

**Universidad Católica Santa María**  
**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-  
Eléctrica y Mecatrónica**



**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS PROCESOS DE SOLDADURA  
FCAW Y GMAW-P APLICADOS EN LA FABRICACIÓN DE CAMIONES  
TOLVAS**

Tesis Presentada por el Bachiller:

**Kuong Farfán, Christopher José**

Para optar el Título profesional de:

**Ingeniero Mecánico**

Asesor:

**Dr. Gordillo Andia, Carlos Alberto**

**Arequipa-Perú**

**2023**

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA**  
**TITULACIÓN CON TESIS**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 23 de Julio del 2023

**Dictamen: 007190-C-EPIMMEM-2023**

Visto el borrador del expediente 007190, presentado por:

**2012601681 - KUONG FARFAN CHRISTOPHER JOSE**

Titulado:

**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS PROCESOS DE SOLDADURA FCAW Y GMAW-P APLICADOS  
EN LA FABRICACIÓN DE CAMIONES TOLVAS**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**06426119 - ALVAREZ FLOREZ DARWIN REYNALDO  
DICTAMINADOR**



**29644724 - CARPIO RIVERA MARCO ANTONIO  
DICTAMINADOR**



**43209234 - ALMIRON BACA JONATHAN JOSEPH  
DICTAMINADOR**



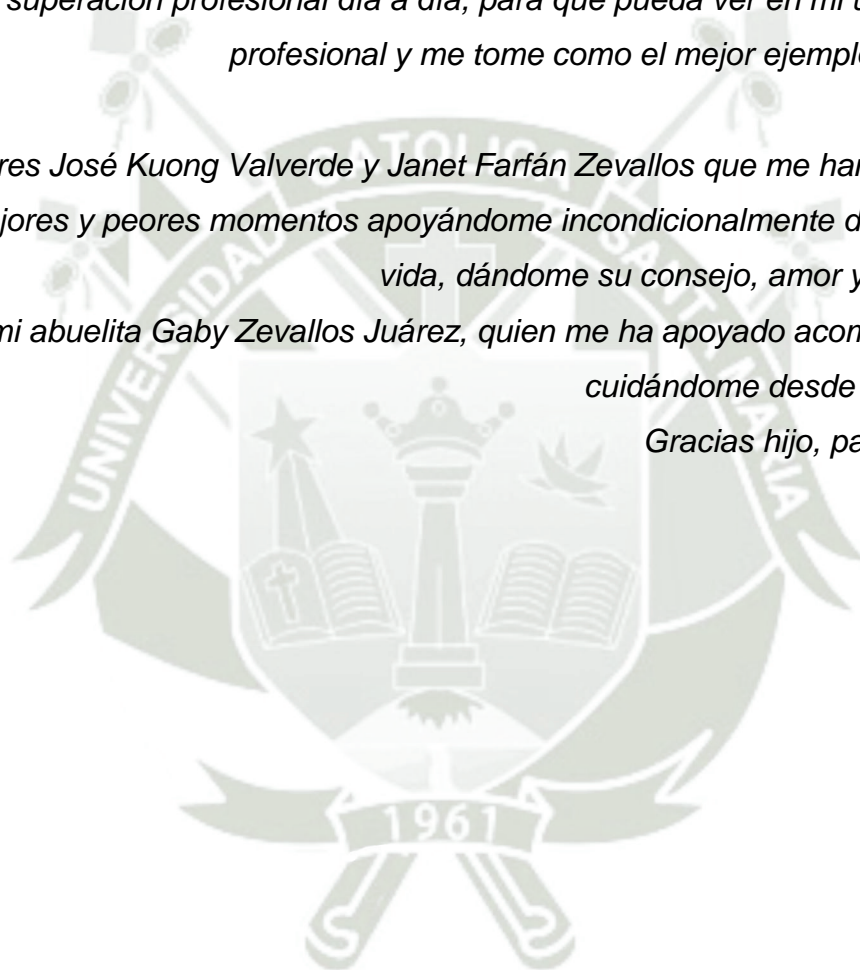
## DEDICATORIA

*Quiero dedicar esta tesis a mi hijo Lian, quien ha sido y es el motivo principal de mi superación profesional día a día, para que pueda ver en mi un gran papa y profesional y me tome como el mejor ejemplo para su vida.*

*A mis padres José Kuong Valverde y Janet Farfán Zevallos que me han acompañado en mis mejores y peores momentos apoyándome incondicionalmente durante toda mi vida, dándome su consejo, amor y comprensión.*

*A mi abuelita Gaby Zevallos Juárez, quien me ha apoyado acompañándome y cuidándome desde muy pequeño.*

*Gracias hijo, padres y abuela.*



## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar, agradecerle a Dios por haberme llevado por el camino que ha deseado para poder forjarme como hijo, padre y profesional, por haberme dado la fuerza necesaria para no rendirme y perseguir mis sueños a pesar de todas las dificultades.*

*Un agradecimiento muy especial al Ingeniero Jesús Estrada Zambrano quien me mostro el camino apasionado de la soldadura, por su apoyo incondicional, así como en como en equipos de soldadura, instalaciones donde se trabajó y su siempre consejo profesional.*

*Al técnico Luis Ramos Huacan de la empresa Soldexa por su asesoría teórica durante toda la fabricación de la tesis.*

*A todo el equipo de técnicos de la empresa Soldexa, en especial a Juan Cruz Sivincha, José Soto García, Víctor Silva Cruz quienes me proporcionaron todo el apoyo en la parte práctica durante la soldadura y ensayos de laboratorio.*

*Y todas las personas que en algún momento me apoyaron, dándome aliento, ánimos, consejo y guía a lo largo de mi etapa de estudiante universitario.*

## RESUMEN

El presente estudio tenía como propósito principal establecer los beneficios de sustituir los procesos de soldadura FCAW por el proceso GMAW-P en el recubrimiento de la protección a la estructura de la tolva, 2022; para el desarrollo se aplicaron ambos procesos de soldaduras y las pruebas realizadas se enviaron al laboratorio de Soldexa en Lima, cuyos ensayos de tracción arrojaron que el proceso FCAW, el resultado fue de:  $T1= 765 \text{ MPa}=110,954 \text{ PSI}$  y  $T2=758 \text{ MPa}=109,939 \text{ PSI}$ . Por otro lado, para el proceso GMAW-P, los ensayos de tracción arrojaron los siguientes resultados:  $T1= 580 \text{ MPa}=84,121 \text{ PSI}$  y  $T2=574 \text{ MPa}=83,251 \text{ PSI}$ . La resistencia a la tracción de los materiales de aporte *MIGFIL PS 6-GC* y *Dual Shield 7100* es de 70000 PSI, lo que precisa que ambos están dentro de la norma. En cuanto al ensayo de impacto los resultados del proceso GMAW-P son significativamente superiores a los obtenidos en el proceso FCAW, lo cual indica que el material ha mantenido su microestructura de manera más efectiva, lo que a su vez aumenta considerablemente su resistencia. En cuanto al ensayo de dureza Vickers HV en las zonas "MB" y "MS" es similar en ambos casos, con pequeñas diferencias. Sin embargo, en las zonas "ZAC" se observa una ligera disparidad en la dureza. A pesar de esta diferencia, no afecta significativamente las propiedades mecánicas de la unión soldada. Finalmente, al examinar las imágenes macrográficas, se puede apreciar que la zona afectada por el calor (ZAC) en el proceso GMAW-P es significativamente más pequeña en comparación con el proceso FCAW.

Palabras claves: Soldadura, FCAW, GMAW-P, ensayos, beneficios.

## ABSTRACT

The main purpose of this study was to establish the benefits of replacing the FCAW welding processes with GMAW-P in the manufacture of dump trucks, 2022; For the development, both welding processes were applied and the tests carried out were sent to the Soldexa laboratory in Lima, the tensile tests showed that the FCAW process, the result was:  $T1= 765 \text{ MPa}=110,954 \text{ PSI}$  and  $T2=758 \text{ MPa}= 109,939\text{psi}$ . On the other hand, for the GMAW-P process, the tensile tests yielded the following results:  $T1= 580 \text{ MPa}=84,121 \text{ PSI}$  and  $T2=574 \text{ MPa}=83,251 \text{ PSI}$ . The tensile strength of the filler material is 70,000 PSI, which specifies that both are within the norm. Regarding the impact test, the results of the GMAW-P process are significantly higher than those obtained in the FCAW process, which indicates that the material has maintained its microstructure more effectively, which in turn increases with great resistance. Regarding the Vickers HV hardness test in the "MB" and "MS" zones, it is similar in both cases, with small differences. However, in the "ZAC" zones a slight disparity in hardness is observed. Despite this difference, it does not significantly affect the mechanical properties of the welded joint. Finally, by examining the macro images, it can be seen that the heat affected zone (HAZ) in the GMAW-P process is significantly smaller compared to the FCAW process.

Keywords: Welding, FCAW, GMAW-P, tests, benefits.

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>IV</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XIV</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>1</b>
1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	2
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.3.1. <i>Objetivo general</i> .....	3
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.4. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.5.1. <i>Justificación académica</i> .....	4
1.5.2. <i>Justificación económica</i> .....	5
1.5.3. <i>Justificación práctica</i> .....	5
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>6</b>
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN .....	6
2.2. BASES TEÓRICAS .....	9
2.2.1. <i>Proceso de soldadura</i> .....	9
2.2.2.1. Tipos de soldadura .....	12
2.2.2. <i>Proceso de soldadura Flux Cored Arc Welding (FCAW)</i> .....	17

2.2.2.1. Ventajas del proceso FCAW .....	20
2.2.2.2. Desventajas del proceso FCAW .....	20
2.2.2.3. Metales base para el soldeo FCAW.....	20
2.2.3. <i>Métodos de protección de arco</i> .....	21
2.2.3.1. Protección gaseosa .....	21
2.2.3.2. Autoprotección .....	22
2.2.4. <i>Proceso de soldadura GMAW-P</i> .....	22
2.2.5. <i>Análisis y ensayos</i> .....	29
2.2.5.1. Análisis macrográfico .....	29
2.2.5.2. Ensayos no destructivos .....	29
2.2.5.3. Ensayos de penetración .....	32
2.2.5.4. Ensayos de resiliencia .....	34
2.2.5.5. Ensayos de tracción.....	36
2.2.6. <i>Comportamiento del acero</i> .....	38
2.2.6.1. Aceros aleados .....	38
2.2.6.2. Aceros Hadfield.....	38
2.2.6.3. Aceros Chronit T1 – 500 .....	38
2.2.7. <i>Zona de la unión soldada afectada por el calor</i> .....	39
2.2.7.1. Zona de Fusión .....	39
2.2.7.2. Zona Afectada Térmicamente.....	39
2.2.7.3. Metal base .....	40
2.2.8. <i>Mantenimiento de tolvas</i> .....	40
2.2.8.1. Mantenimiento predictivo .....	41
2.2.8.2. Mantenimiento preventivo .....	41
2.2.8.3. Mantenimiento correctivo .....	41
2.2.8.4. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad .....	42
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>43</b>
3. ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.....	43
3.1. ESPECIFICACIONES DE LOS CAMIONES TOLVA .....	50
3.2. DESGASTE DE LAS TOLVAS .....	53
3.3. EQUIPOS Y MATERIALES A UTILIZAR .....	56

3.4. SELECCIÓN DE ACEROS Y ESPECIFICACIÓN .....	61
3.4.1. <i>Composición química de la plancha de acero Chronit T1 500</i> .....	63
3.5. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO .....	64
3.6. ELABORACIÓN DEL BISEL .....	65
3.7. PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.....	65
3.7.1. <i>Procedimiento FCAW</i> .....	65
3.7.2. <i>Procedimiento GMAW-P</i> .....	69
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>77</b>
4. CALIFICACIÓN Y ENSAYOS PARA EL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.....	77
4.1. PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.....	77
4.2. EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA .....	79
4.1.1. <i>Ensayos</i> .....	81
4.1.2. <i>Limitaciones presentadas</i> .....	106
4.1.3. <i>Ventajas de los procesos de soldadura</i> .....	107
4.1.3.1. <i>Proceso de soldadura FCAW</i> .....	107
4.1.3.2. <i>Procesos de soldadura GMAW-P</i> .....	108
4.2. DISCUSIÓN.....	109
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>111</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>114</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>115</b>
ANEXOS .....	122
ANEXO 2 NORMA AWS B2.1 .....	122

