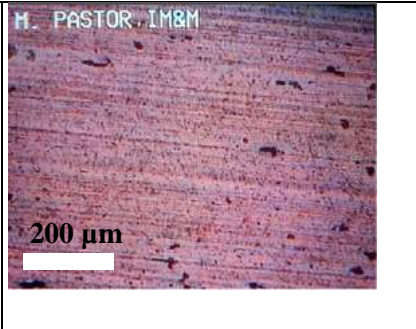
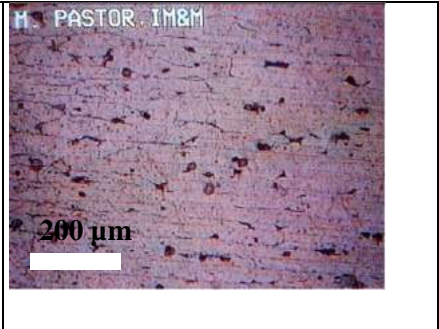
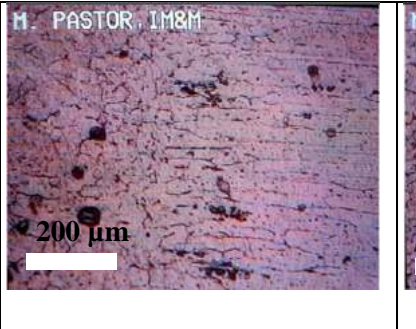
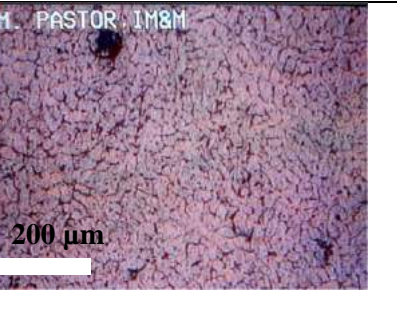
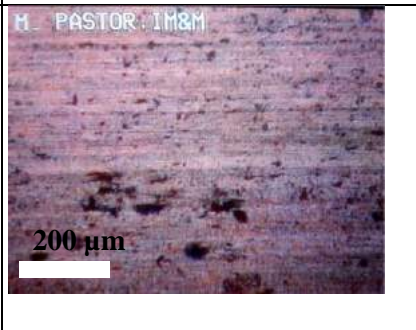
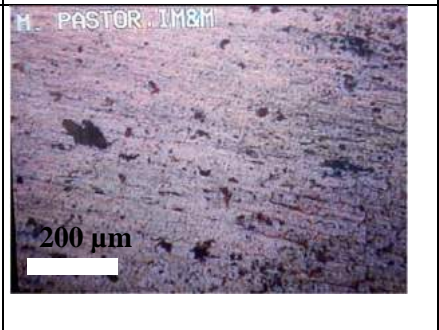
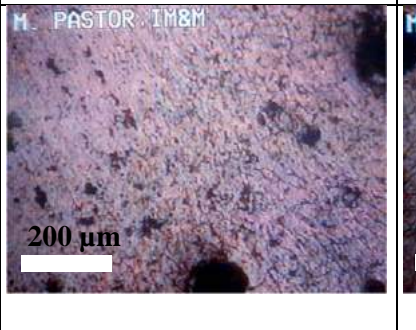

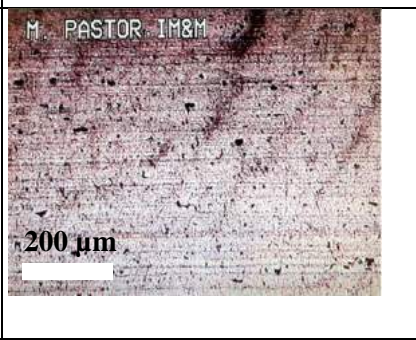
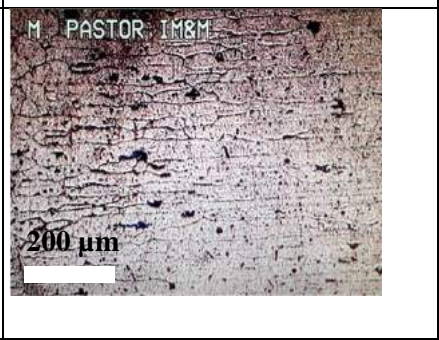
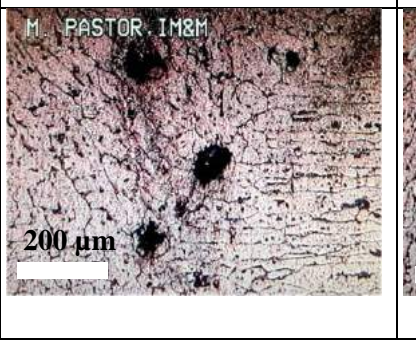

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

**Tabla 16-4:** Metalografías de las juntas soldadas a una ampliación de 100X

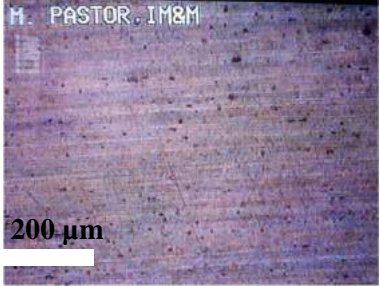
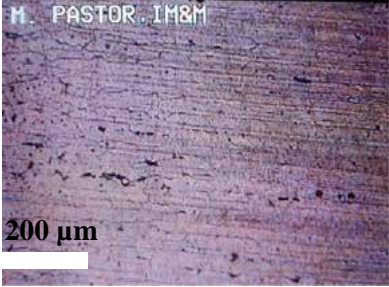
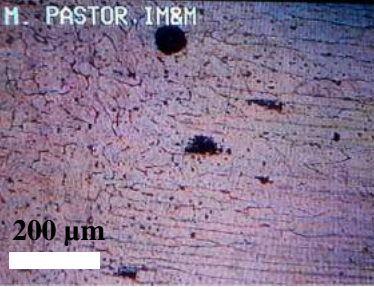
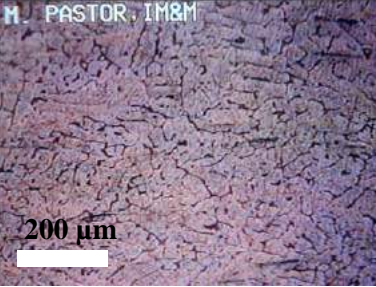
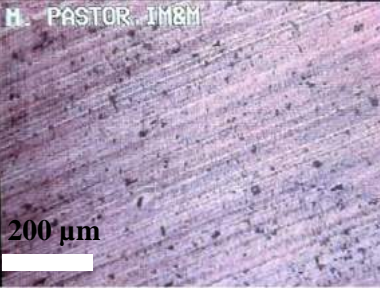
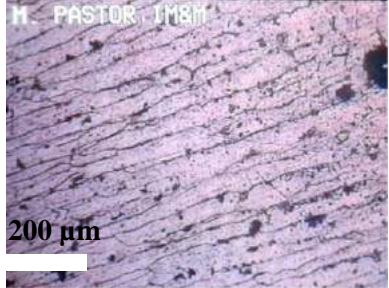
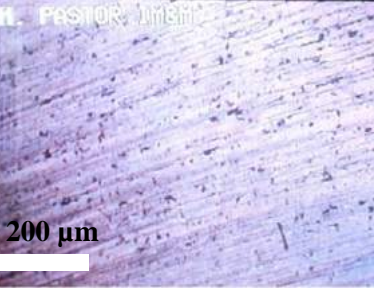
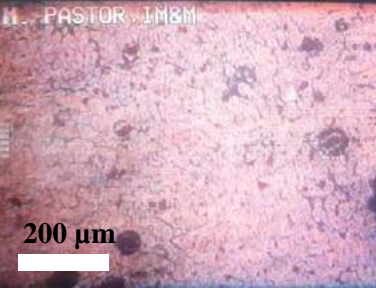
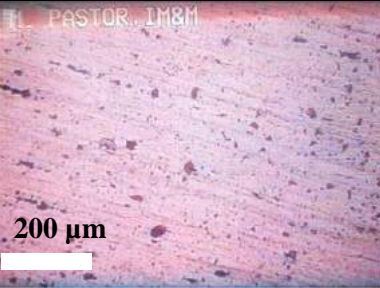
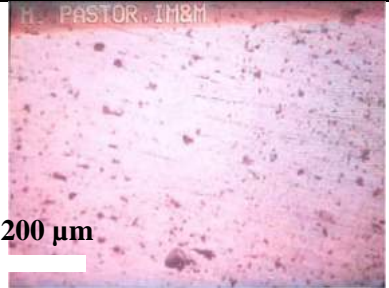
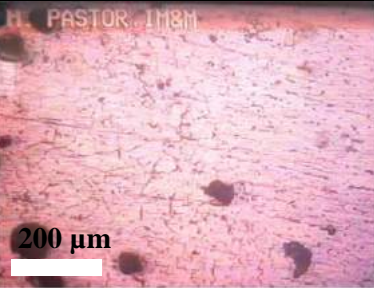
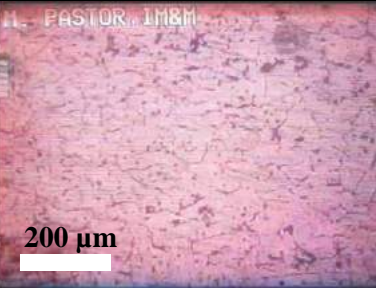
| CODIGO      | METAL BASE  | ZAC 1  | ZAC 2   | METAL FUNDIDO   |
|-------------|---|--|---|---|
| CC-PD-95-2  |    |    |    |    |
| CC-PD-95-3  |    |    |    |    |
| CC-PD-100-2 |  |  |  |  |



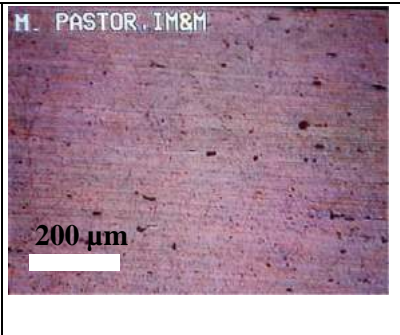
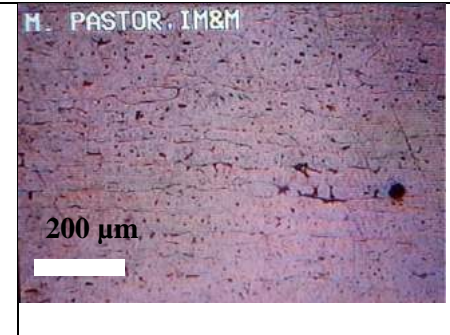
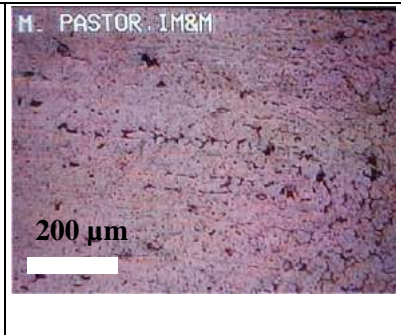
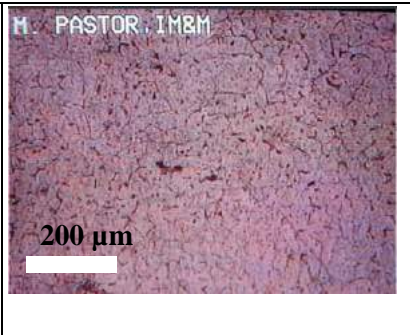
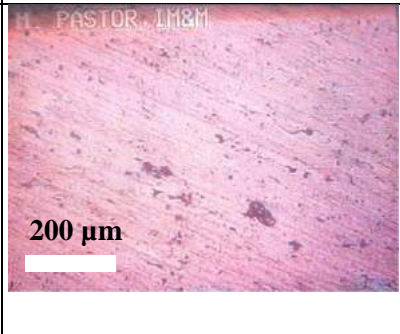
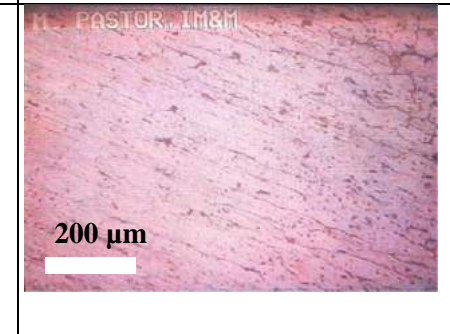
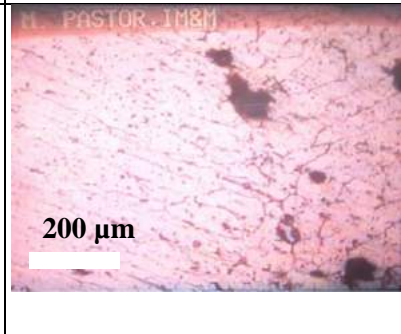

**Tabla 16-4:** (continuación)

|                    |   |  |   |   |
|--------------------|---|--|---|---|
| <p>CC-PD-100-3</p> |    |    |    |    |
| <p>CC-PI-95-3</p>  |   |   |   |   |
| <p>CC-PI-100-2</p> |  |  |  |  |

**Tabla 16-4:** (continuación)

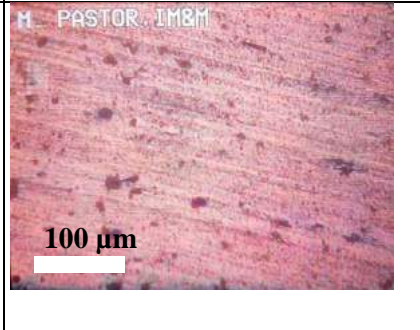
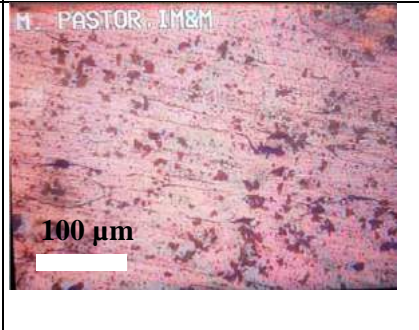
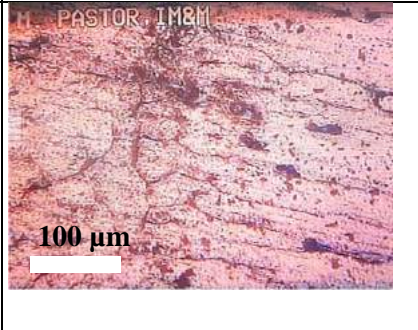
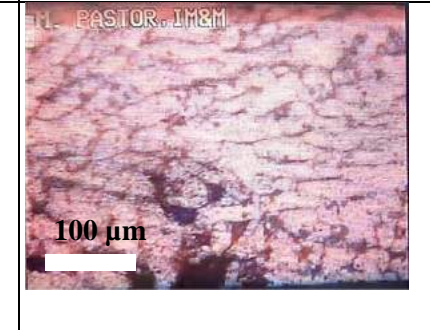
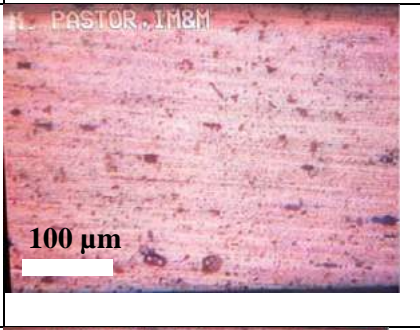
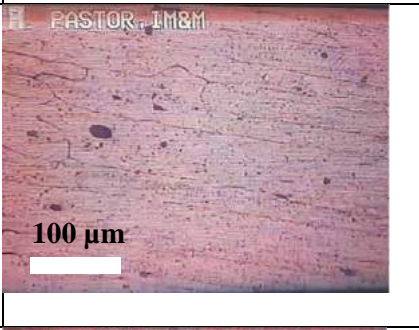
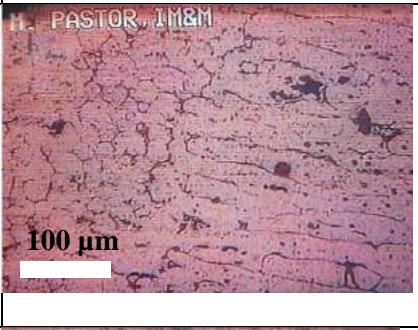
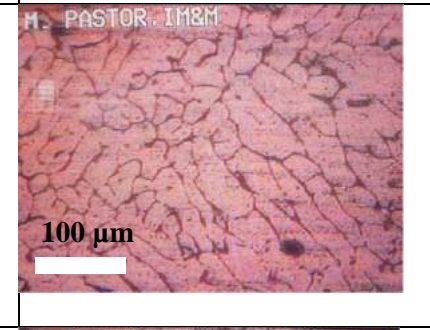
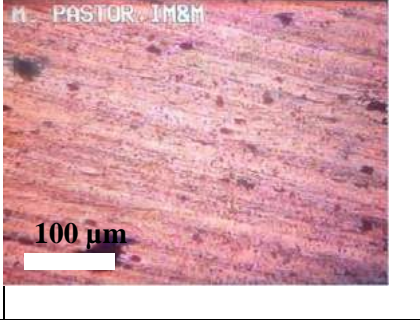
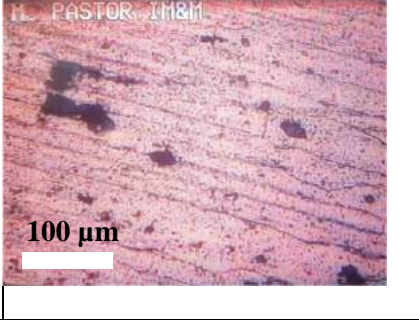
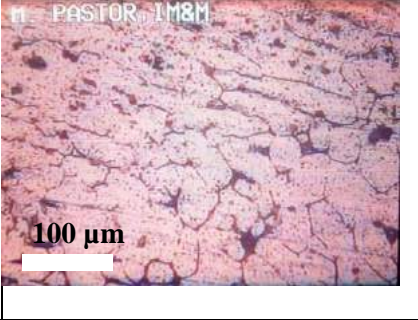
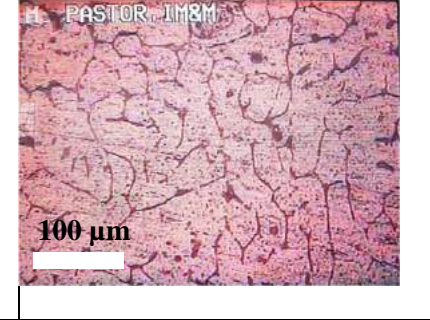
|             |  |   |  |  |
|-------------|--|---|--|--|
| CC-PI-100-3 |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>200 μm</p>  |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>200 μm</p>  |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>200 μm</p>  |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>200 μm</p>  |
| CA-X-95-2   |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>200 μm</p>  |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>200 μm</p>  |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>200 μm</p>  |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>200 μm</p>  |
| CA-X-95-3   |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>200 μm</p> |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>200 μm</p> |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>200 μm</p> |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>200 μm</p> |

**Tabla 16-4:** (continuación)

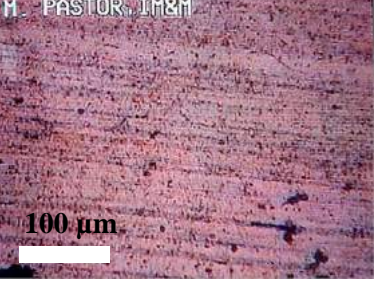
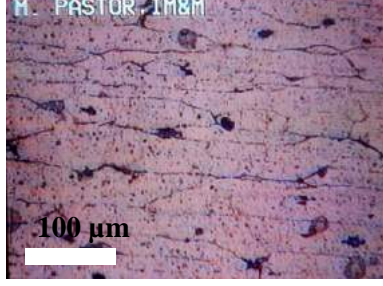
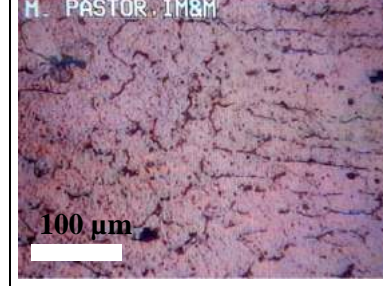
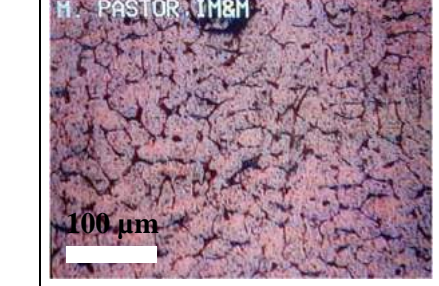
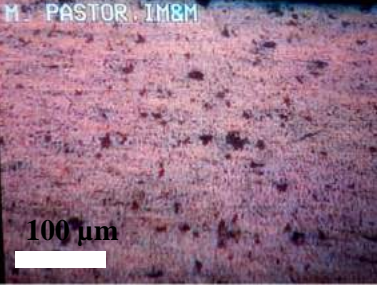
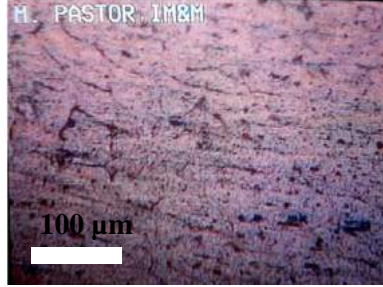
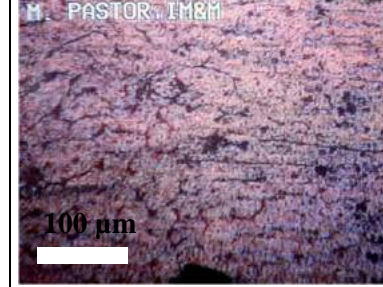
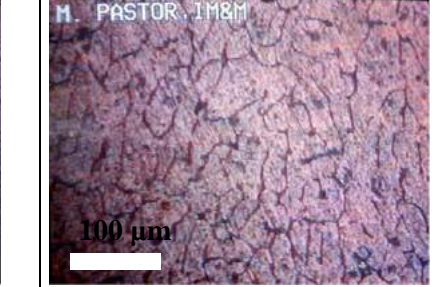


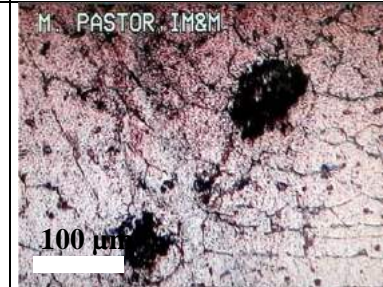
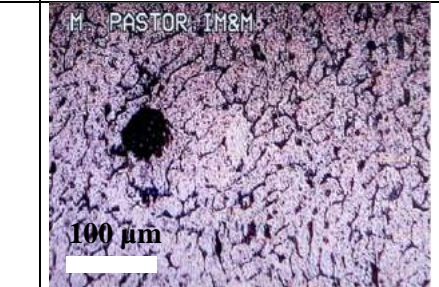
|            |  |   |  |  |
|------------|--|---|--|--|
| CA-X-100-2 |   |   |   |   |
| CA-X-100-3 |  |  |  |  |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

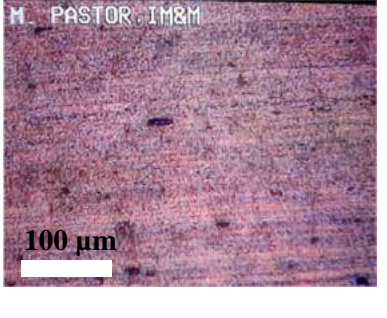
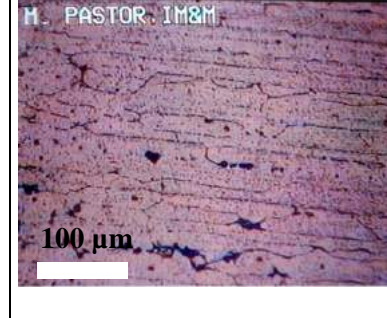
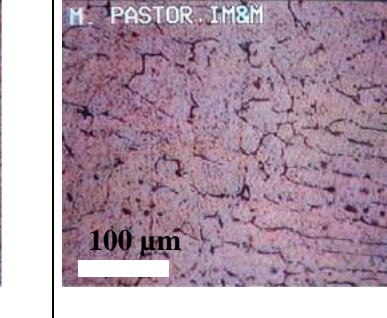
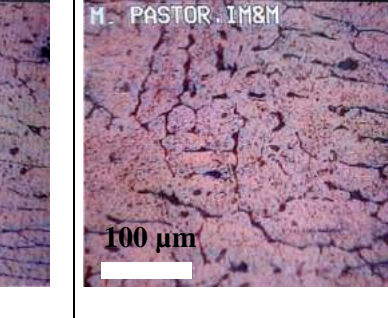