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Elementos del proceso.....	26
<b>Tabla 2</b> Ensayos de penetración.....	34
<b>Tabla 3</b> Propiedades mecánicas del Acero Chronit T1-500 .....	39
<b>Tabla 4</b> Agrupamiento del índice de susceptibilidad .....	45
<b>Tabla 5</b> Índice de susceptibilidad .....	46
<b>Tabla 6</b> Temperatura mínima de precalentamiento.....	47
<b>Tabla 7</b> Rendimiento térmico de diferentes procesos de soldadura.....	48
<b>Tabla 8</b> Promedio de la Energía Bruta Aportada (EBA) para GMAWP .....	49
<b>Tabla 9</b> Promedio de la Energía Bruta Aportada (EBA) para FCAW .....	50
<b>Tabla 10</b> Especificaciones Técnicas 793 .....	51
<b>Tabla 11</b> Especificaciones Técnicas 797 .....	52
<b>Tabla 12</b> Especificaciones Técnicas 930 .....	52
<b>Tabla 13</b> Especificaciones Técnicas 980 .....	53
<b>Tabla 14</b> Equipos utilizados para cada proceso .....	56
<b>Tabla 15</b> Especificaciones técnicas de la máquina Warrior .....	56
<b>Tabla 16</b> Especificaciones Técnicas máquina Aristo 500ix.....	58
<b>Tabla 17</b> Materiales utilizados para cada proceso de soldadura.....	59
<b>Tabla 18</b> Especificaciones de la plancha Chronit T1 500.....	61
<b>Tabla 19</b> Composición química .....	63
<b>Tabla 20</b> Especificaciones técnicas MIGFIL PS 6-GC .....	72
<b>Tabla 21</b> Propiedades típicas de Tensión .....	72
<b>Tabla 22</b> Teste Charpy.....	72
<b>Tabla 23</b> Depósito .....	73
<b>Tabla 24</b> Valores GMAW-P .....	73
<b>Tabla 25</b> Especificaciones técnicas Dual Shied 7100 .....	74
<b>Tabla 26</b> Propiedades típicas de Tensión .....	74
<b>Tabla 27</b> Teste Charpy.....	74
<b>Tabla 28</b> Depósito .....	75
<b>Tabla 29</b> Valores FCAW.....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Elementos del proceso FCAW.....	17
<b>Figura 2</b> Hilo fundente tubular.....	18
<b>Figura 3</b> Estación de la soldadura FCAW .....	19
<b>Figura 4</b> Transferencia por arco pulsante GMAW-P .....	23
<b>Figura 5</b> Transferencia por arco pulsado .....	26
<b>Figura 6</b> Flujo térmico en diferentes geometrías.....	28
<b>Figura 7</b> Análisis macrográfico.....	29
<b>Figura 8</b> Calibrador .....	30
<b>Figura 9</b> Flexómetro.....	31
<b>Figura 10</b> Lupa de lente convexo.....	31
<b>Figura 11</b> Kit de galgas.....	31
<b>Figura 12</b> Ensayo Charpy .....	35
<b>Figura 13</b> Ensayo Izod.....	36
<b>Figura 14</b> Ensayo de tracción uniaxial .....	37
<b>Figura 15</b> Ensayo de tracción biaxial .....	37
<b>Figura 16</b> Zona de la unión soldada afectada por el calor .....	40
<b>Figura 17</b> Mantenimiento de tolvas.....	40
<b>Figura 18</b> Equivalente de Carbono (CE).....	44
<b>Figura 19</b> Camión Tolva 793.....	51
<b>Figura 20</b> Camión tolva 797.....	51
<b>Figura 21</b> Camión tolva 930.....	52
<b>Figura 22</b> Camión tolva 980.....	53
<b>Figura 23</b> Tolva de camión minero .....	55
<b>Figura 24</b> Tolva de camión minero desgastado .....	55
<b>Figura 25</b> Desgaste de las tolvas.....	56
<b>Figura 26</b> Máquina Warrior 500i .....	56
<b>Figura 27</b> Descripción de la máquina Warrior.....	57
<b>Figura 28</b> Máquina Aristo 500ix .....	57
<b>Figura 29</b> Balón de gas.....	58

<b>Figura 30</b> Descripción y Especificaciones técnicas del pirómetro digital laser.....	59
<b>Figura 31</b> Alambre tubular dual shield 7100 .....	60
<b>Figura 32</b> Alambre solido Migfil ps6-gs de 1.6 de diámetro .....	60
<b>Figura 33</b> Acero Chronit T1 500.....	60
<b>Figura 34</b> Precalentado .....	64
<b>Figura 35</b> Medición de temperatura .....	64
<b>Figura 36</b> Ángulo de las planchas.....	65
<b>Figura 37</b> Espesor de la plancha .....	66
<b>Figura 38</b> Penetración y limpieza.....	66
<b>Figura 39</b> Segunda penetración.....	66
<b>Figura 40</b> Llenado.....	67
<b>Figura 41</b> Enfriamiento .....	67
<b>Figura 42</b> Mediciones .....	68
<b>Figura 43</b> Preparación de las probetas.....	68
<b>Figura 44</b> Probetas .....	68
<b>Figura 45</b> Medición de la temperatura .....	69
<b>Figura 46</b> Pase de raíz .....	69
<b>Figura 47</b> Blanqueamiento.....	70
<b>Figura 48</b> Cordones de relleno .....	70
<b>Figura 49</b> Control del proceso.....	71
<b>Figura 50</b> Enfriamiento .....	71
<b>Figura 51</b> Reporte y gráfica Ensayo de Tracción.....	85
<b>Figura 52</b> Reporte y gráfica Ensayo de Tracción.....	86
<b>Figura 53</b> Informe de ensayo de tracción.....	87
<b>Figura 54</b> Reporte y gráfica Ensayo de Tracción.....	89
<b>Figura 55</b> Informe de ensayo de tracción y gráficas .....	90
<b>Figura 56</b> Informe de ensayo de impacto.....	93
<b>Figura 57</b> Informe de ensayo de impacto.....	94
<b>Figura 58</b> Informe de ensayo de impacto.....	95
<b>Figura 59</b> Informe de ensayo de impacto.....	96
<b>Figura 60</b> Informe de ensayo de dureza .....	97

<b>Figura 61</b> Informe de ensayo de dureza .....	98
<b>Figura 62</b> Ensayo de macrografía FCAW .....	100
<b>Figura 63</b> Informe de ensayo de macrografía .....	101
<b>Figura 64</b> Ensayo de macrografía GMAW-P.....	102
<b>Figura 65</b> Informe de ensayo de macrografía .....	103
<b>Figura 66</b> Ensayo de macrografía FCAW .....	104
<b>Figura 67</b> Ensayo de macrografía GMAW-P.....	105



## INTRODUCCIÓN

Los procesos de soldadura, consiste en la unión de dos o más piezas de material metálico o termoplástico por medio de un proceso de coalescencia (fusión), ya sea que se dé con o sin la aportación de nuevo material metálico, inicialmente se calentaban las piezas, en una fragua hasta que llegaban a un punto que ya estaban blandas y flexibles, posteriormente se comenzaban a golpear con un martillo o forjar las piezas una vez que se terminaba se dejaba enfriar y endurecer, su crecimiento fue evolucionando, hasta que llego el uso de electrodos, que es una varilla metálica que se encuentra revestida, cuya función es transferir el núcleo hacia el metal base por medio de una zona eléctrica generada por la corriente de soldadura, y así sucesivamente hasta llegar a soldaduras blandas, fuertes, oxiacetilénica, por resistencia eléctrica, por arco eléctrico, por arco de gas, entre otras.

Actualmente, a nivel industrial el uso de camiones de tolva forma parte integral de los procesos ya que permite la entrega y transporte de materiales o productos pesados en grandes volúmenes; permitiendo la optimización de sus operaciones, al caracterizarse en ser un medio de transporte de gran potencia y eficiencia, las tolvas se encuentran diseñadas para transportar y/o almacenar materiales como piedras, arena, productos agrícolas, minerales, entre otros.

## CAPÍTULO I

### 1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Identificación del problema

A nivel industrial, constantemente están buscando mecanismos que optimicen los procesos, a fin de garantizar el tiempo estimado para la ejecución de los trabajos, en las grandes industrias se requieren maquinarias cuyas escalas permita viabilizar los procesos en el menor tiempo posible, en base a ello, las empresas mineras, cementeras, entre otras, recurren a camiones de tolvas a fin de incrementar el volumen de material a transportar, en base a ello, el diseño de la tolva debe ser resistente a materiales abrasivos y que su estructura debe ser estable.

Es por ello, que las empresas encargadas de fabricar y construir instrumentos y equipos dirigidos al sector industrial, deben ejecutar las actividades con maquinarias y procesos de excelente calidad a fin de garantizar la durabilidad, resistencia y calidad de los productos; en el caso específico de construcción de tolvas para camiones, se emplean materiales flexibles, tomando en cuenta que son empleadas para el manejo, depósito, canalización y distribución de materiales cuya característica principal es que son de gran tamaño, con compuertas o aperturas ubicados en la parte trasera que permite la descarga de los materiales, el tipo de tolva varía de acuerdo a la finalidad del proceso que va a ejecutar.

Para el recubrimiento de protección a la estructura de la tolva se emplean una mezcla de placas de acero que, entre otras técnicas, utiliza procesos de soldadura con el propósito de unir las piezas dando la forma de acuerdo al modelo

de la tolva a realizar, dicho proceso debe cumplir con procesos de calidad de acuerdo a las Normas ISO 9000 que garantice la resistencia, volumen, funcionalidad y durabilidad. El proceso de soldadura debe ser realizado por profesionales que garantice la calidad del producto final, a fin de evitar errores en el proceso como una inadecuada longitud del arco, falta de control durante la ejecución de la técnica de soldar, humedad excesiva en los electrodos o las juntas, excesiva o lenta velocidad en el avance del electrodo, fusión incompleta, cuyos efectos disminuyen la calidad de la estructura e incrementa la posibilidad de roturas.

## **1.2. Descripción del problema**

Los camiones tolvas son utilizado principalmente por las grandes industrias con el propósito de transportar grandes cargas de diversos materiales siendo los más recurrentes las piedras, minerales, arena, en base a ello los trabajos que se ejecutan en la fábrica de las tolvas de los camiones requieren que sean de máxima calidad para así garantizar su utilidad considerando que los materiales antes mencionados son abrasivos y las empresas que las requieren necesitan que tengan un buen rango de tiempo de vida tomando en cuenta que deben realizarse de manera periódica mantenimientos para hacer las reparaciones respectivas.

Durante el recubrimiento de protección a la estructura de la tolva se realizan una gran variedad de trabajos de soldadura para unir las placas, siendo las más relevantes las que se encuentran en la parte inferior de la tolva, por lo que se requiere que el proceso de soldadura en esa parte en especifica debe ser la más adecuada tomando en consideración el trabajo y peso que va a contener y se requiere que el mismo no sufra problemas de quiebre en los puntos que puedan

debilitar la parte inferior y traiga como consecuencias un incremento en los periodos de mantenimiento y una disminución en la disponibilidad del camión por reparaciones, es por ello que el presente trabajo de investigación busca hacer un estudio comparativo entre los procesos de soldadura FCAW y el GMAW—P a fin de precisar las ventajas y desventajas de los mismos y en base a ello sustituir el utilizado comúnmente FCAW por el GMAW-P en caso de que los resultados indiquen que dicho proceso presentan mayor fusión entre los metales a unir, evidenciando a su vez que las fallas más recurrentes en los puntos de soldadura disminuyen considerablemente.

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Establecer los beneficios de sustituir los procesos de soldadura FCAW por el proceso GMAW-P en el recubrimiento de protección a la estructura de la tolva, 2022

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Identificar las fases y utilidad de los procesos de soldadura FCAW y GMAW-P aplicados en el recubrimiento de protección a la estructura de la tolva, 2022.
- Analizar los niveles de ejecución en cada fase inmersa en los procesos de soldadura FCAW y GMAW-P aplicados en el recubrimiento de protección a la estructura de la tolva, 2022.
- Comparar los resultados obtenidos para la identificación de las ventajas y desventajas de los procesos de soldadura FCAW y GMAW-P aplicados en el recubrimiento de protección a la estructura de la tolva, 2022.

#### 1.4. Alcance de la investigación

- Dar a conocer las diferencias existentes entre los dos procesos de soldadura.
- Poner en evidencia las ventajas y desventajas de cada uno de los procesos de soldadura en base a los resultados de laboratorios obtenidos de cada ensayo.

#### 1.5. Justificación de la investigación

Las grandes industrias representan un papel primordial en el desarrollo del país, es por ello que constantemente están llevando a cabo medidas que les garantice la calidad de sus productos terminados cumpliendo así con las expectativas de los compradores, cabe destacar que la mayoría de las grandes empresas o industrias del país para agilizar su procesos compran una gran variedad de maquinarias y equipos que al entrar en contacto con los diversos materiales se van deteriorando, razón por la cual amerita que la fábrica ejecuten un proceso de soldadura que alargue la vida útil de los mismos para que sean utilizados de manera efectiva dichas maquinarias, pero existe una gran variedad de procesos de soldadura y lo que se quiere a través del presente trabajo es realizar una comparación de los procesos FCAW y GMAW-P, y poder establecer cuáles son las ventajas y desventajas de dichos procesos a fin de brindar información relevante de gran utilidad para el recubrimiento de protección a la estructura de la tolva de los camiones

##### 1.5.1. Justificación académica

La investigación, brindará información actualizada vinculada con los procesos de soldadura aplicados en mina y los beneficios y desventajas que brinda

cada proceso, para poder establecer si puede sustituirse el proceso FCAW por el GMAW-P, de igual manera servirá de soporte para trabajos que se lleven a cabo a futuro que se encuentre directamente relacionado con los procesos de soldadura, también le permitirá al investigador fortalecer sus conocimientos y aplicarlos laboralmente.

### **1.5.2. Justificación económica**

Las empresas que adquieren los camiones tolvas, realizan una gran inversión de compra por lo que requieren que la empresa fabricante les garantice su funcionalidad y durabilidad, es por ello que al demostrar los beneficios de los procesos de soldadura la empresa fabricante podrá tomar decisiones acertadas que les permita asegurar las ventas de sus camiones al brindar al cliente una mayor garantía y mejora de durabilidad, es por ello que al tener mayor conocimiento acerca de los procesos de soldadura FCAW y GMAW-P, los técnicos harían un mejor uso de los procesos lo que a final le dará beneficios económicos a las empresas fabricantes y a las adquirientes.

### **1.5.3. Justificación práctica**

El investigador tomará en consideración la teoría y práctica de soldadura, basándose en las normas AWS B2.1 para la realización de los ensayos a fin de hacer los comparativos entre los procesos de soldadura FCAW y GMAW-P.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de investigación

##### Internacional

Rodríguez y Tole (2017), en su trabajo de investigación titulado estudio comparativo de soldadura mecanizada con procesos GMAW/FCAW o GTAW frente a procesos de soldadura manual en tubería de transporte de hidrocarburos, tiene como objetivo realizar un estudio de la aplicación de soldadura mecanizada con procesos GMAW/FCAW o GTAW frente a la aplicación de soldadura empleando técnicas manuales, evidenciando cuales son las ventajas que pueda tener un proceso sobre el otro; Se obtuvieron resultados en los cuales el tiempo de soldadura con 1 solo soldador se toma en SMAW 84'35" y con 2 soldadores 44'45" en el caso de soldadura mecanizada FCAW 56'99" y 30'14", en el caso de ventajas de producción el SMAW tiene una velocidad de 15 a 30 cm/min y el FCAW tiene 75 cm/min; se concluyó que se realizó una recopilación de información detallada de los procesos que se utilizan con técnicas mecanizadas que se encuentran en el mercado y tienen aplicación en construcción de oleoductos y gasoductos; también se realizaron pruebas en donde la tubería de 16" de diámetro y el espesor de 0,500 API 5L65 explica que el método mecanizado presenta ciertas ventajas sobre manual (SMAW), por lo que presenta aspectos principales como mayor rapidez que el proceso SMAW.

García (2009), en su trabajo de investigación titulado Optimización de los parámetros de soldadura en el proceso de arco eléctrico con protección de gas (GMAW) para soldar un acero A-27; tiene como objetivo establecer cuál es la

relación existente entre los parámetros de soldadura que se encuentran involucrados en el proceso GMAW y la profundidad de fusión en estudio comparativo de soldadura mecanizada con procesos GMAW y la profundidad de fusión en un acero ASTM A-27, en donde se encontraron parámetros adecuados de la soldadura para lograr la mayor penetración , aplicando soldadura por el revestimiento de acero al carbón con acero inoxidable, con la aplicación de herramientas metalúrgicas, técnicas de sistemas inteligentes estadísticos; tiene cómo metodología con diseño experimental; para lo cual hubo resultados en los cuales se caracterizó el material base donde se determine que es un acero ASTM A-27 con grado 70 para aplicaciones generales de Resistencia a tensión mínima 70 Ksi [485 Mpa]; Se concluyó que el material base en la experimentación es de acero de carbón vaciado ASTM A 27 con un tratamiento térmico de normalizado. Los valores máximos de penetración obtenidos con la medición fueron de 3.3 mm, con valores de 260 Amperes, 30 Volts, velocidad de avance de 70 cm/min y una extensión del electrodo de 12.7mm.

### **Nacional**

Chávez (2018) en su tesis titulada elaboración y calificación de un procedimiento de soldadura GMAW para la fabricación de tubería forzada con material ASTM A572 GR50. Centrales Hidroeléctricas Angel I, II y III. Puno; tiene como objetivo elaborar y calificar el procedimiento de soldadura GMAW con material A572 GR50, que tiene facilidad de garantizar la soldabilidad y calidad de las uniones soldadas, permitiendo el inicio de la fabricación de tubería forzada para las centrales hidroeléctricas Ángel I, II y III. Puno; tiene una metodología de tipo descriptiva que permite la explicación de la elaboración del proyecto; para lo cual presentó

resultados obtenidos como el desarrollo de soldadura y los ensayos fueron sometidos a especímenes de prueba, donde se contienen variables esenciales y no esenciales empleados en el procedimiento y variables suplementarias cuando se requiere; se concluyó que el procedimiento de soldadura GMAW con material ASTM sección IX garantiza de manera que la soldabilidad y calidad de las uniones permiten el inicio de la fabricación de tubería forzada para las centrales hidroeléctricas.

Luna (2015), en su trabajo de investigación titulado evaluación del procedimiento de soldadura de la unión disímil entre aceros api 5l x70 psl1 y astm a707 l5 f65; que tiene como objetivo calificar el procedimiento de soldadura para la unión entre una brida Astm y una tubería api con la finalidad de asegurar su implementación en el sistema de transporte de gas natural por ductos; para lo cual se obtuvieron resultados como que en la inspección visual en la soldadura no detecto discontinuidades en el cordón de soldadura que afectan la calidad del mismo además no se observó penetración incompleta sin desalineación ya que se alcanzó la temperatura adecuada de fusión para una completa penetración, tampoco presentó fallas de fusión entre los metales base y el metal de soldadura abierta a la superficie debido a que la temperatura alcanzada en el metal base fue la apropiada para llegar al punto de fusión, la probeta no mostro ningún tipo de distorsión relevante debido a la aplicación de calor y la fusión de metal de soldadura en los metales base; se llegó a la conclusión de que las especificaciones de procedimiento de soldadura para la tubería de acero API 5L X70 t brida ASTM A707 L5 F65 quedo calificada, aplicando el código AME, sección IX.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Proceso de soldadura**

Es un método usado para unir dos materiales distintos, suelen ser casi siempre metales. La unión es realizada por la fundición de las piezas, siendo generadas por un arco eléctrico; para lograr que las piezas unidas se comporten como una sola se agrega material de aporte.

Los procesos de soldadura tienen una serie de atributos que deben ser considerados antes de tomar la decisión de cual se va a aplicar en función a las especificaciones del producto, entre los diferentes aspectos se encuentran la facilidad de fabricación, resistencia a la corrosión, coste.

Los sitios donde se puede realizar soldaduras pueden ser al aire libre, o en espacios cerrados. Esta técnica como es peligrosa, es necesario que se tomen medidas de seguridad con la finalidad de evitar descargas eléctricas, quemaduras o exposición excesiva a la luz ultravioleta. (Cajahuaringa, 2021)

Hoy en día, los trabajos a nivel industrial demandan procesos de soldadura, tanto para la fabricación de estructuras, tuberías, piezas de transporte, entre otros; como para el mantenimiento de los equipos y maquinarias. En cualquiera de los casos se deben cumplir con los siguientes requerimientos:

#### **1. Reconocimiento del proyecto de soldadura a ejecutar**

Es primordial recopilar toda la información referente al procedimiento que se va a ejecutar en función a lo que se va a soldar, para precisar el material que se va a requerir, el rango de los espesores en relación con el material a soldar, el tipo de las juntas existentes en la construcción en que se

realizó la soldadura, entre cualquier otra característica necesaria para la unión soldada.

## **2. Selección del código a trabajar**

Se debe tener pleno conocimiento del tipo de construcción soldada que se va a trabajar, luego el especialista debe establecer el código que corresponda en base a los requerimientos.

## **3. Definición de variables**

Esta fase permite que se asegure la compatibilidad que debe tener el material base y el depósito de soldadura, y de esta manera poder garantizar la calidad del producto final, en concordancia con las características propias del diseño y la propia ejecución de la soldadura, dichas variables deben estar en función a si es esencial, esencial suplementaria, así como también, las no esenciales.

## **4. Elaboración del documento del procedimiento**

Se establecen tanto las variables como los criterios de soldadura que serán aplicados, con el propósito de que el especialista las realice sobre una probeta, la cual estará preparada previamente para la ejecución de esta fase, y así conocer las propiedades mecánicas de la unión soldada, con el fin de determinar si cumple con lo especificado en el diseño realizado.

## **5. Preparación de la junta**

Antes de comenzar cualquier proceso de soldadura, es fundamental tener preparadas las juntas, para ello es necesario: Identificar los criterios de la junta en base al diseño (especificado con un código, que indica la forma y

geometría del espécimen de prueba), luego se debe cortar los especímenes de prueba, limpiar y preparar los bordes y finalmente se debe ensamblar la junta.

## **6. Desarrollo de la soldadura**

Se da inicio al proceso de soldadura en la junta siguiente los criterios especificados previamente, así mismo, es necesario que la persona a ejecutar el trabajo sea un técnico especialista, garantizando de esta manera la confiabilidad y el conocimiento necesario para conocer cuál es el procedimiento correcto en función al diseño de la junta, logrando así el aporte de ideas y conceptos cuya utilidad se verá reflejada en el trabajo final.

## **7. Inspección visual**

Se conoce como un método no destructivo que permite llevar el control de los procesos en cada una de las fases de soldadura, asegurando durante todo el período de inspección que el trabajo ejecutado cumple con la calidad requerida, la inspección visual puede realizarla el técnico soldador, el supervisor e inspectores de soldadura, asignados por el contratista y por lo propietario.

## **8. Selección y aplicación de ensayos requeridos**

Se debe identificar primero el ensayo según código, la extracción de los cupos de prueba, y finalmente se aplican las pruebas.

## **9. Registro de calificación del procedimiento (RCP)**

Una vez que se obtiene el resultado de los ensayos y se determina que estos cumplen de manera efectiva con las especificaciones del diseño, se

procede a formalizar el proceso, por lo que se requiere que el mismo sea documentalmente registradas las pruebas en el RCP, y demostrar que los materiales son compatibles, los códigos, la técnica aplicada, los procesos de soldadura y el diseño en base a la QW-483 inmerso en el código ASME.

## 10. Edición del procedimiento de soldadura

Se realiza la edición de los procedimientos de soldadura para posteriormente ejecutar las soldaduras que se encuentran cubiertas dentro de los parámetros (Niebles & Arnedo, 2009).

### 2.2.2.1. Tipos de soldadura

Existen principales categorías de soldadura las cuales son:

- **Soldadura por arco**

Estos procesos tienden a utilizar una fuente de alimentación la cual permite crear y mantener un arco eléctrico que esté entre un electrodo y un material de base con el fin de fundir metal en el punto de soldadura. Al producirse un intenso calor permite rápidamente que la base metálica de un resultado de formación en soldadura. El metal de relleno en su mayoría de procesos de soldadura para aumentar el volumen y resistencia de unión soldada. En la punta del electrodo se forma un charco de metal fundido, el cual consta de metal base y relleno. De manera que el electrodo se mueve a lo largo de la junta, el metal que se encuentra fundido se solicita paso a paso.

Es por ello que la fuente de alimentación tiene la posibilidad de utilizar corriente continua o corriente alterna. En ocasiones la región de soldadura

se encuentra protegida por un tipo de gas inerte o semi -inerte, se le conoce más como gas protector. En la soldadura por arco, también en la longitud del mismo se encuentran ambos directamente relacionados en voltaje y cantidad de entrada de calor que se relaciona con corriente. El voltaje que se encuentra suministrado por compañías eléctricas con fin industrial es de 120V, 230V, 380V o 480V, este voltaje es muy alto para efectuarse en el uso de soldadura por arco, es por ello que la primera función que tiene una fuente de soldadura mediante arco es el de reducir el alto voltaje de entrada o línea de rango de voltaje de salida adecuado de 20V hasta 80V. (Nuclear Power, 2022)

- **Consumible – Electrodo no consumible**

Es de por sí una varilla de electrodo que tiene la opción de ser consumible o no consumible. Si el electrodo se encuentra hecho de carbón o de tungsteno, la varilla tiene solo el propósito de transportar corriente que sostendrá el arco eléctrico entre su punta y la pieza de trabajo.

Al usarse un electrodo que no es consumible, el arco podrá estar sostenido por un electrodo, esto no solo conduce a una corriente para sostener el arco sino también funde y suministra metal de relleno. (Nuclear Power, 2022)

- **Soldadura por arco de metal blindado – SMAW**

Es un tipo de soldadura por arco conocido, esta soldadura también es conocida como soldadura manual por arco metálico o electro revestido. Esta soldadura se utiliza en una varilla de metal de relleno que estará recubierta con fundente el cual protege el área de soldadura de oxidación

y contaminación que produce gas dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante el proceso de soldadura. El metal que se utiliza en las varillas es del todo más compatible con el metal a soldar, la composición suele estar cerca del metal base.

Es muy versátil y es realizable con equipos relativamente económicos lo que lo vuelve muy adecuado para trabajos de taller y de campo. Un operador puede llegar a ser muy razonable con una modesta cantidad de entrenamiento y puede lograr el dominio con experiencia. En su mayoría los soldadores nuevos inician como soldadores de varilla y son bastante lentos, a razón de que los electrodos de tipo consumible deben ser reemplazables con frecuencia, y el residuo del fundente, se desprende luego de la soldadura. (Nuclear Power, 2022)

- **Soldadura por arco metálico con gas – GMAW**

Se le conoce como gas inerte, el cual es un proceso de alambre desnudo consumible y se logra obtener el blindaje inundando el arco con gas inerte. Se diferencia del SMAW por el electrodo ya que este es un alambre sólido desnudo que se alimenta continuamente al área de soldadura y se convierte en el metal de aportación a medida que se consume. Los electrodos metálicos con gas se usan ampliamente en modos semiautomáticos, mecánicos y automáticos. La pantalla de gas proporciona una completa protección, ya que una pequeña cantidad de aire atrapado puede contaminar el depósito de soldadura.