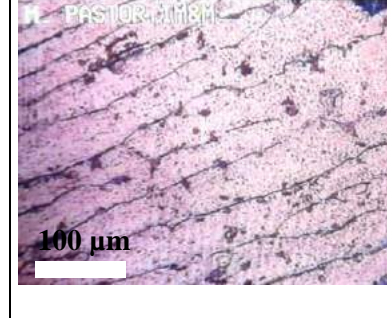
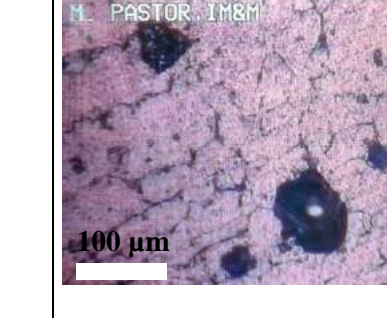
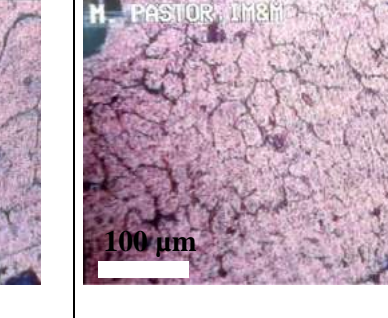
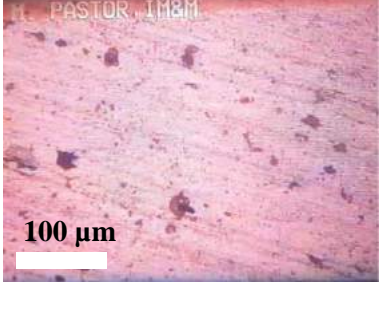

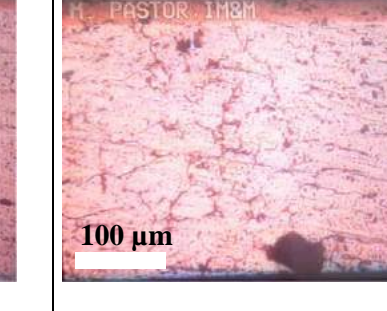
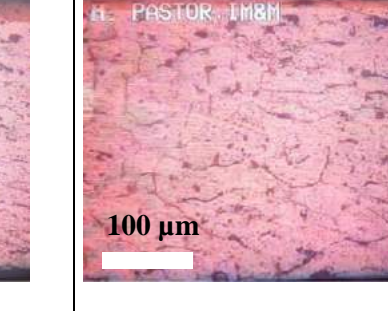
**Tabla 17-4:** Metalografías de las juntas soldadas a una ampliación de 200X

| CODIGO      | METAL BASE  | ZAC 1  | ZAC 2   | METAL FUNDIDO   |
|-------------|---|--|---|---|
| CC-PD-95-2  |    |    |    |    |
| CC-PD-95-3  |   |   |   |   |
| CC-PD-100-2 |  |  |  |  |

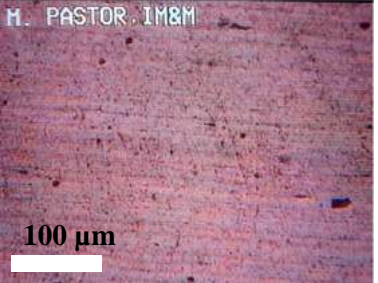
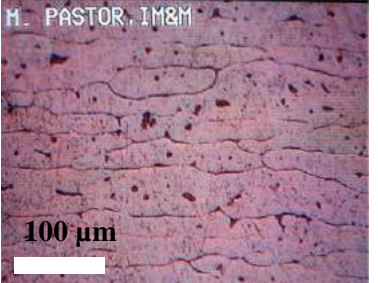


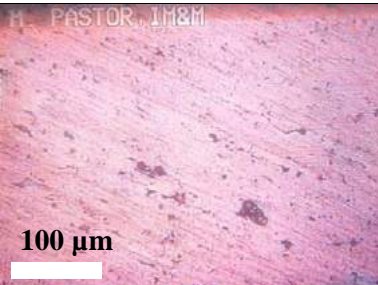
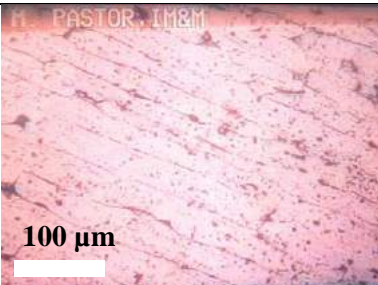
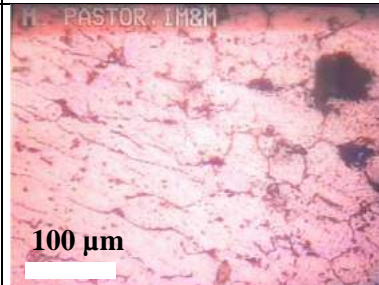
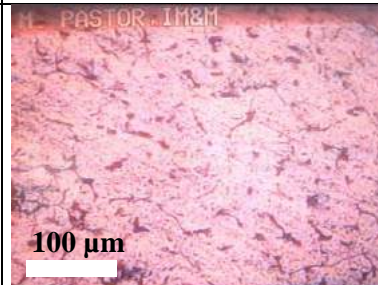
**Tabla 17-4:** (continuación)

|                    |  |   |  |  |
|--------------------|--|---|--|--|
| <p>CC-PD-100-3</p> |   |   |   |   |
| <p>CC-PI-95-3</p>  |   |   |   |   |
| <p>CC-PI-100-2</p> |  |  |  |  |

**Tabla 17-4:** (continuación)

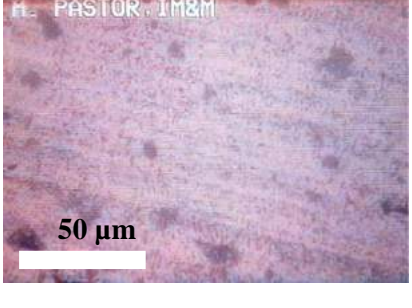
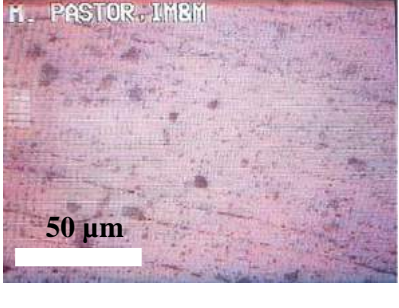

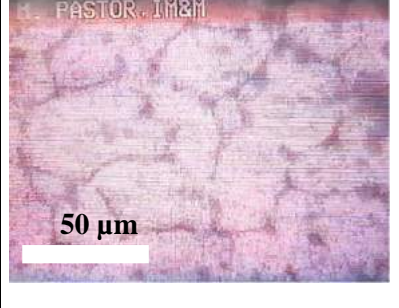
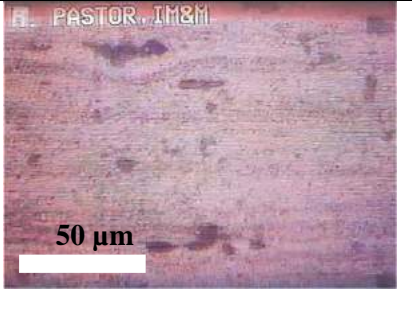
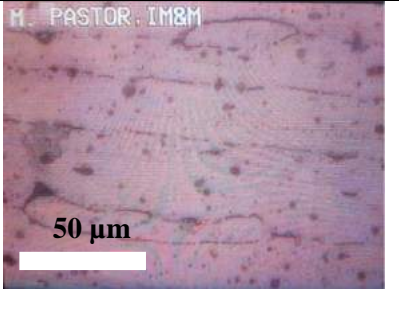
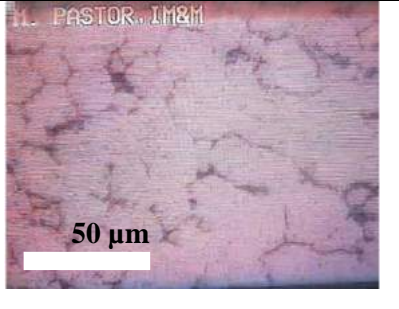
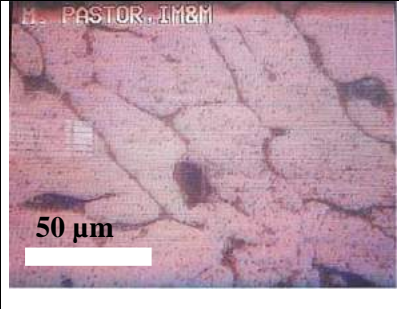
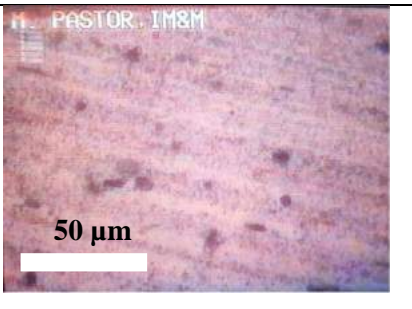
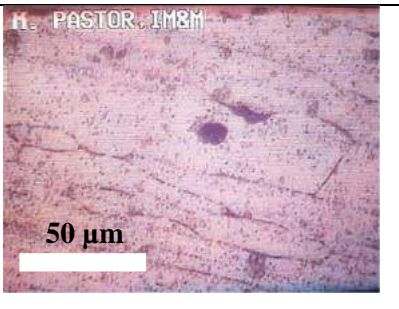
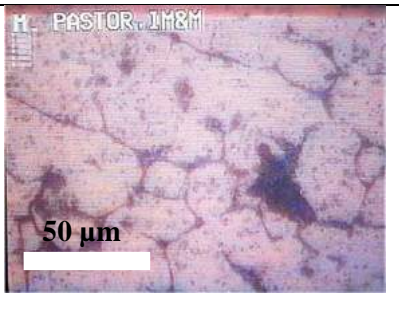
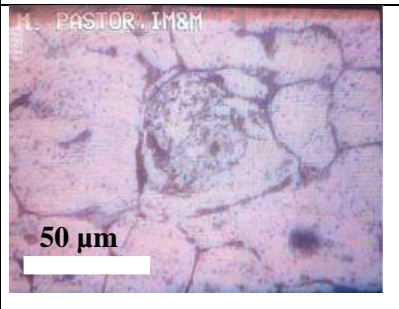
|             |  |   |  |  |
|-------------|--|---|--|--|
| CC-PI-100-3 |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>100 μm</p>  |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>100 μm</p>  |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>100 μm</p>  |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>100 μm</p>  |
| CA-X-95-2   |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>100 μm</p>  |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>100 μm</p>  |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>100 μm</p>  |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>100 μm</p>  |
| CA-X-95-3   |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>100 μm</p> |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>100 μm</p> |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>100 μm</p> |  <p>H. PASTOR. IM&amp;M<br/>100 μm</p> |

**Tabla 17-4:** (continuación)

|                   |  |   |  |  |
|-------------------|--|---|--|--|
| <p>CA-X-100-2</p> |   |   |   |   |
| <p>CA-X-100-3</p> |  |  |  |  |


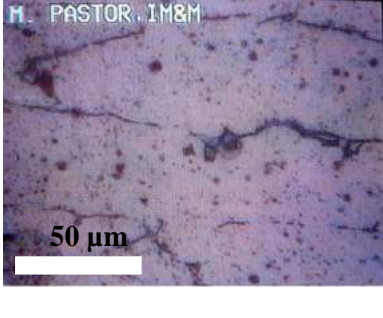

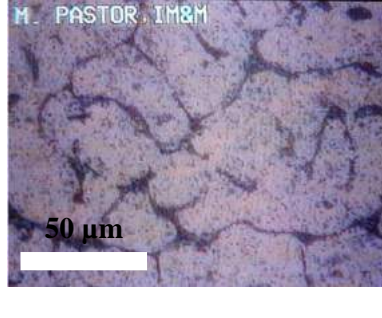
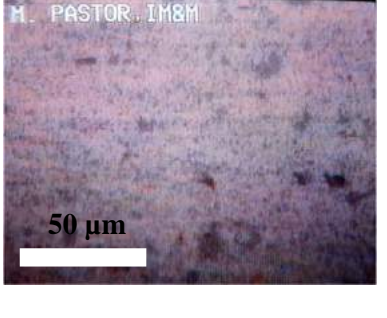







Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

**Tabla 18-4:** Metalografías de las juntas soldadas a una ampliación de 500X


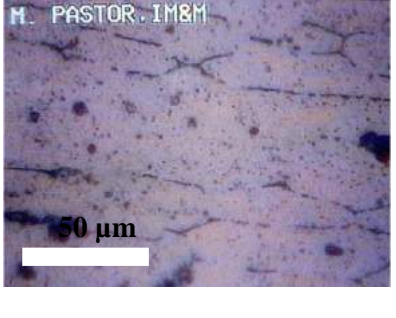
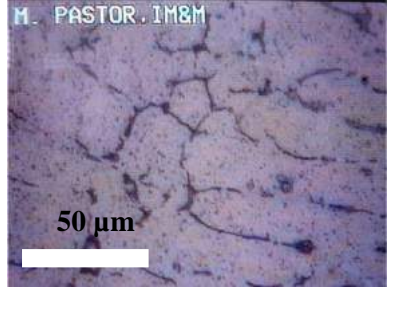
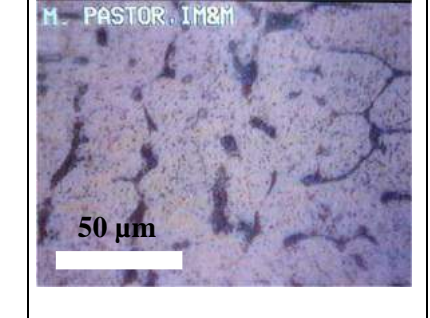

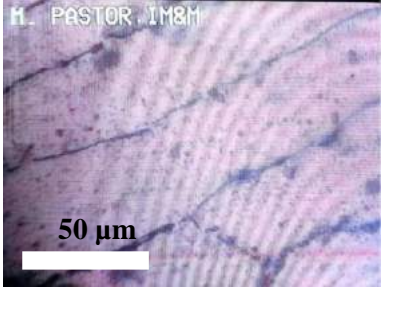
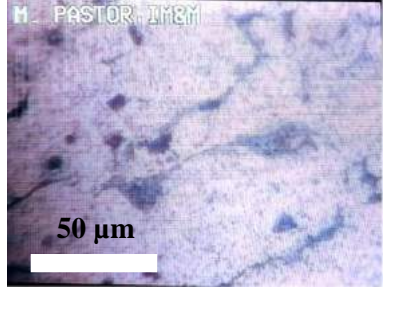
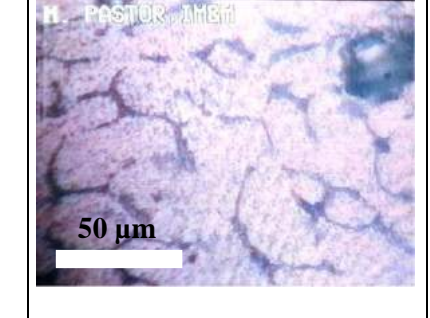
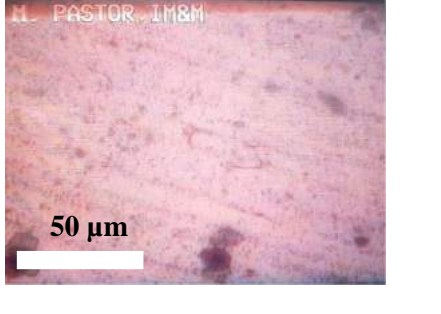
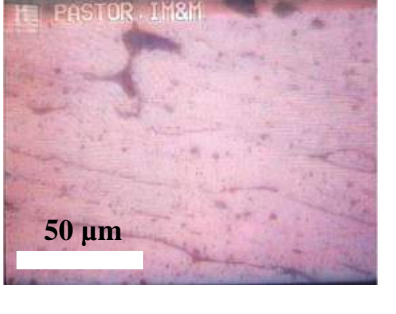
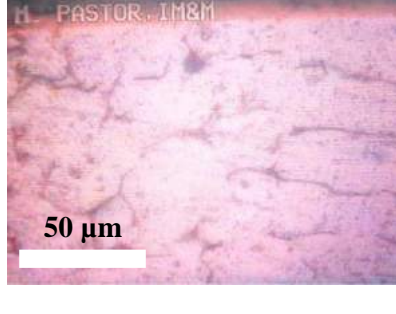
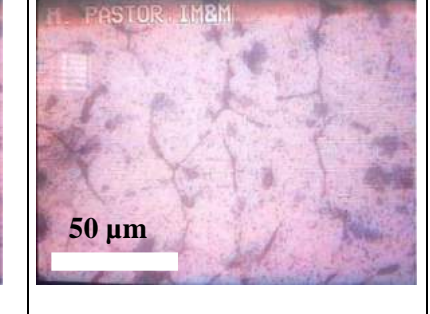
| CODIGO      | METAL BASE  | ZAC 1  | ZAC 2   | METAL FUNDIDO   |
|-------------|---|--|---|---|
| CC-PD-95-2  |    |    |    |    |
| CC-PD-95-3  |   |   |   |   |
| CC-PD-100-2 |  |  |  |  |



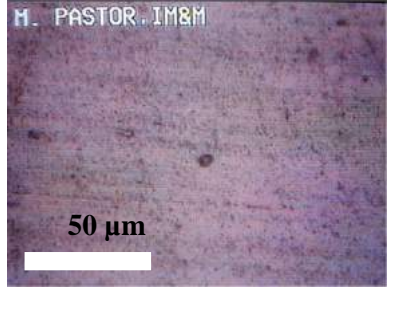
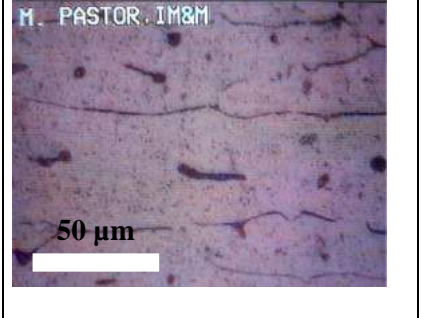
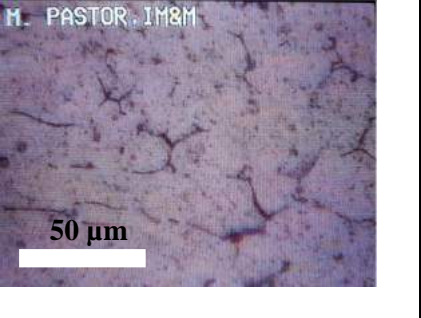

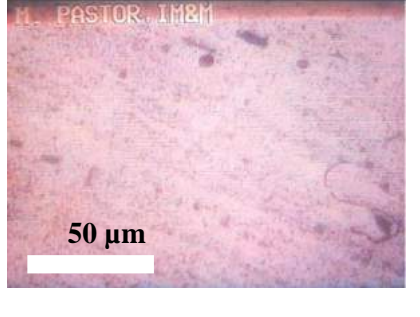
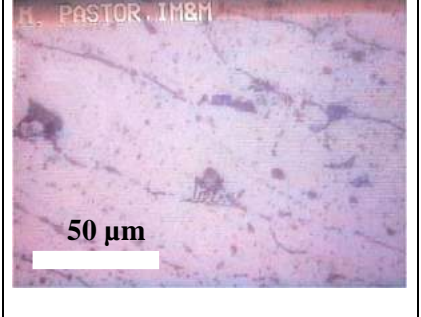
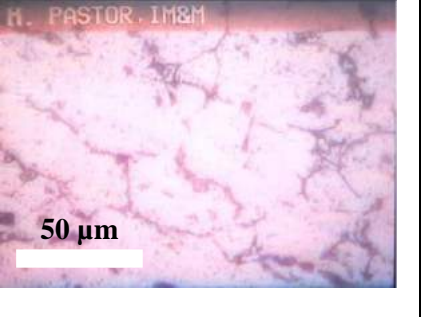
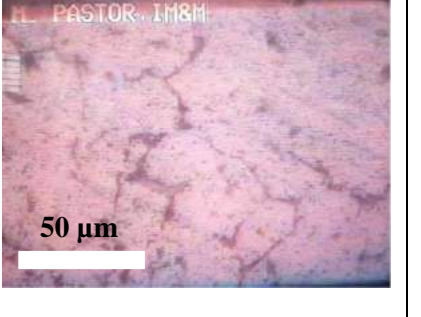
**Tabla 18-4:** (continuación)

|             |  |   |  |  |
|-------------|--|---|--|--|
| CC-PD-100-3 |   |   |   |   |
| CC-PI-95-3  |   |   |   |   |
| CC-PI-100-2 |  |  |  |  |

**Tabla 18-4:** (continuación)

|                    |  |   |  |  |
|--------------------|--|---|--|--|
| <p>CC-PI-100-3</p> |   |   |   |   |
| <p>CA-X-95-2</p>   |   |   |   |   |
| <p>CA-X-95-3</p>   |  |  |  |  |

**Tabla 18-4:** (continuación)

|            |   |  |   |   |
|------------|---|--|---|---|
| CA-X-100-2 |  |  |  |  |
| CA-X-100-3 |  |  |  |  |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

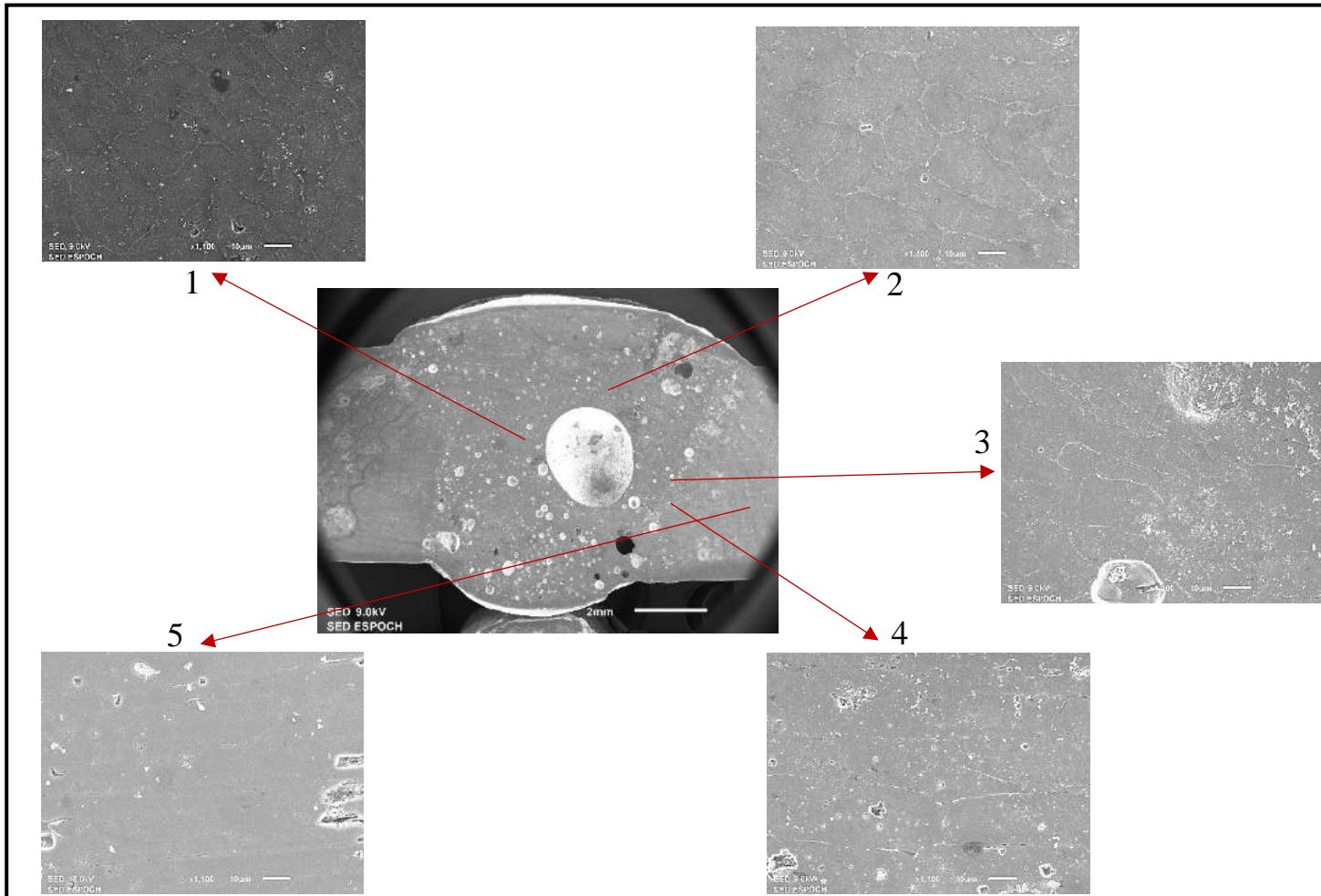
Las metalografías son muy valiosas en cuanto a análisis se refiere, se tomaron en cuentas cuatro puntos de la probeta como se aprecia en la Figura 6-4, el metal base es el primer punto analizado para poder identificar como varia la microestructura del material a medida que se va acercando a la zona del metal fundido, en la metalografía del metal base se observa claramente el laminado y adicionalmente varios puntos, estos puntos son contaminaciones que tuvo el material al entrar en contacto con el ambiente provocando el denominado oxido de aluminio. Como se observa en la Tabla 16-4, Tabla 17-4 y Tabla 18-4 a medida que se va alejando de la zona del metal fundido se produce una recristalización parcial debido a las altas temperaturas.