Originalmente solo los gases inertes como argón y helio, se utilizan para el blindaje. Actualmente el dióxido de carbono se mezcla con gases

inertes. La soldadura de arco metálico consume de forma continuada alambre, por lo que no hay necesidad de reemplazar el electrodo a intervalos regulares. (Nuclear Power, 2022)

- **Soldadura por arco tungsteno con gas – Soldadura TIG**

Este proceso de soldadura por arco utiliza electrodo de tungsteno no consumible y un gas inerte para el blindaje del arco. Su utilidad se encuentra dada por materiales delgados, en donde el método se caracteriza por un arco estable y logra a velocidades relativamente bajas. Su proceso de soldadura se puede utilizar para metales reactivos, como titanio y circonio, aluminio y magnesio. (Nuclear Power, 2022)

- **Soldadura de arco sumergido – SAW**

Es un método de soldadura de elevada calidad el cual implica hundir el arco de la soldadura por debajo de un montículo de partículas de flujo granular, cuando se inicia el arco. Posteriormente se agrega fundente adicional por delante del electrodo a medida que avanza el recorrido de soldadura. El fundente tiene la función de proteger el arco y el metal que aporta principalmente un alambre de electrodo que se alimenta constantemente por la capa de flujo que bloquea contaminantes de la atmósfera. Mientras se realiza el proceso de soldadura se suele reutilizar el 50% al 90% del fundente. (Nuclear Power, 2022)

- **Soldadura por resistencia**

Implica la generación de calor a partir del flujo de corriente eléctrica por medio de las piezas que se unen, por lo que se forman charcos pequeños

en el área de soldadura a medida que pasa una alta corriente (1000 – 100 000A) a través del metal. La soldadura por resistencia eléctrica es utilizada en la fabricación de tubos de acero y también para montajes de carrocería de automóviles. Esta industria suele emplear procesos de resistencia en aplicaciones de diseño de producto. Por ello se utilizan sistemas automáticos y robóticos para muchas aplicaciones. (Nuclear Power, 2022)

Los procesos que suele usar en cuanto a resistencia de soldadura son:

- Soldadura puntos de resistencia (RSW)
  - Soldadura costura por resistencia (RSEW)
  - Soldadura proyección de resistencia (RPW)
  - Soldadura de pernos por resistencia.
- **Soldadura por Rayo láser**

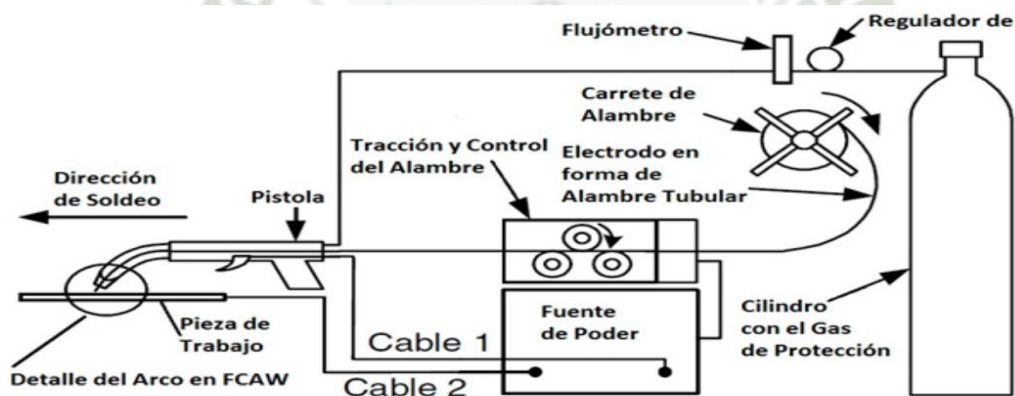
Son procesos de soldadura por densidad alta en la potencia, su tasa es muy alta en cuanto a la entrada de calor. Generalmente requieren automatización. Esta soldadura utiliza efectos por fusión de material con el nivel de calor proporcionado por el rayo láser. En la soldadura el rayo láser es monocromático coherente en porción de frecuencia infrarroja o ultravioleta del espectro de radiación electromagnética. Los láseres comerciales de dióxido de carbono pueden emitir muchos cientos de vatios en un solo modo de tipo espacial que se concentra en un punto muy pequeño. Es por ello que su emisión está en la posición de infrarrojo térmico a 10,6  $\mu\text{m}$ ; tal laser utiliza habitualmente la industria para cortar y soldar. El haz en bruto mínimamente divergente se enfoca en un punto

pequeño que podrá obtener mayor densidad de potencia. (Nuclear Power, 2022)

### 2.2.2. Proceso de soldadura Flux Cored Arc Welding (FCAW)

Este proceso de es de soldadura con respecto al arco eléctrico utiliza un electrodo, el cual es de material metálico y el charco de soldadura. Se emplea gas de manera que protegerá el metal líquido cuando el arco esté encendido, con o sin protección adicional, que provenga del suministro de gas extremadamente, sin aplicación de presión. Durante el enfriamiento y solidificación de metal de soldadura que se deposita en la protección. (ESAB, 2022).

**Figura 1** Elementos del proceso FCAW



**Nota:** El esquema muestra cuales constituyen los elementos fundamentales del proceso FCAW ESAB (2022)

El proceso FCAW consiste en el uso de un hilo tubular o electrodo como núcleo fundente. Se fundamenta en aprovechar el calor generado por el arco eléctrico. Internamente tiene un hilo continuo que constituye el elemento fundente, el cual se forma por la pulverización de metales hasta generar escoria, se encuentra constituido por diferentes partículas aleadas, estabilizadores del arco eléctrico y

desoxidantes, que eluden de los cordones de soldadura la contaminación (Cabrejo, 2014).

**Figura 2** *Hilo fundente tubular*



**Nota:** Se visualiza el hilo fundente tubular cuya presentación es en rollo Cabrejo (2014)

Del proceso antes descrito, proviene la afirmación de que este tipo de soldadura se ejecuta siempre con auto protección, sin embargo, es posible brindar mayor protección, proporcionada por los escudos gaseosos. La autoprotección, se da cuando es fundido el electrodo cuando se está soldando, siendo la fusión la que forma la atmósfera protectora del baño de soldadura. De igual manera, se puede realizar con atmósfera protegida, brindada por una variedad de gases externos, teniendo en consideración que se deben evitar el nitrógeno y el oxígeno (Cabrejo, 2014).

Su fuente de poder suministra corriente continua y generalmente es de voltaje continuo, para las aplicaciones que son de unión se utiliza polaridad positiva

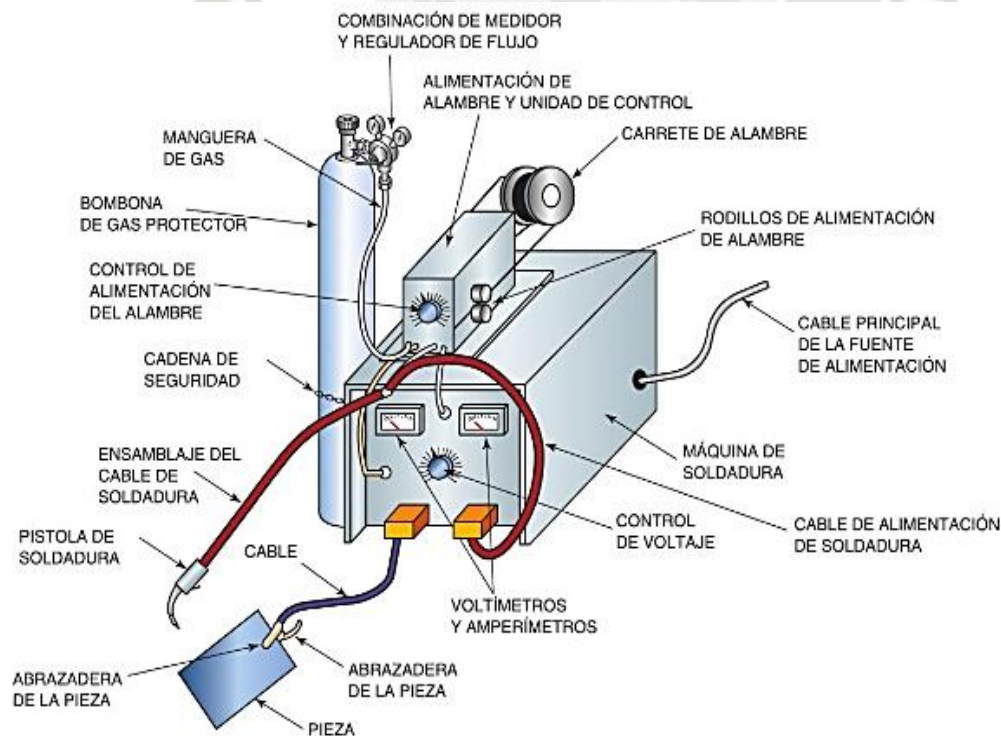
- El propósito de la unidad de alimentación es poder traccionar y además controlar la salida del alambre constantemente hacia el arco con velocidad establecida previamente. (ESAB, 2022)
- La pistola tiene una boquilla de contacto que energiza el alambre electrodo; estas pistolas tienen la facultad de enfriar con aire y agua cada vez que la corriente de soldadura es mayor a 500A. (ESAB, 2022)

Si se quiere utilizar protección suministrada por el exterior, se utilizan cilindros que contengan el sistema con flujómetro.

El electrodo es un alambre tubular que consiste en un fleje metálico conformado mecánicamente hasta llegar a formar una especie de pitillo el cuál se rellena con mezcla controlada y formulada en metal pulverizado, ferroaleaciones, fundentes y también materiales que forman escoria. (ESAB, 2022)

Los equipos utilizados para este proceso de soldadura, varían de acuerdo al fabricante, ya que los diseñan de manera distinta, por lo que se recomienda tomar en cuenta el manual del fabricante para su manejo, acompañado de altos niveles de conocimiento y comprensión del procedimiento para la ejecución del proceso de soldadura (Jeffus, 2009).

**Figura 3** Estación de la soldadura FCAW



**Nota:** Se identifican los equipos que componen la estación típica para realizar un proceso de soldadura FCAW Jeffus (2009)

### 2.2.2.1. Ventajas del proceso FCAW

- Los trabajos se realizan de manera continua e interrumpible.
- No requiere botella de gas, lo que lo hace más seguro.
- El consumo del propio electrodo genera una atmósfera auto protectora.
- Es un proceso rápido cuya deposición es eficiente.
- La unión soldada es de calidad.
- Se logra visualizar el arco eléctrico.
- Ante las grietas muestra resistencia (Cabrejo, 2014).

### 2.2.2.2. Desventajas del proceso FCAW

- La escoria debe ser eliminada.
- El equipo utilizado tiene mayor costo, en comparación con los utilizados en otros procesos.
- El especialista debe estar relativamente cerca al punto de utilización.
- Para garantizar su funcionamiento se debe realizar mantenimientos preventivos para evitar fallos y complicaciones (Cabrejo, 2014).

### 2.2.2.3. Metales base para el soldeo FCAW

Se emplean alambres metal cored, para la soldadura de aceros aleados o aceros al carbono, también se utilizan aleaciones a base de cobalto para recargues, esto cogen acritud y no se trefilan, ya que incrementa su dureza, resistencia y flexibilidad y los de igual manera que el metal pierda su maleabilidad. En los casos de los aceros, aleaciones a base de níquel y fundiciones de hierro se emplean los flux cored.

### **2.2.3. Métodos de protección de arco**

Existen dos modelos de alambres tubulares, cuya diferencia se centra en la protección de la soldadura, uno es protegido por gas y el otro es autoprotegido, pero sus fundamentos son similares a los MIG MAG. Se establece un arco eléctrico entre las piezas a soldar que genera una alta energía calorífica que logra fundir la unión, el flux o polvo metálico de su interior y el tubo metálico (Alonso C. , 2020).

Los gases que desprenden los alambres autoprotegidos por la vaporización del flux, unido con la escoria, aseguran la protección de la soldadura. Los alambres tubulares flux utilizan un gas de protección suministrado desde la botella externa. Dicho gas proviene de la combustión del flux el cual se combina con el gas de protección, manteniendo una atmósfera fuera del área de soldar. De igual manera, la escoria genera una protección mientras se enfría el cordón, logrando protegerlo de los gases atmosféricos o cualquier contaminante que pudiera oxidarlo (Alonso C. , 2020).

En el caso de los alambres tubulares metal cored, requiere de la protección de un gas proveniente de una botella, con la distinción que la atmósfera protectora depende de manera exclusiva del gas aportado mediante la pistola, ya que este tipo de metal no desprende gas, ya que su interior es de polvo metálico (Alonso C. , 2020).

#### **2.2.3.1. Protección gaseosa**

Los gases empleados generalmente con los alambres tubulares son  $CO_2$ , ya sea solo o mezclado con argón. El argón (Ar) es un gas inerte que no presenta ninguna reacción con los gases del aire ni con los metales a soldar, y el  $CO_2$  si es

un gas activo que, si reacciona, por lo que no se considera un buen protector, pero que, al combinarse con los gases generados durante la combustión del flux y de la limpieza metalúrgica llegan a producir una soldadura de muy alta calidad (Alonso C. , 2020).

### **2.2.3.2. Autoprotección**

El tipo del alambre depende de la vaporización del fundente, ya que desprende una nube de gas que desplaza lejos el aire del baño de fusión y forma una escoria fina que llega a cubrir cuando se enfría el cordón. En los casos que se llegue a emplear por equivocación un gas de protección, pueden impedir el funcionamiento desoxidante del flux, ya que no se logra desintegrar y quedarían dentro del cordón de soldadura atrapados en forma de escoria, lo que puede ocasionar un defecto (Alonso C. , 2020).

### **2.2.4. Proceso de soldadura GMAW-P**

Consiste en una soldadura por arco metálico con gas, o también conocido como soldadura por arco proceso ya que emplea un arco entre el baño de soldadura y el relleno continuo, dicho proceso implementa una protección de gas el cual es suministrado de manera externa sin presión. Este tipo de proceso tiene sus inicios en 1920, pero salió al mercado para el año 1948, cuando se implementaba como un proceso que empleaba un electrodo de metal desnudo cuyo diámetro era pequeño y la densidad de la corriente era alta, empleando un electrodo inerte de gas, en base a ello era conocido como gas de metal inerte (MIG).