Observando la metalografía de las placas que se soldaron con corriente continua y polaridad directa se nota que en la zona del metal fundido la que menos contaminada esta es decir granos más limpios es la placa CC-PD-95-3 y esto se puede notar a lo largo de las diferentes zonas. La placa que más contaminada se observa es la placa CC-PD-95-3.

Analizando las metalografías obtenidas con corriente continua y polaridad inversa se obtiene que la placa CC-PI-100-3 es la más limpia por lo que se puede decir que es la mejor combinación con esta polaridad, mientras que las metalografías con más contaminación es de la placa CC-PI-95-3. Las metalografías de las placas soldadas con corriente alternan se observan más limpias en la zona fundida esto da a entender que mediante este tipo de corriente la contaminación disminuyo dando como resultado la más limpia la placa CA-X-100-3 y la que más contaminación tiene es la placa CA-X-95-2.

#### *4.2.2.1 Metalografía con SEM*

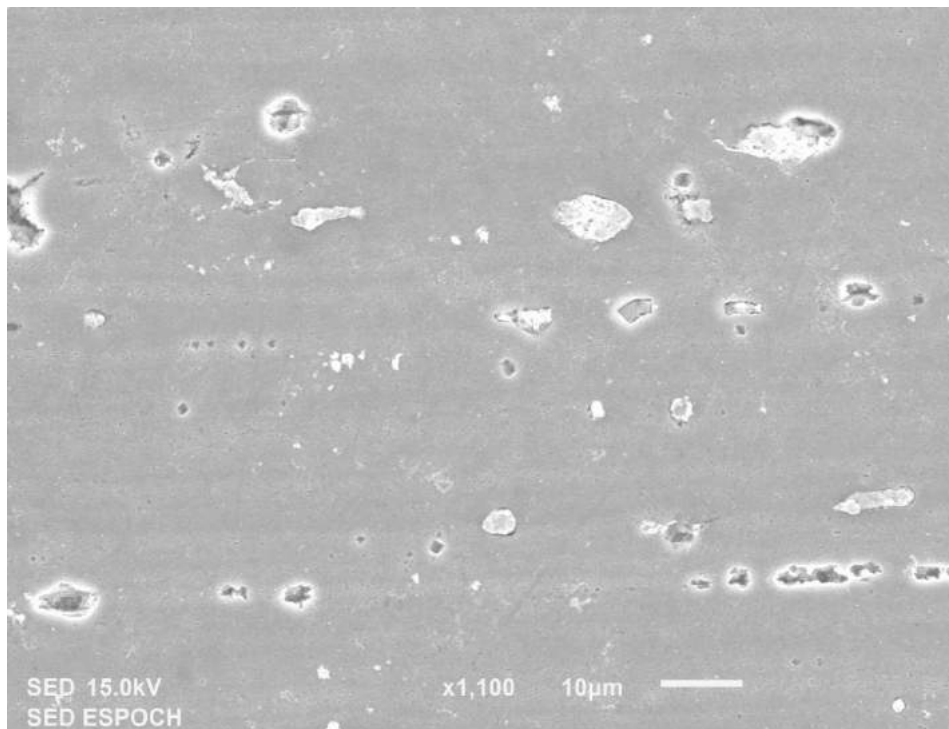
Para el análisis de las microestructuras en el SEM se tomó como referencia 5 puntos en una probeta la cual fue la probeta CC-PD-95-3 en los cuales consiste las siguientes zonas: metal base, ZAC, y el material fundido como se observan en la figura, con este microscopio se realiza un análisis más detallado y también se realizó el análisis de composición en distintas zonas.



**Ilustración 8-4:** Metalografía en SEM de la probeta CC-PD-95-3

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

En la Figura 7-4 se observa la microestructura por cada punto de análisis, en este caso el punto numero 1 es tomado desde la zona de fusión en donde se observa que los granos son uniformes, en el punto 2 se tomó en una zona un poco más alejada de la zona central de fusión y se observa que hay una mezcla entre grano uniforme y grano alargado, en el punto 3 se observa en la gran mayoría un grano alargado con pocos granos uniformes, en el punto 4 ya se puede observar que todos los granos son más alargados y con un tamaño más grande, y finalmente en el punto 5 que está en el material base se observa la laminación.



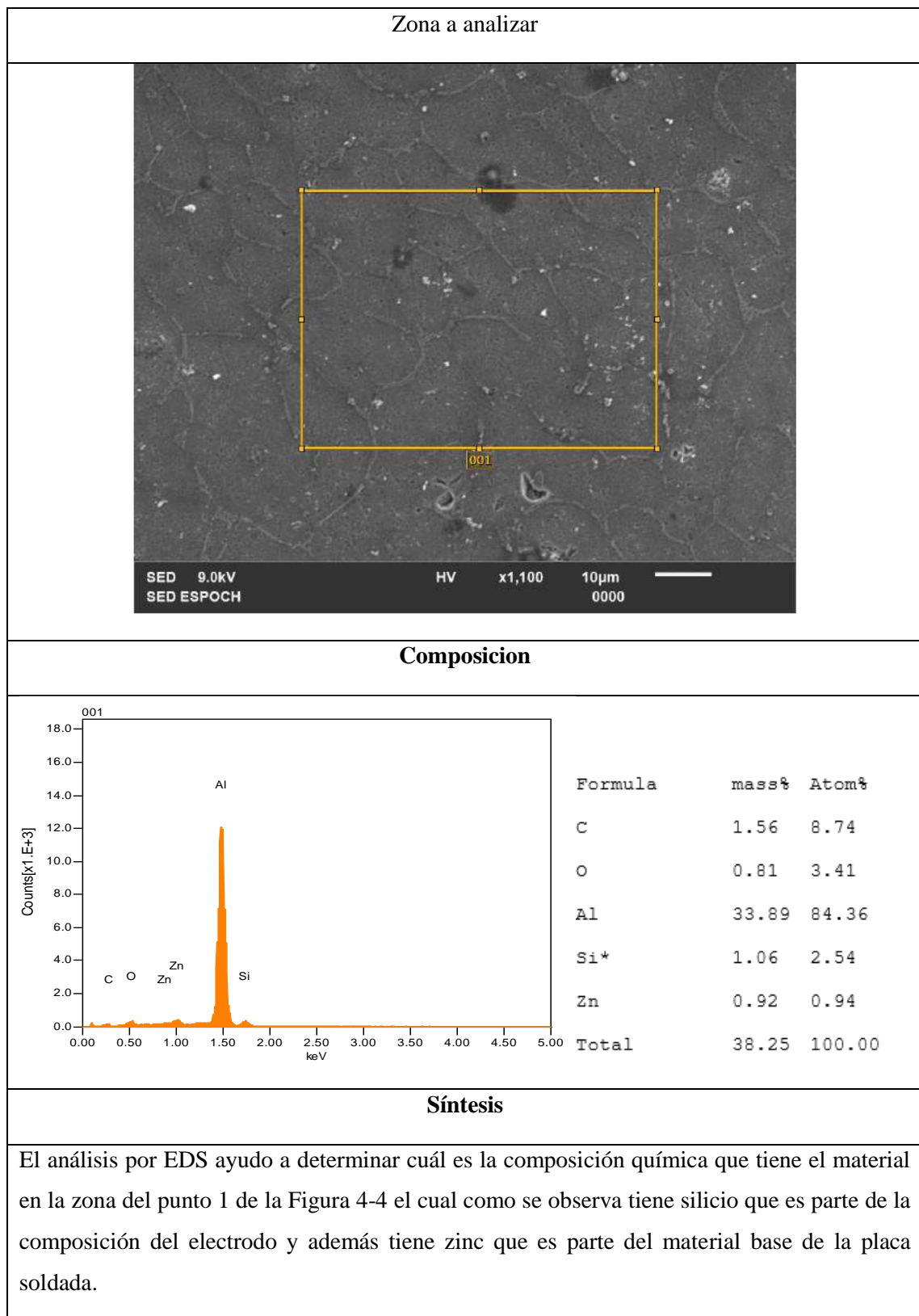
**Ilustración 9-4:** Metalografía del metal base a 1100X mediante SEM

**Realizado por:** Sislema, Edwin, 2023

En la Figura 8-4 tomada a una ampliación de 1100 se observa la zona en donde solo influye el material base, las manchas se deben a diferentes elementos que se pueden obtener mediante un análisis de EDS.

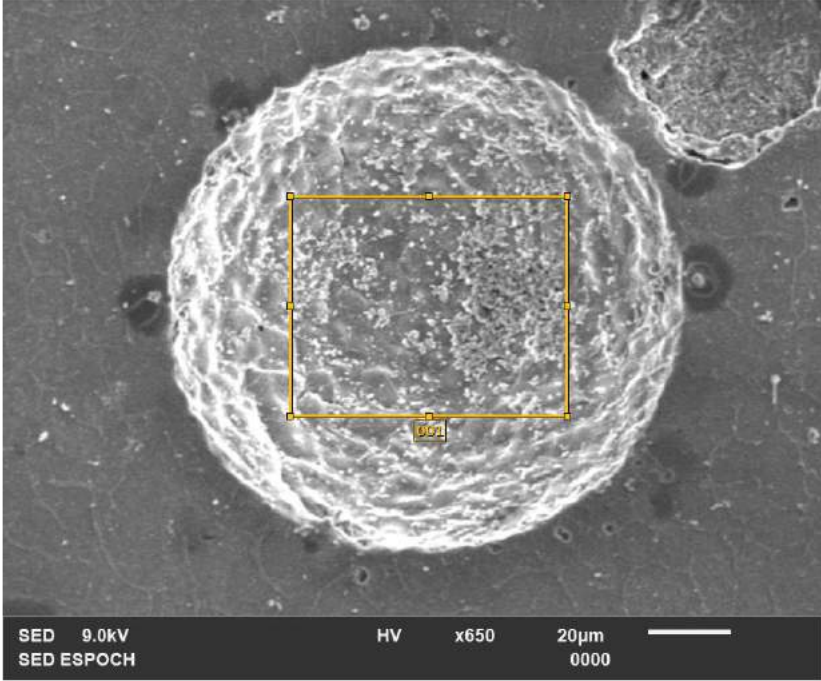
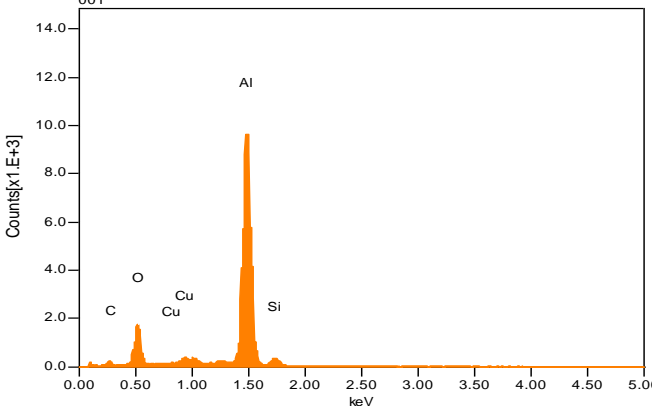
Se realizó un EDS en distintos puntos