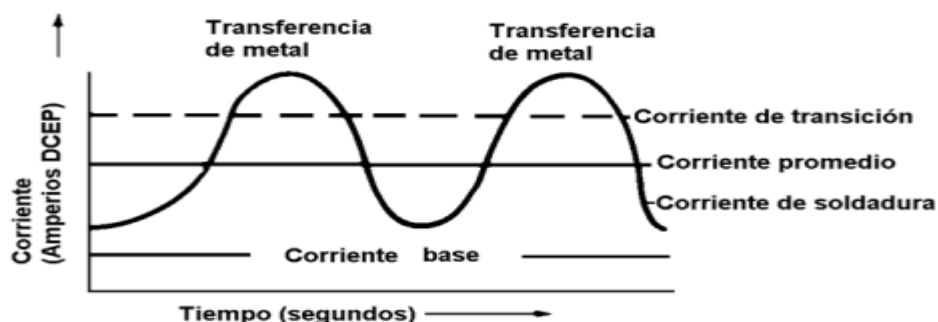
El calor del arco generado por este proceso entre la pieza y el electrodo consumible se utiliza para que las superficies del metal base sea fundido, así como

el extremo del electrodo. Una vez fundido el metal del electrodo se transfiere a la pieza a través del arco, llegando a convertirse en metal de soldadura depositado. La protección del gas se puede presentar como gas activo, como gas inerte o como una mezcla de ambos gases, los cuales envuelven el área del arco con el propósito de protegerlo de posibles contaminantes provenientes de la atmósfera (AWS, s.f.).

La manera de aplicación de la soldadura GMAW puede ser mediante una pistola que debe ser sostenida de manera manual llamada semiautomática, en el que el electrodo se alimenta a través de una bobina, también está la ejecutada por robots o automatizados conocida como automática (AWS, s.f.).

El proceso GMAW-P, es una variación del GMAW en el que la transferencia por corriente pulsante tiene la capacidad de soldar en cualquier posición con una energía de nivel más fuerte en comparación con la transferencia de corto circuito. Este proceso proviene de dos niveles de corriente la fuente de poder, el primer nivel hace referencia al nivel base estable cuya magnitud es baja para que se llegue a producir cualquier transferencia y el segundo nivel es la corriente pulsante pico, la cual se encuentra superpuesta sobre la corriente de base con una presentación de intervalos frecuentes (Granja & Hidalgo, 2013).

**Figura 4** *Transferencia por arco pulsante GMAW-P*



**Nota:** Se evidencia la transferencia por arco pulsante GMAW-P. Direct Current Electrodo Positivo (DCEP)

También el proceso GMAW-P utiliza cambios en la polarización y aplica las características de la corriente pulsante en la soldadura por arco en aceros de alta resistencia que se emplean en partes de automóviles (So, Kang, & Kim, 2010). Este proceso es adecuado en los trabajos de soldadura en los que se requiera un control de salpicadura mayor, y que los defectos de pobre sean eliminados ya que son comunes en referencia al modo de transferencia globular y de corto circuito, es empleado para soldar con electrodos de alambre sólidos con diámetro de 0.030" – 1/16", con un 18% de CO<sub>2</sub> máximo de protección gaseosa (Granja & Hidalgo, 2013).

Este tipo de soldadura empleaba primordialmente para aluminios, pero se al pasar de los años se fue desarrollando por lo que los materiales para soldar se ampliaron, así como también se comenzó a usar el dióxido de carbono como gas reactivo, logrando la formal aceptación de la terminología de soldadura por arco metálico con gas y actualmente es utilizado en fábricas industriales, también se evidencia su uso en trabajos de construcción, agricultura, minería, entre otros.

El proceso de soldadura GMAW –P o también conocida como transferencia de arco pulsado, es una variación de la GMAW la cual tiene la capacidad de soldaren cualquier posición y su nivel de energía es superior al de la transferencia corto circuito; se caracteriza por tener un nivel base estable con un nivel de magnitud bajo. Usa cambios de polaridad y son utilizados en material de acero de alta resistencia en partes de automóviles (Hidalgo, 2013).

Este proceso de soldadura maneja un arco eléctrico que está entre un alambre que se alimenta de forma continua la pieza a soldar. El arco tiene una protección que efectúa un gas que quizás sea inerte siendo tal vez Argón o quizás helio, proceso MIG, que es Meta Inert Gas o activo en el proceso como Metal Active Gas.

Este proceso tiene más elementos para soldar que los necesarios que puedan tener en otros procesos como:

- Fuente corriente continua y tensión constante.
- Un devanador que alimenta de forma continua al alambre macizo, que consta un mecanismo de tracción compuesto de uno o dos pares de rodillos.
- Una torcha, que se encuentra compuesta de un tubo de contacto de alambre que recibe corriente de soldadura, que proviene de fuente, tobera de metal que direcciona el gas que protege la soldadura un linner que está dentro de la torcha por donde pasa el alambre.
- Tubo de gas y un regulador correspondiente.

El proceso se tiende a usar de dos formas semiautomáticas y automáticas. Tienen la posibilidad de soldar metales ferrosos y no ferrosos.

Existen 3 formas de transferir alambre a una pieza:

- Corto – circuito: Hace referencia a la pieza que produce contacto entre lo que sería el alambre y la pieza, se produce una pileta líquida pequeña que se enfría muy rápidamente y llega a soldar espesores finos en toda posición. Es producida en voltajes y corrientes bajas ocasionando un bajo aporte de calor.
- Globular: En cuanto al tamaño de la gota se transfiere una pieza con mayor diámetro del alambre, el cual utiliza con gas la protección CO<sub>2</sub>, la cual nos sirve para el trabajo en posición plana. Se utiliza en este caso valores muy altos en la tensión y corriente para cortocircuito, generando así inserción de mayores salpicaduras.

- Spray: Nos da transferencia en gotas que son muy altas en cuanto a las velocidades y el tamaño los cuales son pequeños, en este caso se transfieren 100 y 300 gotas de metal en cuestión de segundos. El alambre que se tiene no llega a rozar la pieza y pileta liquida de baja viscosidad, alta fluidez, la cual ocasiona que no se pueda soldar en todas las posiciones.

**Figura 5** Transferencia por arco pulsado



**Nota:** Se visualiza la transferencia por arco pulsado Ramírez et al, (2009)

**Tabla 1** Elementos del proceso

Transferencia del metal	Rocío pulsante (GMAW-P)
Gas de protección	Argón + oxígeno (1,5%)
Metales que se van a soldar	Aluminio níquel, aceros, aleaciones de níquel
Espesor del metal	Desde delgado hasta un espesor ilimitado
Posiciones para soldar	Todas las posiciones
Principales ventajas	Ocupa un electrodo más grande
Limitaciones	Fuente de potencia especial
Apariencia del trabajo soldado	Superficie suave; mínimo de salpicaduras
Velocidades de desplazamiento	Hasta 100 pulg/min.
Rango de los tamaños del alambre del electrodo	Diámetro 1/16, 5/64, 3/32, 1/8

Ramírez et al, (2009)

Este proceso de soldadura requiere de un equipo especial; se presenta en intervalos separados generalmente por amperajes pulsantes los cuales se presentan picos altos los cuales se ajustan previamente y en el fondo presenta bajos niveles. La fuente de poder genera dos niveles de corriente, de los cuales un amperaje se adapta al rango de transferencia globular, al combinarse ambas corrientes se forma un arco bastante estable y la una transferencia de metal muy controlada. Este proceso de soldadura es útil para trabajar metales tanto ferrosos como no ferrosos (Ramírez, Niebles, & Torres, 2009).

#### Ventajas

- Velocidades de soldadura que son mayores a SMAW y GTAW
- Tiene una mayor tasa de deposición horaria
- Se requiere mínima limpieza después de soldar
- Se utiliza para soldar cualquier metal ferroso y no ferroso
- Su transferencia es de corto – circuito que puede ser soldado en todo tipo de posición
- Se realizan soldaduras de grandes longitudes sin la necesidad de que tengan empalmes entre los cordones, para evitar imperfecciones.
- Es un proceso versátil.
- El proceso presenta altos niveles de eficiencia por emplear electrodos consumibles, que permite su uso tanto en metales comerciales como aleaciones.
- Supera la restricción de longitud del electrodo.
- Puede ser manejado en diferentes posiciones.

- Su velocidad es superior a la del metal blindado ya que se alimenta de manera continua.

Limitaciones

- El equipo de este proceso GMAW tiende a ser más complicado, costoso y menos portable que en el caso del SMAW
- Su arco se debe proteger de las corrientes de aire, es por ello que casi no hay aplicación en aire libre por ser muy limitada.

El flujo térmico en diferentes geometrías depende del índice de búsqueda térmica (IBT).

Donde  $IBT = 1$  para  $e < = 6$  mm

**Figura 6** Flujo térmico en diferentes geometrías

Tipo de Junta	IBT ( $e_1$ = espesor en mm)	Tipo de Junta	IBT ( $e_1$ = espesor en mm)
	$\frac{e_1}{6}$		$\frac{e_1 + e_2 + e_3}{6}$
	$\frac{e_1 + e_2}{6}$		$\frac{e_1 + e_2 + e_3 + e_4}{6}$

**Nota:** Se visualiza el flujo térmico en diferentes geometrías AWS (s.f.)

## 2.2.5. Análisis y ensayos

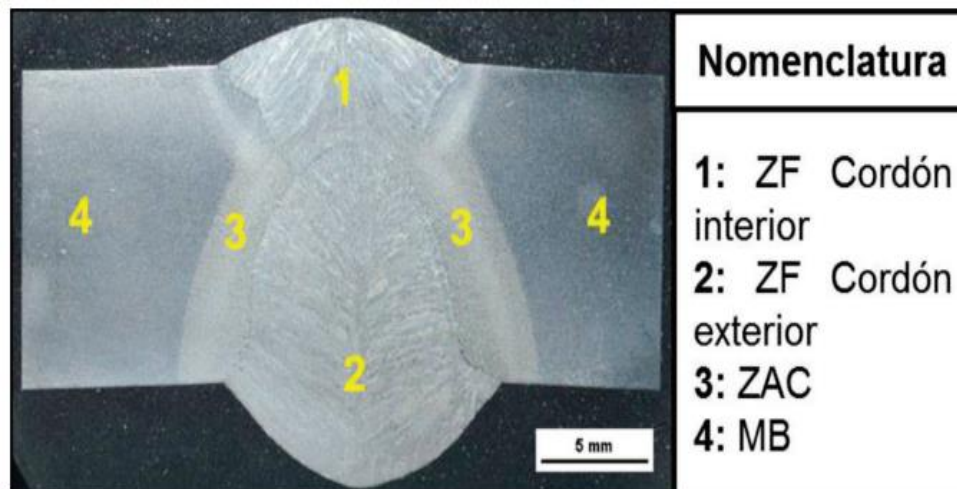
### 2.2.5.1. Análisis macrográfico

Hurtado (2019) El análisis macrográfico es un método que nos permite observar la estructura macroscópica, característica física y propiedad mecánica de la unión soldada. Para ello, se utiliza instrumentos ópticos o digitales que nos permiten amplificar la imagen del material a ser examinado, con el objetivo de detectar las discontinuidades de la junta soldada.

El procedimiento de análisis macrográfico es el siguiente:

- ASTM E3, Preparación de especímenes metalográficos
- ASTM E7, Terminología de metalografía
- ASTM E340, Macro ataque de metales y aleaciones

**Figura 7** Análisis macrográfico



**Nota.** Se visualiza al Análisis macrográfico Montes et al., (2016)

### 2.2.5.2. Ensayos no destructivos

“Los ensayos no destructivos END son un conjunto de métodos utilizados en la industria para detectar defectos en materiales y estructuras, ya sea durante

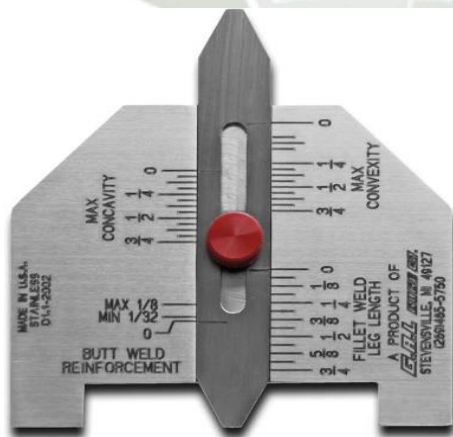
la fabricación o mientras están en servicio, y así garantizar su confiabilidad y seguridad” (Cawley y Deepak et al., como se citó en Ingeniería y Desarrollo en la Nueva Era, 2022, p.523).

– **Ensayo de Inspección visual**

Robles (2012) La inspección visual es una técnica no destructiva, mediante el cual se debe inspeccionar la unión soldada antes, durante y después del proceso de soldadura. Se define como el conjunto de actividades dirigidos a determinar el grado de fiabilidad, detectar las imperfecciones y evaluar los resultados de la junta soldada.

Escorcía – Barrios et al.(2021) Para la inspección visual, se utiliza las siguientes herramientas básicas como: calibrador, flexómetro, lupa de lente convexo y kit de galgas.

**Figura 8** Calibrador



**Nota.** Se visualiza el calibrador Escorcía – Barrios et al, (2021)

**Figura 9** Flexómetro



**Nota.** Se visualiza el flexómetro Escorcía – Barrios et al., (2021)

**Figura 10** Lupa de lente convexo



**Nota:** Se visualiza la lupa de lente convexo Escorcía – Barrios et al., (2021)

**Figura 11** Kit de galgas



**Nota.** Se visualiza el kit de galgas Escorcía – Barrios et al., (2021)

– **Ensayo de partículas magnéticas**

Hurtado (2019) El ensayo de partículas magnéticas es una técnica no destructiva que aplica el principio magnetización en los materiales ferromagnéticos, con el proposito de detectar discontinuidades superficiales y sub superficiales.

– **Ensayo de líquidos penetrantes**

Ospina et al. (2011) El ensayo de líquidos penetrantes es una técnica no destructiva que aplica el principio de capilaridad en los materiales ferrosos, con el objetivo de penetrar en las discontinuidades existentes en la superficie.

– **Ensayo de ultrasonido**

Ospina et al. (2011) El ensayo de ultrasonido es una técnica no destructiva que aplica el principio de propagación de las ondas sonoras de alta frecuencia en los materiales ferrosos, con el objetivo de detectar discontinuidades superficiales e internos.

**2.2.5.3. Ensayos de penetración**

Determinan la dureza de los materiales basándose en un pequeño penetrador, que se utiliza para forzar una superficie del material con el que vamos a ensayar en condiciones controladas de carga y velocidad de aplicación de la misma. En estos ensayos se mide la profundidad o el tamaño de la huella resultante. Las durezas medidas así tienen solamente un significado relativo. (Pérez y Valiente , 2021, p.35)

– **Ensayo Rockwell**

En vez de medir la sección de la huella dejada, se mide su profundidad. El penetrador puede ser una bola para materiales blandos, obteniéndose el grado de dureza Rockwell bola (HRB), o un cono de diamante de 120° para materiales duros, a partir del cual resulta el grado de dureza Rockwell cono (HRC). (Pérez y Valiente , 2021, p.35)

– **Ensayo Brinell**

Consiste en comprimir una bola de acero templado, de un diámetro determinado, contra el material que se va servir para ensayar, por medio de una carga (F) y durante un tiempo determinado. Se mide el diámetro de la huella y se calcula la dureza del material en función de la carga aplicada y el área de la huella. (Pérez y Valiente , 2021, p.35)

$$HB \text{ (dureza en grados Brinell)} = F/S$$

*F*(fuerza): carga aplicada en kp

*S*(superficie): área de la huella en milímetros cuadrados

– **Ensayo Vickers**

En lugar de una bola, se utilizará una pirámide regular de base cuadrada, cuyas caras laterales forman un ángulo de 136°. Presenta como ventaja, respecto al ensayo anterior, que se puede utilizar para materiales duros como para blandos. (Pérez y Valiente , 2021, p.35)

El grado de dureza Vickers se obtiene así:  $HV = F/S$

**Tabla 2** Ensayos de penetración

Prueba	Penetrador	Forma de la huella		carga P (kp)
		En sección	Longitud	
Brinell	Esfera de acero o de carburo de tungsteno			P (kp)
Vickers	Pirámide de diamante			P (kp)
Rockwell A C D	Cono de diamante			60 kp 150 kp 100 kp
B F G	Esfera de acero ( $\phi = 1/16$ "mm)			100 kp 60 kp 150 kp
E	Esfera de acero ( $\phi = 1/8$ "mm)			100 kp
		Penetración		
		Penetración		

**Nota:** Se visualiza los ensayos de penetración Pérez y Valiente (2021)

#### 2.2.5.4. Ensayos de resiliencia

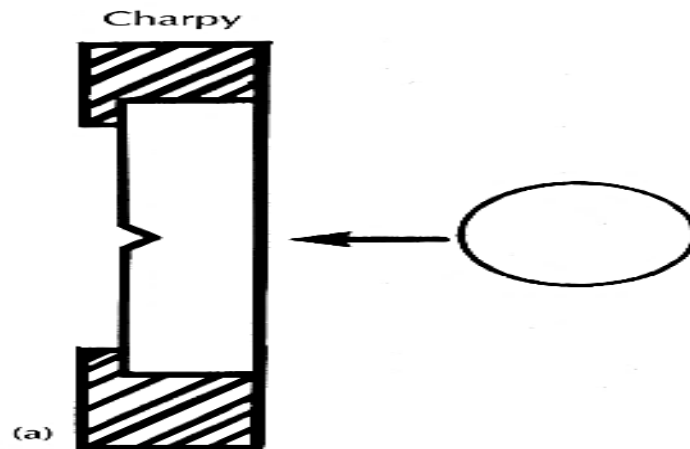
El ensayo de resiliencia tiene por finalidad determinar la energía absorbida por un material al ser rota la probeta por un solo golpe. Resulta muy importante conocer la resiliencia de un material destinado a una pieza de responsabilidad que ha de trabajar a esfuerzos dinámicos. (Roldán, 2021,p.108)

##### – Ensayo Charpy

“El ensayo Charpy consiste en la ruptura de una probeta entallada mediante la aplicación de un impacto con un martillo. En este ensayo se

mide la energía absorbida por el material a deformarse y romperse”  
(Zarza et al., 2018, p.1)

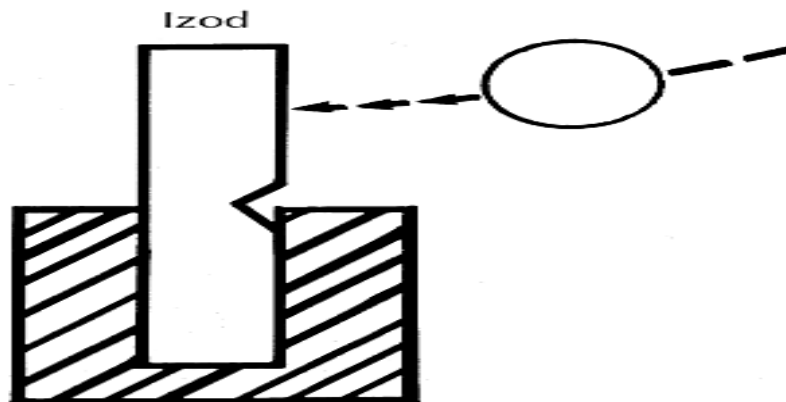
**Figura 12** *Ensayo Charpy*



**Nota.** Se visualiza el ensayo Charpy Seymour y Carraher (2021)

– **Ensayo Izod**

A lo que respecta al ensayo Izod, este consiste en romper una probeta sostenida en voladizo, en posición vertical, por medio de un golpe en su extremo libre. Este ensayo se realiza mediante un péndulo igual al usado en el ensayo Charpy. A esta probeta también se le realiza una muestra o entalla en “V”, ya que se dice que la probeta que tiene la muesca mide mejor la resistencia del material que una sin ella. (Loaiza et al., 2016, p.5)

**Figura 13** *Ensayo Izod*

**Nota.** Se visualiza el ensayo Izod Seymour y Carraher (2021)

#### 2.2.5.5. Ensayos de tracción

“El ensayo de tracción en metales consiste básicamente en someter probetas de diferentes tipos de materiales a un esfuerzo axial progresivo hasta que éste encuentre su punto de ruptura” (Chang y Pérez, 2015, p.8).

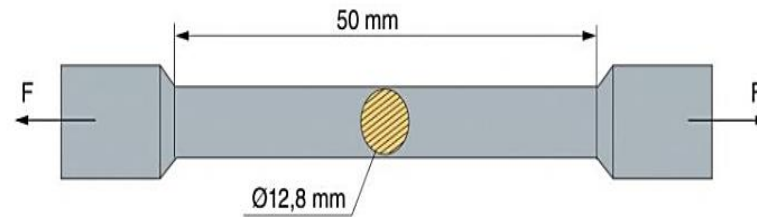
##### – Ensayo de tracción uniaxial

El ensayo de tracción uniaxial consiste en sujetar los extremos finales de la muestra (o probeta) dentro del marco de carga de una máquina universal de ensayos de tracción. Una fuerza de tracción es aplicada por la máquina, resultando en una deformación controlada de carácter gradual que terminará en la falla o fractura de la probeta. (Davis como se citó en Diseño y manufactura de equipo para pruebas de tracción biaxial, 2016, p.2)

**Figura 14** *Ensayo de tracción uniaxial*

$$A\% = ((L - L_0) / L_0) \cdot 100$$

En la fórmula:  $L$  es la longitud final después de romperse la probeta.  
 $L_0$  es la longitud inicial de la barra o probeta.  
 $A$  es el alargamiento (en este caso en porcentaje).

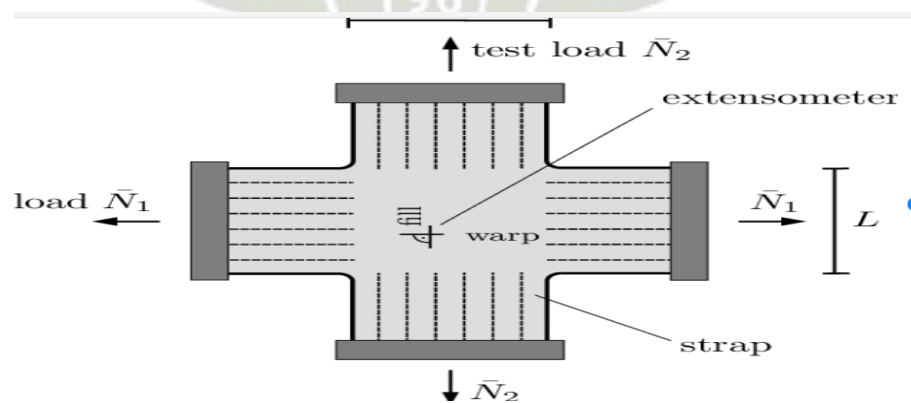


**Nota:** Se visualiza el ensayo de tracción uniaxial Pérez y Valiente (2021)

– **Ensayo de tracción biaxial**

El ensayo de tracción biaxial es un ensayo mecánico en el cual la muestra es estirada en dos direcciones distintas y mutuamente perpendiculares entre sí. Esta prueba se utiliza para obtener las características mecánicas de materiales anisotrópicos, tales como materiales compuestos, textiles y tejidos biológicos suaves. (Reinhardt como se citó en Diseño y manufactura de equipo para pruebas de tracción biaxial, 2016, p.3)

**Figura 15** *Ensayo de tracción biaxial*



**Nota:** Se visualiza el ensayo de tracción biaxial Gade, Bischoff y Kemmler (2017)

## **2.2.6. Comportamiento del acero**

### **2.2.6.1. Aceros aleados**

“Los aceros aleados se distinguen de los aceros al carbono porque tienen presencia de elementos como manganeso y silicio que contribuyen a mejorar sus propiedades mecánicas, físicas o químicas” (Alonso, 2022, p.43).

### **2.2.6.2. Aceros Hadfield**

Los aceros Hadfield: “contienen carbono entre un 0,7% y un 1,5% y superan el 12% de manganeso. También se sueldan con consumible del mismo contenido en aleantes que el material base y se taladra con brocas HSS al cobalto o metal duro” (Alonso, 2022, p.43).

Los aceros Hadfield están caracterizados por sus propiedades mecánicas como son: alta resistencia a la tracción y a la compresión, elevada ductilidad y excelente resistencia al desgaste. Este material es el único que combina alta resistencia y ductilidad con gran capacidad de endurecimiento por deformación y, usualmente, buena resistencia al desgaste. (Valencia, 2012, p.1)

### **2.2.6.3. Aceros Chronit T1 – 500**

Böhler (2019) Es una plancha aleada de gran resistencia al desgaste por abrasión, impacto y deslizamiento

**Aplicaciones:** Para elementos de movimiento de tierra, arena, piedra, minerales y materiales abrasivos, tales como: tolvas de volquetes, cucharas de máquinas cargadoras, fajas transportadoras, tornamesa para tracto de camiones, etc.

**Tabla 3** *Propiedades mecánicas del Acero Chronit T1-500*

PROPIEDADES MECÁNICAS	CHRONIT T1- 500
Dureza de suministro HB N/mm <sup>2</sup>	450 -530
Resistencia a la tracción	1650
Límite de fluencia	1300
Elongación (mínimo) % N/mm <sup>2</sup>	8
Resistencia al impacto (longitudinal) J	25(-20°C)

Böhler (2019)

### **2.2.7. Zona de la unión soldada afectada por el calor**

“En una unión soldada se distinguen macrográficamente tres partes fundamentales: la Zona de Fusión (ZF) y la Zona Afectada Térmicamente (ZAT) y Metal Base” (Marulanda et al., 2007, p.239).