**Tabla 19-4:** EDS en la zona del punto 1



Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

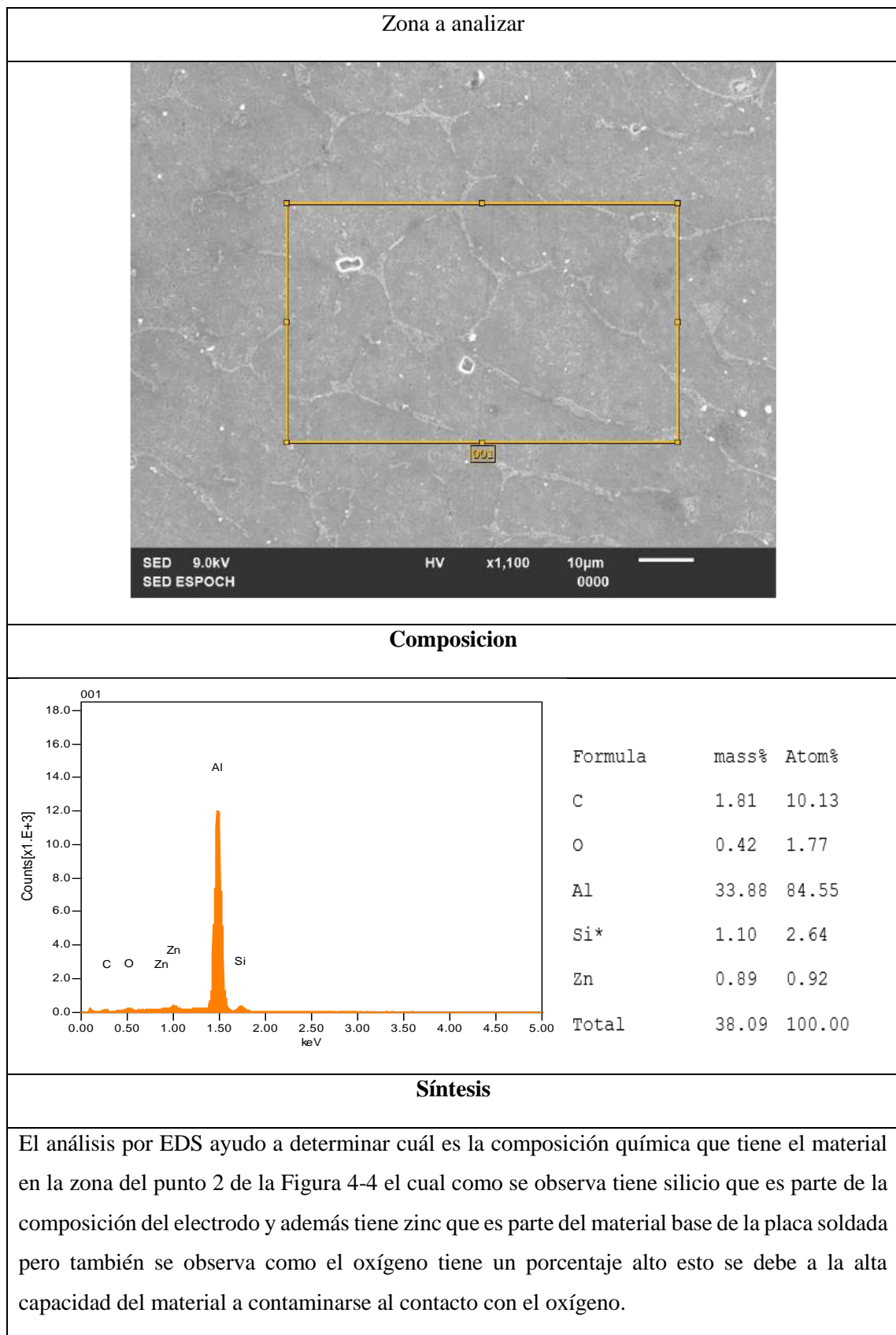
**Tabla 20-4:** EDS de un microporo

| Zona a analizar  |  |         |       |       |   |      |       |   |      |       |    |       |       |     |      |      |    |      |      |       |       |        |
|--|--|---------|-------|-------|---|------|-------|---|------|-------|----|-------|-------|-----|------|------|----|------|------|-------|-------|--------|
|    |  |         |       |       |   |      |       |   |      |       |    |       |       |     |      |      |    |      |      |       |       |        |
| Composicion  |  |         |       |       |   |      |       |   |      |       |    |       |       |     |      |      |    |      |      |       |       |        |
|   | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Formula</th> <th>mass%</th> <th>Atom%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>2.25</td> <td>11.56</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>5.57</td> <td>21.50</td> </tr> <tr> <td>Al</td> <td>27.85</td> <td>63.78</td> </tr> <tr> <td>Si*</td> <td>1.15</td> <td>2.52</td> </tr> <tr> <td>Cu</td> <td>0.65</td> <td>0.63</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>37.46</td> <td>100.00</td> </tr> </tbody> </table> | Formula | mass% | Atom% | C | 2.25 | 11.56 | O | 5.57 | 21.50 | Al | 27.85 | 63.78 | Si* | 1.15 | 2.52 | Cu | 0.65 | 0.63 | Total | 37.46 | 100.00 |
| Formula  | mass%  | Atom%   |       |       |   |      |       |   |      |       |    |       |       |     |      |      |    |      |      |       |       |        |
| C  | 2.25   | 11.56   |       |       |   |      |       |   |      |       |    |       |       |     |      |      |    |      |      |       |       |        |
| O  | 5.57   | 21.50   |       |       |   |      |       |   |      |       |    |       |       |     |      |      |    |      |      |       |       |        |
| Al   | 27.85  | 63.78   |       |       |   |      |       |   |      |       |    |       |       |     |      |      |    |      |      |       |       |        |
| Si*  | 1.15   | 2.52    |       |       |   |      |       |   |      |       |    |       |       |     |      |      |    |      |      |       |       |        |
| Cu   | 0.65   | 0.63    |       |       |   |      |       |   |      |       |    |       |       |     |      |      |    |      |      |       |       |        |
| Total  | 37.46  | 100.00  |       |       |   |      |       |   |      |       |    |       |       |     |      |      |    |      |      |       |       |        |
| Síntesis   |  |         |       |       |   |      |       |   |      |       |    |       |       |     |      |      |    |      |      |       |       |        |
| <p>La partícula analizada mediante EDS dio como resultado que tiene en su mayoría aluminio y oxígeno por ello se concluyó que esta partícula es un óxido de aluminio con un tamaño de aproximadamente 120µ .</p> |  |         |       |       |   |      |       |   |      |       |    |       |       |     |      |      |    |      |      |       |       |        |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