#### **2.2.7.1. Zona de Fusión**

Es la zona donde el metal de soldadura fue depositado, ósea que es la parte del metal que se fundió y después se solidificó durante el proceso de soldadura. Esta zona puede estar compuesta de metal base fundido, metal de aporte o una mezcla de metal de aporte y metal base. (Marulanda et al., 2007, p.239)

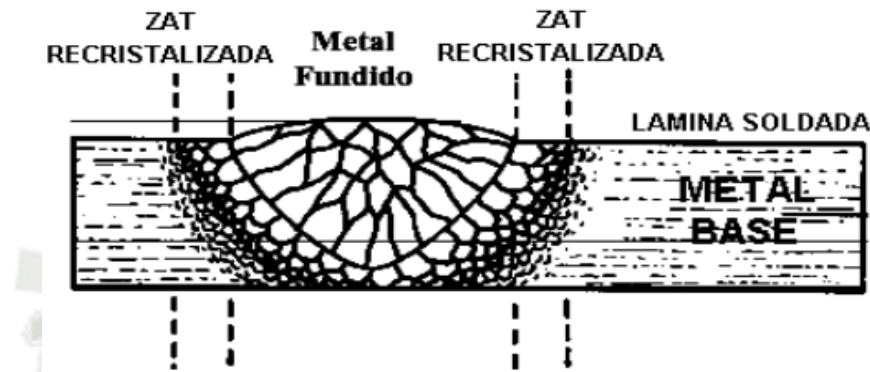
#### **2.2.7.2. Zona Afectada Térmicamente**

Es la parte del metal adyacente a la zona de fusión, que ha sido calentada durante el proceso de soldadura, hasta una temperatura que puede producir algunos cambios metalúrgicos significativos. Estos cambios pueden ser crecimiento de grano, revenido del metal, endurecimiento o incluso la fragilización del material. (Marulanda et al., 2007, p.239)

### 2.2.7.3. Metal base

“Es todo el material metálico que no fue afectado por el calor aportado en el proceso de soldadura y su estructura metalúrgica permanece igual” (Marulanda et al., 2007, p.239).

**Figura 16** Zona de la unión soldada afectada por el calor



**Nota.** Se visualiza la zona de la unión soldada afectada por el calor Marulanda et al., (2007)

### 2.2.8. Mantenimiento de tolvas

“El mantenimiento es la función cuyo objetivo es minimizar el tiempo durante el cual se interrumpe el proceso de producción o su calidad resulta alterada por un mal funcionamiento de los equipos, con el menor coste posible” (Pérez, 2021, p. 450).

**Figura 17** Mantenimiento de tolvas



**Nota.** Se visualiza el mantenimiento de tolvas Innovative mining maintenance solutions (2018)

### **2.2.8.1. Mantenimiento predictivo**

Es el que actúa cuando surge alguna desviación entre el comportamiento del equipo y el que se considera normal (gasto excesivo, ruidos, vibraciones, etc.). La detección de esas desviaciones puede realizarla el propio trabajador, un equipo de inspección, o sensores y complejos instrumentos técnicos. (Pérez, 2021, p. 450)

### **2.2.8.2. Mantenimiento preventivo**

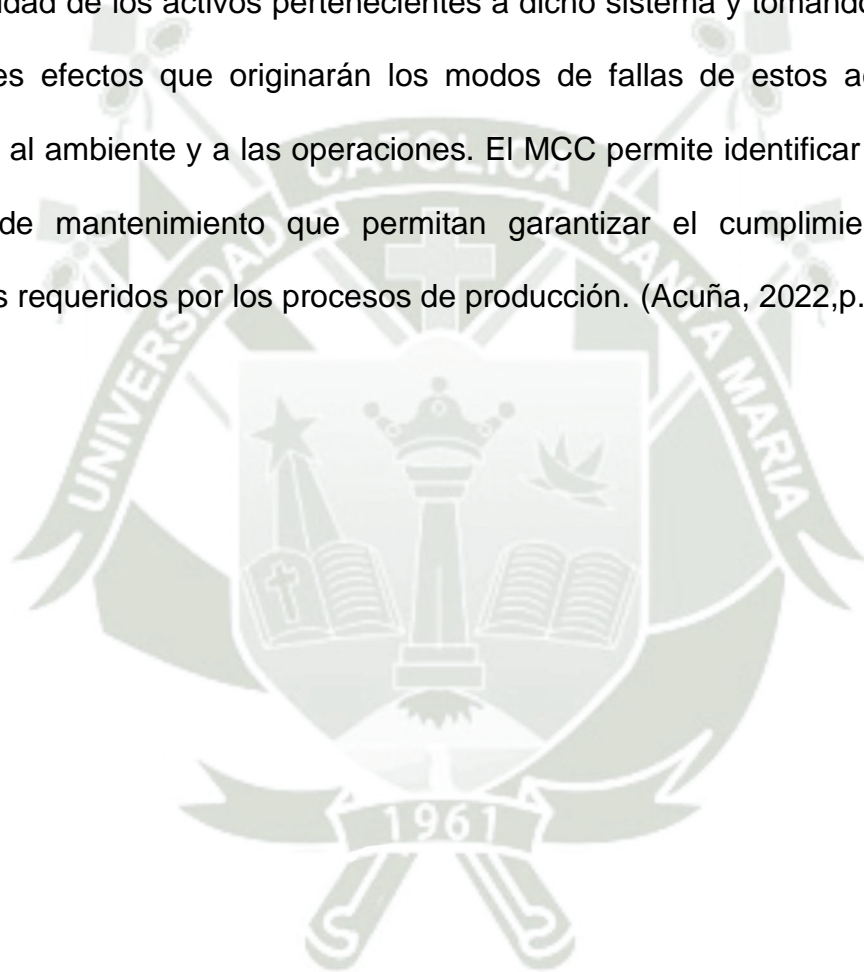
Tiene como objetivo reducir la probabilidad de averías, aumenta la vida útil de los equipos, y elevar el nivel de producción. Puede ser perfectamente planificado, aprovechando los momentos de menor actividad y en los que existe disponibilidad de personal para realizarlo. Evidentemente tiene costes como el del personal especializado, los repuestos, y la detención de actividad que puede requerir. Por ello, suele aplicarse especialmente en los equipos críticos, cuya paralización puede hacer que se detenga la producción, en los equipos de seguridad y en los de mayor valor. (Pérez, 2021, p. 450)

### **2.2.8.3. Mantenimiento correctivo**

Se presenta cuando surge la avería, por lo que viene caracterizado por la incertidumbre de su aparición, y por la consiguiente dificultad de planificación de las actividades. Una avería puede interrumpir el proceso de producción, con los costes que ello supone. Una de las actuaciones que tratan de evitarlo es el mantenimiento preventivo. (Pérez, 2021, p. 450)

#### 2.2.8.4. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) es una metodología en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, al establecer las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema y tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de fallas de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones. El MCC permite identificar estrategias efectivas de mantenimiento que permitan garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos por los procesos de producción. (Acuña, 2022,p.57)



## CAPÍTULO III

## 3. ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Para el cálculo y variables se debe considerar que el Carbono equivalente, ya que ayuda a que la tendencia al temple se prediga; también suele limitarse en aceros estructurales a 0.43%; la soldabilidad es excelente si es hasta de 0.25%, el IIS propone:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} \quad \text{Ec. 1}$$

Se determinó el Carbono equivalente para hallar el % del carbono presente en el material y así conocer los cuidados que se deben tomar: DIN E N° 1,8721

$$CE = C + \frac{Mn + Si}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad \text{Ec. 2}$$

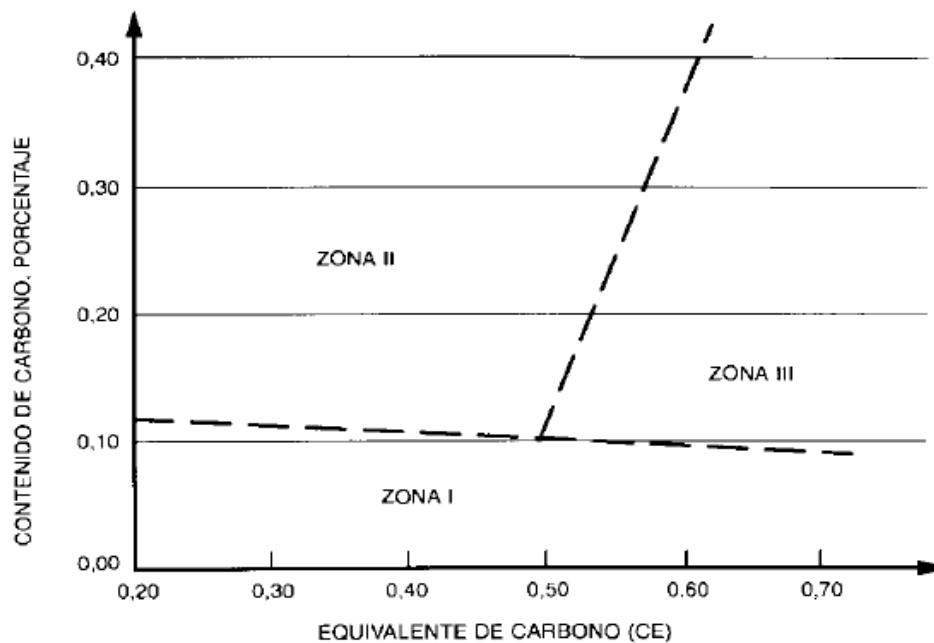
$$CE = 0,26 + \frac{1,8 + 0,5}{6} + \frac{1 + 0,5 + 0,08}{5} + \frac{0,8 + 0}{15}$$

$$CE = 1,013$$

De acuerdo a la Tabla 19 correspondiente a la composición química la fracción de  $C$  es 0,26; el valor de  $Mn$  es 1,80; el valor de  $Si$  es 0,5; el valor de  $Cr$  es de 1; el valor de  $Mo$  es de 0,5; el valor de  $V$  es 0,08; el valor de  $Ni$  es 0,8; el valor de  $Cu$  es 0.

Ahora que tenemos el valor del carbono equivalente y porcentaje de carbono presentes en Chronit T1 500 poder ir a él DIAGRAMA DE GRAVILLE, para evaluar la soldabilidad de este acero.

**Figura 18** *Equivalente de Carbono (CE)*



- Notas:  
 1.  $CE = C + (Mn + Si)/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$   
 2. véase 15.2(1), (2), o (3) para características aplicables de la zona

De acuerdo con la gráfica de la Figura 18 se evidencias que el acero utilizado para la investigación se encuentra en la ZONA III.

Donde:

Zona I: Aceros de bajo carbono y bajo endurecimiento no susceptibles a fisuras.

Zona II: Aceros con mayor porcentaje de carbono, y bajo endurecimiento, el riesgo de fisuras en la ZAC puede ser evitado mediante el control de la velocidad

de enfriamiento, por medio del aporte térmico o en menor extensión el precalentamiento.

Zona III: Aceros con elevado porcentaje de carbono y alto endurecimiento y en todas las condiciones de soldadura pueden producir micro estructuras susceptibles a fisuras, si nos encontramos en esta zona se deben aplicar procesos de bajo hidrogeno, pre calentamiento y tratamientos térmicos post soldadura.

Habiéndonos asegurado de que nuestro material necesita ser trabajado con sumo cuidado antes de realizar el soldeo, procedemos a hallar la temperatura de calentamiento mínimo.

**Tabla 4** Agrupamiento del índice de susceptibilidad

Tabla H.1					
Agrupamiento del índice de susceptibilidad como función del nivel de hidrógeno “H” y parámetro de composición $P_{cm}$					
Agrupamiento del índice de susceptibilidad					
Equivalente de carbono - $P_{cm}$					
Nivel de hidrógeno	<0,18	<0,23	<0,28	<0,33	<0,38
H1	A	B	C	D	E
H2	B	C	D	E	F
H3	C	D	E	F	G

AWS (2015)

Para hallar  $P_{cm}$  (índice de susceptibilidad) bajo la norma AWS D1.1, se aplicó la siguiente fórmula:

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad \text{Ec. 3}$$

$$P_{cm} = 0,26 + \frac{0,5}{30} + \frac{1,8}{20} + \frac{0}{20} + \frac{0,8}{60} + \frac{1}{20} + \frac{0,5}{15} + \frac{0,08}{10} + 5(0,005)$$

$$P_{cm} = 0,49$$

El hidrógeno extra bajo: Estos consumibles deben tener un contenido de hidrógeno difusible menor que 5 ml/100 g del metal depositado cuando se mide de acuerdo con la norma ISO 3690-1976 o u contenido de humedad del recubrimiento del electrodo de 0,2% máximo de acuerdo con las normas AWS A5.1 o A5.5. Esto se puede establecer ensayando cada tipo, marca o combinación alambre/fundente utilizada después de la extracción del paquete o contenedor y la exposición a la duración prevista, con la debida consideración de las condiciones reales de almacenamiento previo al uso inmediato.

Al hallar el  $P_{cm}$  y ver según la norma utilizada H1 se puede seleccionar el índice de susceptibilidad, para el presente estudio sería la letra “E”

**Tabla 5 Índice de susceptibilidad**

Tabla H.1						
Agrupamiento del índice de susceptibilidad como función del nivel de hidrógeno “H” y parámetro de composición $P_{cm}$						
Agrupamiento del índice de susceptibilidad						
Equivalente de carbono - $P_{cm}$						
Nivel de hidrógeno	<0,18	<0,23	<0,28	<0,33	<0,38	
H1	A	B	C	D	E	
H2	B	C	D	E	F	
H3	C	D	E	F	G	

AWS (2015).

Una vez que se obtiene el índice de susceptibilidad, se debe considerar la Tabla H.2 en milímetros, tomando en cuenta que la plancha es de 1 pulgada de espesor y de ser nivel de restricción ALTA:

**Tabla 6** *Temperatura mínima de precalentamiento*

Tabla H.2 (continuación)								
Temperaturas mínimas de precalentamiento y entre pasadas para tres niveles de restricción								
Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas (°C)								
Agrupación del índice de susceptibilidad								
Nivel de restricción	Espesor mm	A	B	C	D	E	F	G
<b>Bajo</b>	<10	<20	<20	<20	<20	60	140	150
	10-20 incl.	<20	<20	20	60	100	140	150
	>20-38 incl.	<20	<20	20	80	110	140	150
	>38-75 incl.	20	20	40	95	120	140	150
	>75	20	20	40	95	120	140	150
<b>Medio</b>	<10	<20	<20	<20	<20	70	140	150
	10-20 incl.	<20	<20	20	80	115	145	160
	>20-38 incl.	20	20	75	110	140	150	160
	>38-75 incl.	20	80	110	130	150	150	160
	>75	95	120	140	150	160	160	160
<b>Alto</b>	<10	<20	<20	20	40	110	150	160
	10-20 incl.	<20	20	65	105	140	160	160
	>20-38 incl.	20	85	115	140	150	160	160
	>38-75 incl.	115	130	150	150	160	160	160
	>75	115	130	150	150	160	160	160

AWS (2015).