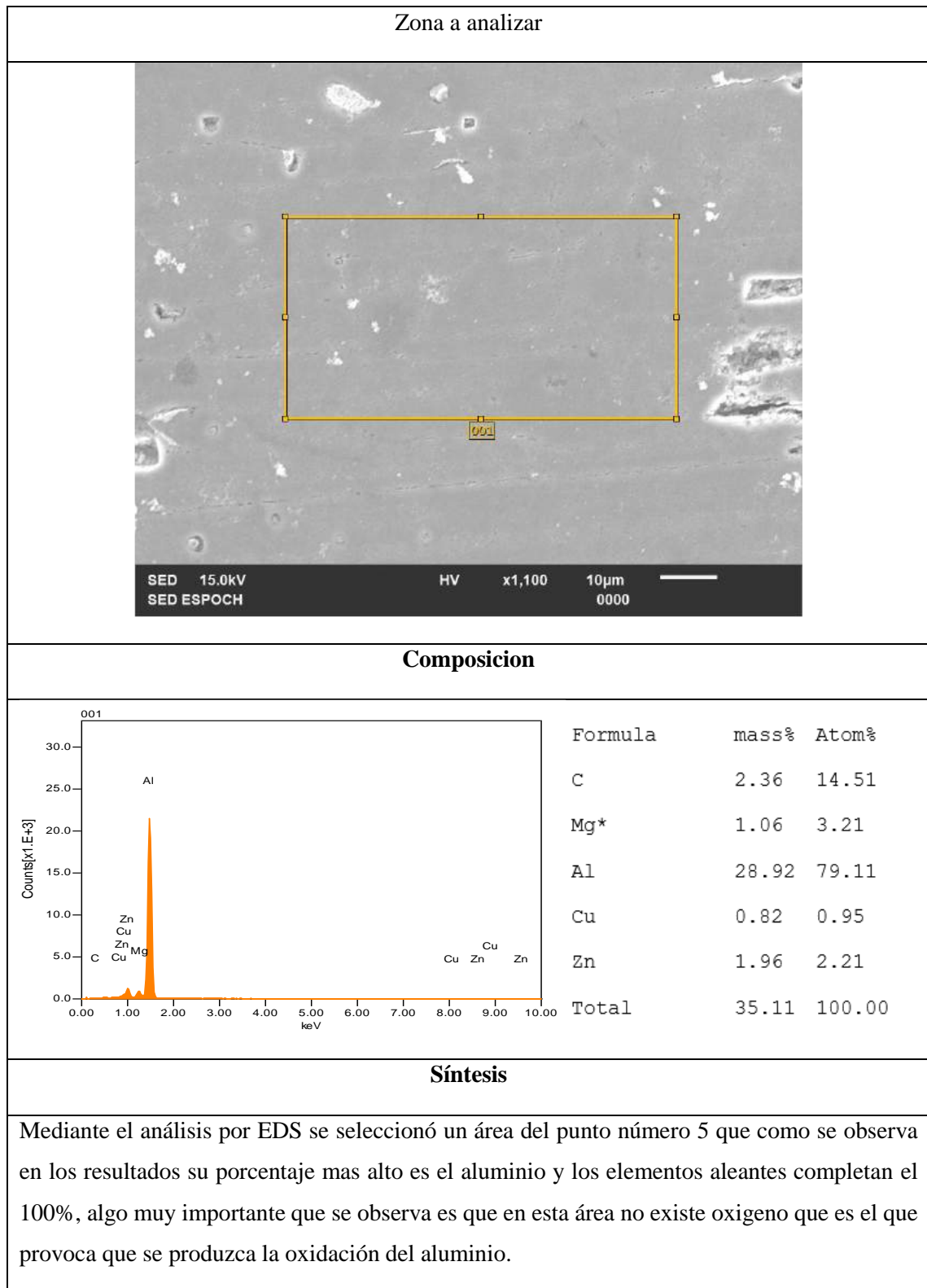


**Tabla 21-4:** EDS en la zona del punto 2



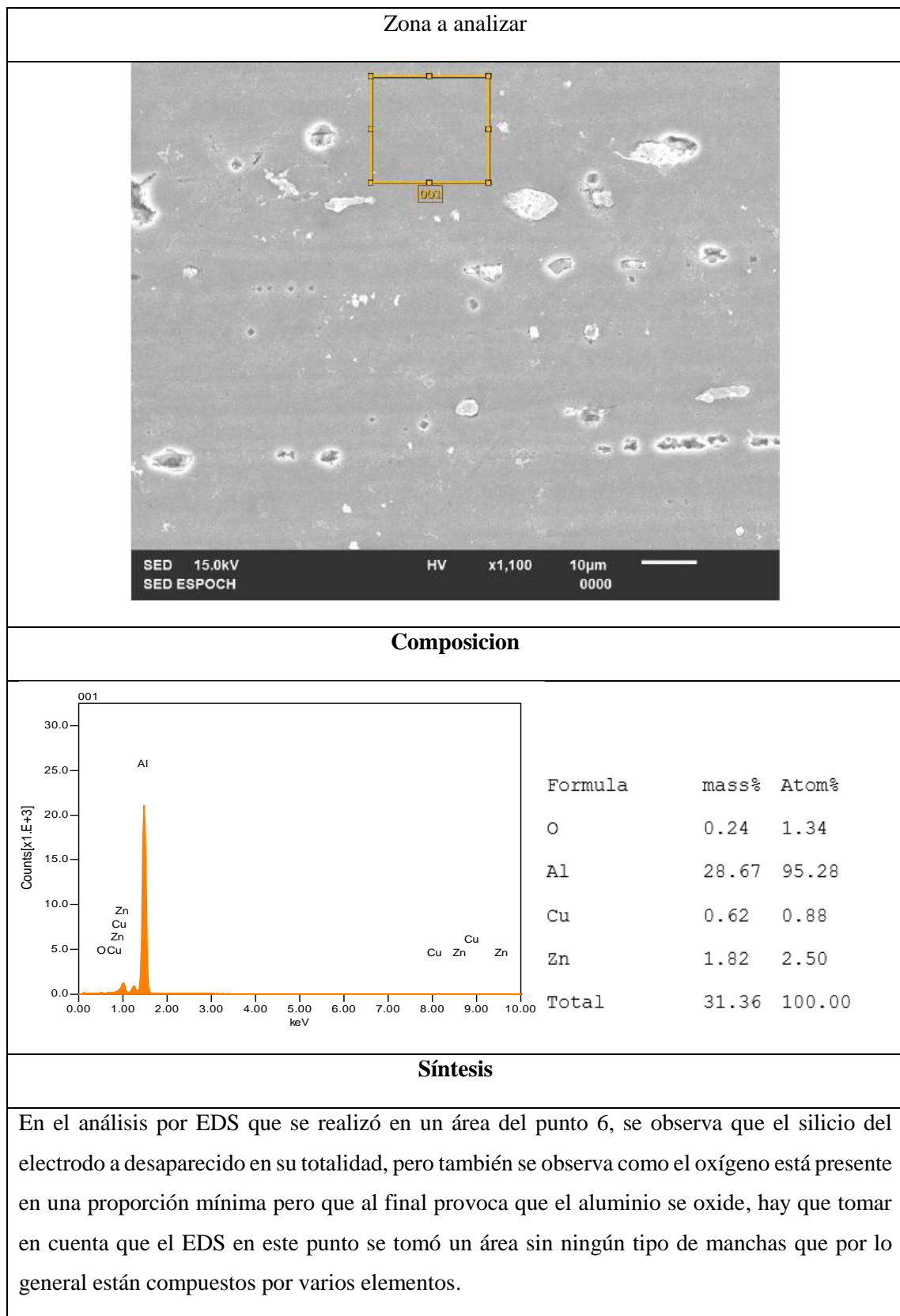
Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

**Tabla 22-4:** EDS en la zona del punto 5



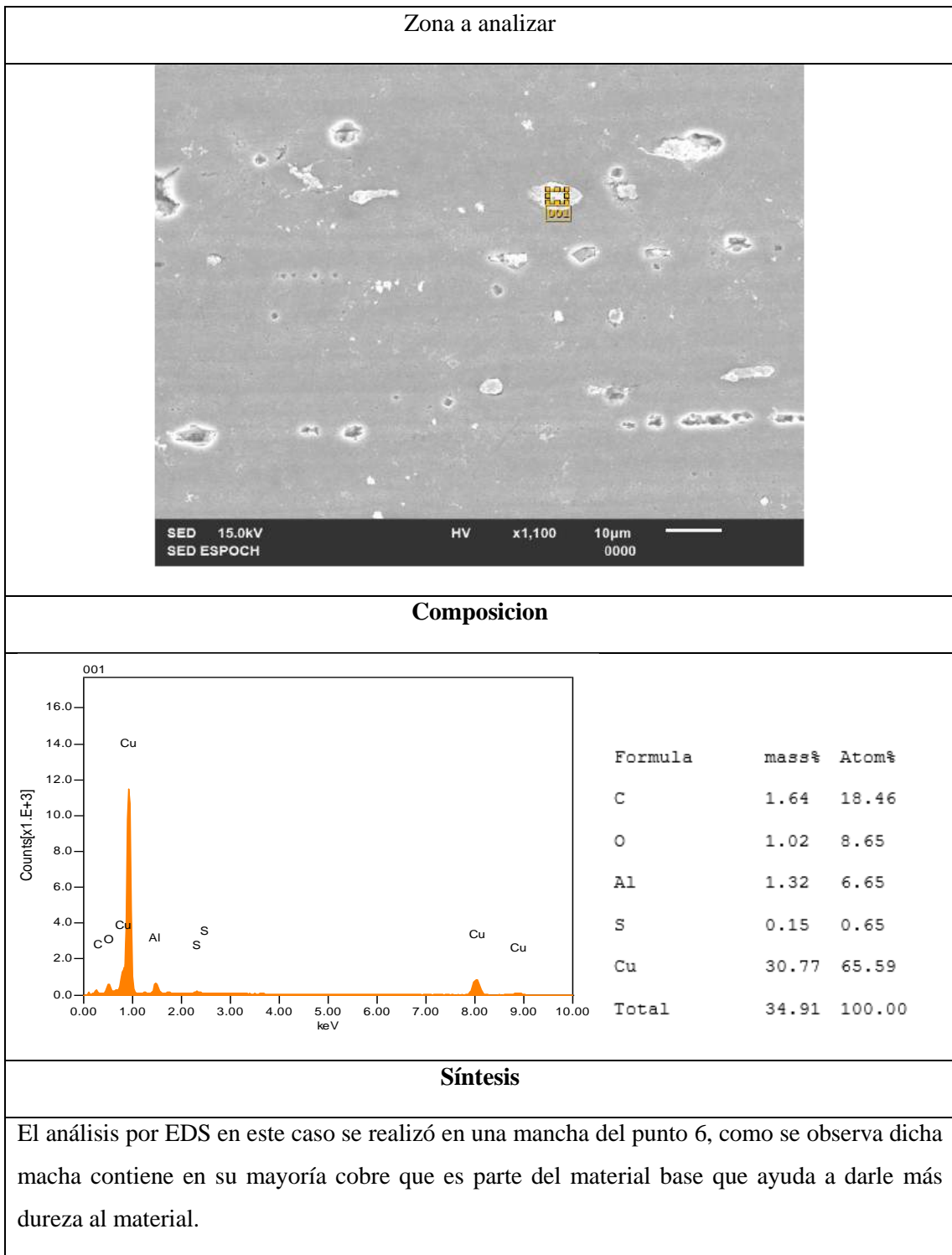
Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

**Tabla 23-4:** EDS en la zona del punto 6



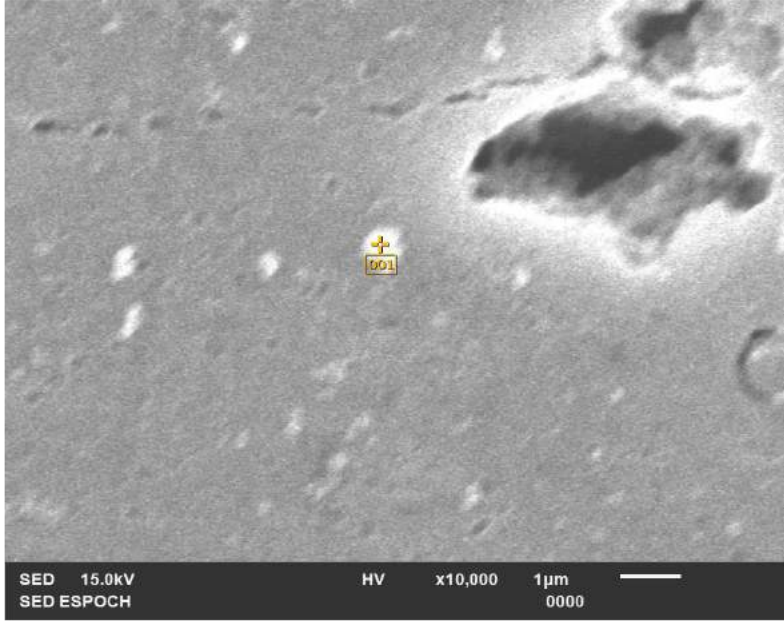
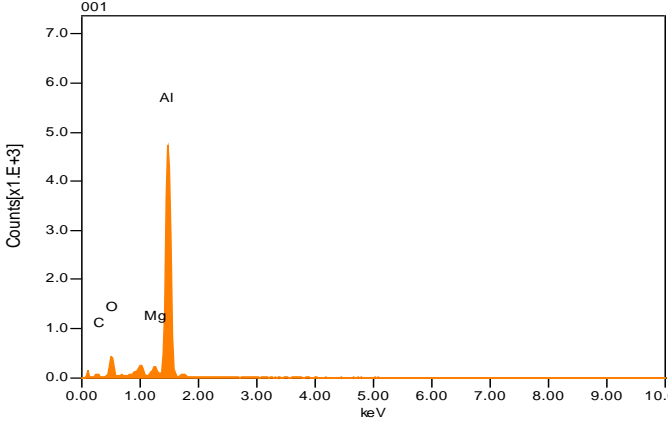
Realizado por: Sisema, Edwin, 2023

**Tabla 24-4:** EDS en una región blanca



Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

**Tabla 25-4:** EDS en una partícula redonda

| Zona a analizar  |   |               |       |       |   |      |       |   |      |       |    |      |      |    |      |       |              |             |               |
|--|---|---------------|-------|-------|---|------|-------|---|------|-------|----|------|------|----|------|-------|--------------|-------------|---------------|
|  <p>SED 15.0kV HV x10,000 1µm<br/>SED ESPOCH 0000</p>  |   |               |       |       |   |      |       |   |      |       |    |      |      |    |      |       |              |             |               |
| Composicion  |   |               |       |       |   |      |       |   |      |       |    |      |      |    |      |       |              |             |               |
|  <p>Counts[×1.E+3]<br/>keV</p>  | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Formula</th> <th>mass%</th> <th>Atom%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>1.22</td> <td>22.45</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>1.62</td> <td>22.41</td> </tr> <tr> <td>Mg</td> <td>0.24</td> <td>2.18</td> </tr> <tr> <td>Al</td> <td>6.46</td> <td>52.96</td> </tr> <tr> <td><b>Total</b></td> <td><b>9.53</b></td> <td><b>100.00</b></td> </tr> </tbody> </table> | Formula       | mass% | Atom% | C | 1.22 | 22.45 | O | 1.62 | 22.41 | Mg | 0.24 | 2.18 | Al | 6.46 | 52.96 | <b>Total</b> | <b>9.53</b> | <b>100.00</b> |
| Formula  | mass%   | Atom%         |       |       |   |      |       |   |      |       |    |      |      |    |      |       |              |             |               |
| C  | 1.22  | 22.45         |       |       |   |      |       |   |      |       |    |      |      |    |      |       |              |             |               |
| O  | 1.62  | 22.41         |       |       |   |      |       |   |      |       |    |      |      |    |      |       |              |             |               |
| Mg   | 0.24  | 2.18          |       |       |   |      |       |   |      |       |    |      |      |    |      |       |              |             |               |
| Al   | 6.46  | 52.96         |       |       |   |      |       |   |      |       |    |      |      |    |      |       |              |             |               |
| <b>Total</b>   | <b>9.53</b>   | <b>100.00</b> |       |       |   |      |       |   |      |       |    |      |      |    |      |       |              |             |               |
| Síntesis   |   |               |       |       |   |      |       |   |      |       |    |      |      |    |      |       |              |             |               |
| <p>El análisis por EDS en este caso se realizó en una partícula del material base, como se observa dicha partícula contiene en su mayoría aluminio y también un alto porcentaje de oxígeno, básicamente esta partícula es de óxido de aluminio que se produce por la contaminación que tuvo el material.</p> |   |               |       |       |   |      |       |   |      |       |    |      |      |    |      |       |              |             |               |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

### 4.2.3 Resistencia a la tracción

Como ya se mencionó por cada placa soldada se realizaron dos probetas según indica la norma AWS D1.2/D1.2 M: 2014 las cuales están codificadas con el código más el número 1 y el número 2 según sea el caso. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 25-4.



**Ilustración 10-4:** Probeta ensayada a tracción

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

**Tabla 26-4:** Resistencia a la tracción de las juntas soldadas

| Código        | Ancho (mm) | Espesor (mm) | Fuerza máxima (N) | Resistencia a la tracción (MPa) | Rotura dentro de la zona soldada |
|---------------|------------|--------------|-------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| CC-PD-95-2-1  | 38,85      | 6,22         | 31700,01          | 131,12                          | si                               |
| CC-PD-95-2-2  | 37,96      | 6,37         | 35600             | 147,23                          | si                               |
| CC-PD-95-3-1  | 38,59      | 6,27         | 34950             | 144,45                          | si                               |
| CC-PD-95-3-2  | 37,37      | 6,28         | 35100             | 149,56                          | si                               |
| CC-PD-100-2-1 | 37,48      | 6,38         | 30750,01          | 128,6                           | si                               |
| CC-PD-100-2-2 | 38,75      | 6,45         | 39300             | 157,24                          | si                               |
| CC-PD-100-3-1 | 38,26      | 6,35         | 39000             | 160,53                          | si                               |
| CC-PD-100-3-2 | 37,17      | 6,25         | 38150             | 164,22                          | si                               |
| CC-PI-95-3-1  | 39,08      | 6,43         | 31500,01          | 125,36                          | si                               |
| CC-PI-95-3-2  | 37,24      | 6,41         | 43000             | 180,14                          | si                               |
| CC-PI-100-2-1 | 39,43      | 6,16         | 32950             | 135,66                          | si                               |
| CC-PI-100-2-2 | 39,64      | 6,29         | 38900             | 156,01                          | si                               |
| CC-PI-100-3-1 | 35,22      | 6,21         | 38550             | 176,26                          | si                               |
| CC-PI-100-3-2 | 37,39      | 6,19         | 29500,01          | 127,46                          | si                               |
| CA-X-95-2-1   | 39,08      | 6,38         | 36400             | 145,99                          | si                               |
| CA-X-95-2-2   | 39,66      | 6,56         | 32950             | 126,65                          | si                               |
| CA-X-95-3-1   | 37,44      | 6,27         | 44150             | 188,07                          | si                               |

**Tabla 26-4:** (continuación)

|              |       |      |          |        |    |
|--------------|-------|------|----------|--------|----|
| CA-X-95-3-2  | 38,29 | 6,32 | 30450,01 | 125,83 | si |
| CA-X-100-2-1 | 38,61 | 6,27 | 47550    | 196,42 | si |
| CA-X-100-2-2 | 36,44 | 6,36 | 32900    | 141,96 | si |
| CA-X-100-3-1 | 38,69 | 6,26 | 42950    | 177,33 | si |
| CA-X-100-3-2 | 38,11 | 6,36 | 32300,01 | 133,26 | si |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

Al tener dos probetas sacadas de la misma placa soldada se procede a realizar un promedio de los datos entregados por la Tabla 27-4 para determinar cuál es el valor de resistencia a la rotura de toda la placa.

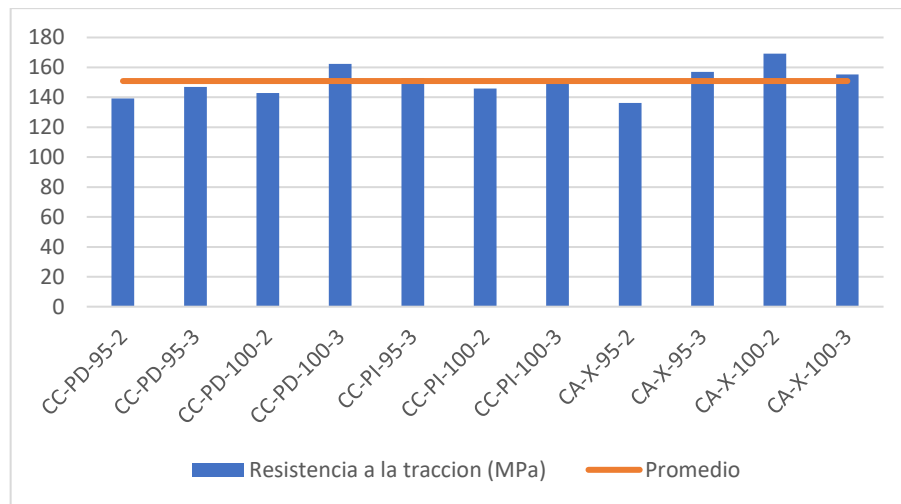
Como se observa en la tabla todas las juntas se rompieron en la zona de soldadura.

En la tabla tenemos los valores promedios para cada placa lo cual indican que la placa que resistió más a tracción fue la que se realizó con corriente alterna con una corriente de 100 amperios y una separación de placa de 2 mm con un valor de 169.19 MPa, y la que menos resistió fue la que se realizó con corriente alterna con una corriente de 95 amperios y separación de dos milímetros con un valor de 136.32 MPa.

**Tabla 27-4:** Resistencia a la tracción promedio

| <b>Designación</b> | <b>Resistencia a la tracción (MPa)</b> |
|--------------------|--|
| CC-PD-95-2         | 139,175                                |
| CC-PD-95-3         | 147,005                                |
| CC-PD-100-2        | 142,92                                 |
| CC-PD-100-3        | 162,375                                |
| CC-PI-95-3         | 152,75                                 |
| CC-PI-100-2        | 145,835                                |
| CC-PI-100-3        | 151,86                                 |
| CA-X-95-2          | 136,32                                 |
| CA-X-95-3          | 156,95                                 |
| CA-X-100-2         | 169,19                                 |
| CA-X-100-3         | 155,295                                |

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023



**Ilustración 11-4:** Resistencia a la tracción promedio de las juntas soldadas

Realizado por: Sislema, Edwin, 2023

Como se observa en el Grafico 2-4 los valores resistencia a la tracción no son muy dispersos y la mayoría se acerca al valor promedio que es de 150,88 MPa.

La resistencia a la tracción del material base que es de 613,28 MPa es un valor muy superior a los valores obtenidos en cada una de las placas soldadas, cuyo valor máximo es de 169,19 MPa que va en contra de uno de los objetivos de la junta soldada que menciona que el material de aporte debe tener una resistencia a la tracción superior al material base.



## CONCLUSIONES

El aluminio estructural en este caso 7075-T6 es un material poco estudiado en la soldadura y por ello se determinaron algunos parámetros obtenidos mediante la bibliografía los cuales son tipo de corriente, amperaje y separación entre placas, estos parámetros se fijaron para realizar la soldadura, la cual fue compleja debido a que los parámetros seleccionados van de la mano junto con un estricto proceso de limpieza de las placas y del área de soldadura.

La soldadura se lo realizó con dos tipos de soldadoras las cuales varían su tipo de corriente obteniendo un cordón visualmente más aceptable con la soldadora de corriente continua y polaridad directa, en este caso se realizó un ensayo de ultrasonido para verificar que las placas estén soldadas, obteniendo un resultado negativo ya que en todas las placas soldadas hubo tramos con faltas de fusión.

Al analizar mediante el microscopio se observó que las placas contenían microporos lo cual verifica que efectivamente las placas no se soldaron de una manera uniforme, en la zona del metal fundido se observaron varios puntos que mediante EDS se iban determinando que elementos podrían ser, varios de esos puntos fueron óxidos de aluminio ya que este ayudó a que la soldadura no fuera uniforme y en varios tramos no se fusionará y provocará poros.

Los ensayos de tracción ayudaron a determinar que el proceso de soldadura SMAW no es viable para este tipo de aluminio ya que el material base resistió un valor de 613,28 MPa mientras que las juntas soldadas el valor más alto obtuvo la probeta con corriente alterna con una corriente de 100 amperios y una separación entre placas de 3 milímetros el cual obtuvo una resistencia a la tracción de 169,19 MPa, el valor máximo obtenido de las juntas soldadas no llega ni al 30 % del valor del material base por lo cual este proceso de soldadura no es viable en este material.

Se determinó que lo que influye directamente a que la junta soldada no resista lo necesario es que el electrodo no consiguió fusionarse correctamente con el material base, esto se debe a que el material se contamina demasiado rápido con el oxígeno provocando óxido de aluminio que al realizar el cordón internamente provoca poros debido al punto de fusión que tiene dicho óxido.

## **RECOMENDACIONES**

Variar las separaciones y el tipo de junta para con ello intentar que las propiedades a tracción aumenten.

Intentar buscar otro tipo de electrodo en el mercado diferente a la ya utilizada serie 4XXX en este caso.

Probar con otro proceso de soldadura ya que la soldadura SMAW al no tener un mecanismo de protección como un gas hace que el material se contamine extremadamente rápido al contacto con el oxígeno.

## BIBLIOGRAFÍA

**ASM METALS HANDBOOK**, *Atlas of Microstructures of Industrial Alloys*. USA: ASM International, 1972, pp.1-351

**AWS D1.2/1.2 M**. *Structural Welding Code-Aluminum*. Miami: AWS, 2014, pp.1-232

**CABRERA, J.** Influencia de la energía aportada a la soldadura GMAW de la aleación 5086-H1116 sobre la microestructura y propiedades mecánicas de resistencia y dureza [En línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Mecánica, Ingeniería Mecánica. Riobamba-Ecuador. 2014. pp. 8-10 [Consulta: 2022-09-15]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/3714>

**ESPINOZA HURTADO, J.** Estudio de la fisuración en caliente en el soldeo de la aleación AA6063-T6 mediante proceso GTAW sin material de aporte [En línea]. Pontificia Universidad Católica del Perú, Ciencias e Ingeniería, Ingeniería Mecánica. Lima-Perú. 2014. pp. 7-9 [Consulta: 2022-08-13]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5476>.

**HIDALGO, F. and CABRERA, R.** Estudio De La Variación Del Amperaje Al Realizar Soldaduras A Tope Mediante Proceso GMAW Aplicado A La Aleación De Aluminio 5086-H116 Y Su Efecto En Las Propiedades Mecánicas De La Zona Afectada Por El Calor [En Línea]. Universidad Técnica de Ambato, Civil y mecánica, Ingeniería mecánica. Ambato-Ecuador. 2014. pp. 11-12 [Consulta: 2022-09-17]. Disponible en: <Http://Repo.Uta.Edu.Ec/Bitstream/Handle/123456789/5301/Mg.Dcev.Ed.1859.Pdf?Sequence=3>

**JET-ARCO**. *La polaridad en la soldadura con electrodo revestido*. España: Jet-ARCO, 2019, pp. 58.

**LINCOLN ELECTRIC**, *Soldeo Manual Con Electrodo Revestidos (Smaw)* [en línea] USA: Lincoln Electric, 2012. [Consulta: 2022-09-18]. Disponible en: <http://solysol.com.es/data/documents/soldadura=20electrodo=20rec.doc.pdf>.

**MELÉNDEZ, A. and QUELAL, V.** Análisis y resultados del comportamiento de los esfuerzos residuales y las deformaciones en juntas soldadas a tope de acero A36, aplicando el método SMAW con electrodos E6011 [En línea]. Universidad de las Fuerzas Armadas, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Mecánica. Quito-Ecuador. 2009. pp. 22-24 [Consulta: 2022-09-26]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/301>.

**PEREZ, J.** Estudio del proceso de soldadura Smaw con electrodo e4043 aplicado en la aleación de aluminio 6005-T6 y su efecto en las propiedades mecánicas de la junta a tope soldada del marco de la ventana del bus en carrocerías IMSE [En línea]. Universidad Técnica de Ambato, Civil y Mecánica, Ingeniería Mecánica. Ambato-Ecuador. 2015. pp. 19-22 [Consulta: 2022-06-22]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/10365>.

**NTE INEN 0109.** *Ensayo de tracción para materiales metálicos a temperatura ambiente.*

**SUGIYONO.** *Manual del soldador OXGASA.* vol. 53. El Salvador: OXGASA, 2018, pp. 88.

**VILLAVICENCIO, J.** Relación, microestructura/propiedad en la soldadura GTAW entre aceros inoxidables y aceros al carbono [En línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Mecánica, Ingeniería Mecánica. Riobamba-Ecuador. 2010. pp. 18-20 [Consulta: 2022-12-06]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1484/1/85t00206.pdf>.

**ZARATE MONJE, J.** Comparación de las características en el soldeo de las aleaciones de aluminio con materiales de aporte ER4043 y ER5356 mediante el proceso MIG [En Línea]. Pontificia Universidad Católica del Perú, Ciencias e Ingeniería, Ingeniería Mecánica. Lima-Perú. 2014. pp. 17-22 [Consulta: 2022-11-09]. Disponible En: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/1042>.