Considerando lo establecido por la normativa, se evidencia que la temperatura mínima de PRECALENTAMIENTO E INTERPASES es de 150°C, aplicando así las recomendaciones mínimas del fabricante de Chronit T1 500.

En relación a la energía aportada hay dos las cuales son:

- Energía bruta aportada (EBA)

$$Q = VI/Va$$

- Energía neta aportada

$$ENA = kEBA$$

Donde:

K= rendimiento térmico

**Tabla 7** Rendimiento térmico de diferentes procesos de soldadura

Proceso N°	Proceso de soldeo	k
12	Soldeo por arco sumergido	1
111	Soldeo por arco con electrodo revestido	0.8
131	Soldeo MIG	0.8
135	Soldeo MAG	0.8
114	Soldeo por arco con alambre tubular autoprotectido	0.8
136	Soldeo por arco con alambre tubular y protección de gas activo	0.8
137	Soldeo por arco con alambre tubular y protección de gas inerte	0.8
141	Soldeo TIG	0.6
15	Soldeo por arco plasma	0.6

Entre los factores de influencia se encuentra los siguientes:

- Energía Aportada (Heat input)
- Material (conductividad, calor específico, t. fusión y vaporización, calor latente).
- Conductividad.
- Diseño de junta.

- Temperatura de precalentamiento ( $T_p$ ).
- Condiciones externas.

En la Tabla 8 se evidencia el proceso para hallar el promedio de la ENERGÍA BRUTA APORTADA(EBA) durante todo el proceso de soldadura FCAW y GMAW-

P:

**Tabla 8 Promedio de la Energía Bruta Aportada (EBA) para GMAWP**

CALCULO DE ENERGIA BRUTA APORTADA (EBA) PARA GMAW-P:					
Velocidad de avance		ENERGIA BRUTA APORTADA		ENERGIA NETA APORTADA (K=0.8)	
	Va=e/t (mm/seg)		EBA=(V*I) /Va (J/mm)		ENA=EBA*K
Va1=	1.55	Q1=	1484.65	Q1=	1187.72
Va2=	4.12	Q2=	1948.69	Q2=	1558.95
Va3=	3.93	Q3=	1860.56	Q3=	1488.45
Va4=	4.46	Q4=	1683.83	Q4=	1347.06
Va5=	4.67	Q5=	1506.00	Q5=	1204.80
Va6=	4.79	Q6=	1576.80	Q6=	1261.44
Va7=	5.47	Q7=	920.14	Q7=	736.11
Va8=	5.79	Q8=	1403.60	Q8=	1122.88
Va9=	5.52	Q9=	1366.52	Q9=	1093.22
Va10=	7.27	Q10=	1145.29	Q10=	916.25
Va11=	5.79	Q11=	1369.72	Q11=	1095.78
Va12=	5.15	Q12=	1280.83	Q12=	1024.66
Va13=	4.89	Q13=	1321.63	Q13=	1057.30
Va14=	6.60	Q14=	1247.30	Q14=	997.84
Va15=	5.93	Q15=	1256.33	Q15=	1005.06
				SUMA	17097.50
PROMEDIAMOS: ENERGIA NETA APORTADA EN CADA PASE DE CORDON DE GMAW-P					
Qp=		1139.83	J/mm		

**Tabla 9** Promedio de la Energía Bruta Aportada (EBA) para FCAW

CALCULO DE ENERGIA BRUTA APORTADA (EBA) PARA FCAW:					
Velocidad de avance		ENERGIA BRUTA APORTADA		ENERGIA NETA APORTADA (K=0.8)	
	Va=e/t (mm/seg)		EBA=(V*I) /Va (J/mm)		ENA=EBA*K
Va1=	1.33	Q1=	4318.13	Q1=	3454.50
Va2=	4.52	Q2=	1838.68	Q2=	1470.94
Va3=	3.85	Q3=	2096.48	Q3=	1677.19
Va4=	3.87	Q4=	2392.04	Q4=	1913.64
Va5=	4.02	Q5=	2192.40	Q5=	1753.92
Va6=	4.24	Q6=	1980.85	Q6=	1584.68
Va7=	5.00	Q7=	1673.56	Q7=	1338.85
Va8=	4.61	Q8=	1854.40	Q8=	1483.52
Va9=	4.52	Q9=	1964.96	Q9=	1571.97
Va10=	5.74	Q10=	1541.28	Q10=	1233.03
Va11=	4.55	Q11=	1951.03	Q11=	1560.82
Va12=	3.985	Q12=	2096.91	Q12=	1677.53
Va13=	3.93	Q13=	2150.77	Q13=	1720.62
Va14=	4.38	Q14=	2055.68	Q14=	1644.54
Va15=	4.86	Q15=	1688.42	Q15=	1350.74
				SUMA	25436.47
PROMEDIAMOS ENERGIA NETA APORTADA EN CADA PASE DE CORDON DE FCAW					
Qp =	1695.75	J/mm			

### 3.1. Especificaciones de los camiones tolva

Los camiones mineros que se tomaron como referencia son utilizados por las empresas mineras, para el traslado y transporte de materiales. En base a ello, se precisa que los camiones mineros son los modelos 793 – 797 y los modelos 930 – 980.

**Figura 19** *Camión Tolva 793*



Lectura specs (2022)

**Tabla 10** Especificaciones Técnicas 793

<b>Especificación</b>		<b>Especificación</b>	
Peso	163.29 toneladas	Carga útil	226.8 toneladas
Anchura transporte	8.29 metros	Longitud de transporte	13.7 metros
Altura de transporte	6.6 metros	Altura de carga	6.53 metros
Neumáticos estándar	40.00R57	Velocidad	60 km/h
Modelo de motor	C175-16	Rendimiento de motor	1848 Kw
Cilindrada	85 l	Cilindro diámetro x carrera	175x220 mm
Nivel de emisión	Tier 2	Radio de torneado exterior	33 metros
Fabricante del motor	Caterpillar		

Lectura specs (2022)

**Figura 20** *Camión tolva 797.*



Lectura specs (2022)

**Tabla 11** *Especificaciones Técnicas 797*

<b>Especificación</b>		<b>Especificación</b>	
Peso	260.69 toneladas	Carga útil	363 toneladas
Anchura transporte	9.755 metros	Longitud de transporte	15.08 metros
Altura de transporte	7.709 metros	Altura de carga	6.998 metros
Neumáticos estándar	59/80R63	Velocidad	67.6 km/h
Modelo de motor	C175-20	Rendimiento de motor	2828 Kw
Cilindrada	106 l	Cilindro diámetro x carrera	175x220 mm
Nivel de emisión	Tier 2	Fabricante del motor	Caterpillar

Lectura specs (2022)

**Figura 21** *Camión tolva 930*



Lectura specs (2022)

**Tabla 12** *Especificaciones Técnicas 930*

<b>Especificación</b>		<b>Especificación</b>	
Peso	215.3 toneladas	Capacidad de cuchara bivalva	171 m <sup>3</sup>
Anchura transporte	8.33 metros	Longitud de transporte	15.6 metros
Altura de transporte	7.37 metros	Altura de carga	7.06 metros
Neumáticos estándar	53/80R63	Velocidad	64.5 km/h
Modelo de motor	SSDA18V170	Rendimiento de motor	2611 Kw
Nº Cilindros	18	Fabricante del motor	Komatsu

Lectura specs (2022)

**Figura 22** *Camión tolva 980*



Lectura specs (2022)

**Tabla 13** *Especificaciones Técnicas 980*

Especificación		Especificación	
Peso	265 toneladas	Capacidad de cuchara bivalva	250 m <sup>3</sup>
Carga útil	363 toneladas	Dirección	VL
Anchura transporte	10.01 metros	Longitud de transporte	15.72 metros
Altura de transporte	8 metros	Altura de carga	7.09 metros
Neumáticos estándar	59/80R63	Velocidad	64 km/h
Modelo de motor	SSEA18V170	Rendimiento de motor	2610 Kw
N° Cilindros	18	Fabricante del motor	Komatsu

Lectura specs (2022)

### 3.2. Desgaste de las tolvas

El desgaste de las tolvas de los camiones mineros es un problema común en la industria minera y puede atribuirse a varias causas. La importancia del mantenimiento de las tolvas radica en su capacidad para mitigar estos problemas y garantizar un rendimiento óptimo en la operación minera. A continuación, se describen algunas de las causas del desgaste de las tolvas y se explica la importancia de su mantenimiento:

Causas del desgaste de las tolvas:

1. **Abrasión:** El desgaste por abrasión es causado por el contacto repetido y la fricción entre el material transportado y las paredes de la tolva. Esto es especialmente común cuando se manejan materiales duros y abrasivos, como minerales y rocas.
2. **Impacto:** Cuando los materiales caen desde alturas significativas en la tolva, pueden generar un impacto en las superficies de la tolva, lo que provoca desgaste por impacto. Este efecto es más pronunciado cuando se manejan materiales gruesos y pesados.
3. **Corrosión química:** En algunos casos, los materiales transportados pueden tener propiedades químicas que corroen o deterioran las paredes de la tolva con el tiempo. Esto es más común en la manipulación de sustancias químicas corrosivas.
4. **Flujo irregular:** Cuando el flujo de material en la tolva es irregular o se generan atascos, puede provocar puntos de presión que aumentan el desgaste localizado en ciertas áreas de la tolva.

Importancia del mantenimiento de las tolvas:

1. **Seguridad:** El desgaste excesivo de las tolvas puede debilitar su estructura y causar fallas, lo que puede resultar en situaciones peligrosas para los operadores y otros trabajadores en la mina.
2. **Eficiencia operativa:** Las tolvas desgastadas pueden afectar la eficiencia del proceso de carga y descarga de material en los camiones mineros. Esto puede llevar a tiempos de inactividad no planificados y retrasos en la producción.

3. **Costos operativos:** El desgaste excesivo de las tolvas aumenta los costos de reemplazo de componentes y reparaciones, así como el consumo de energía debido a la pérdida de eficiencia en la manipulación de materiales.
4. **Calidad del material transportado:** Un desgaste excesivo puede generar contaminación del material transportado, lo que puede afectar la calidad de los productos finales y reducir su valor comercial (Fuentes, Villanueva, & Estupiñan, 2018).

**Figura 23** *Tolva de camión minero*



(ValleyRubber, 2020)

**Figura 24** *Tolva de camión minero desgastado*



(ValleyRubber, 2018)

**Figura 25** *Desgaste de las tolvas*



Fuente. (ValleyRubber, 2020)

### 3.3. Equipos y materiales a utilizar

Los equipos varían de acuerdo al proceso de soldadura que se llevó a cabo los cuales se especifican a continuación:

**Tabla 14** *Equipos utilizados para cada proceso*

<b>Proceso FCAW</b>	<b>Proceso GMAW-P</b>
Máquina Warrior 500i	Maquina Aristo 500ix
Balón de mezcla	Balón de mezcla
Maleta de alimentación Robust Feed PRO	Maleta de alimentación Robust Feed PRO
Balón de gas propano	Balón de gas propano
Pirómetro	Pirómetro

**Figura 26** Máquina Warrior 500i




Elaboración propia

**Tabla 15** Especificaciones técnicas de la máquina Warrior


<b>Especificaciones</b>	
Temperatura de funcionamiento	-10 -40C° (14-104c°)
Potencia de circuito abierto	500W
Rango de ajuste: MIG (GMAW/FCAW) Con electrodo (SMAW) OC TIG (GTAW)	16-500 A 16-500 <sup>a</sup> 4-500 <sup>a</sup>
Modo de ahorro energético	30 W
Factor de potencia a corriente máxima	92%
Eficiencia a corriente máxima	89%
Voltaje alto de CA en circuito abierto	54 V
Grado de protección	IP23
Voltaje de entrada	380/460/575 V, trifásico, 50/60 HZ, -10%/+10%
Ciclo de trabajo %	500 A/ 40 V al 60% del ciclo de trabajo 400 A/ 36 V al 100% del ciclo de trabajo
Fusible retardado	32 A
Dimensiones (La x An x Al)	712 x 325 x 470 mm (28.1 x 12.8 x 18.5in)
Peso	115 lb (52kg)

ESAB (2022b)

**Figura 27** Descripción de la máquina Warrior




**Arc force** **Inductance**



**Fuerza del arco**  
Usada para soldadura con electrodo.  
Corte negativo = Arco suave  
Corte positivo= Arco de excavación

**Inductancia**  
Se utiliza para el arco costo MIG.  
Corte negativo = De nido  
Corte positivo= Suave

**Basic 7018**




**Básico 7018**  
Respuesta más lenta.  
Fuerza de arco más estrecha  
Arco con menos impulso

**Soldadura con electrodo (SMAW)**  
Corriente continua  
Contactor "ON" con fuerza del arco

**Rutílico 6013**  
Respuesta media.  
Fuerza de arco más amplia  
Arco con más impulso

**ACAG**  
Voltaje constante.  
(Modificado) Contactor "ON"



**MIG (GMAW/FCAW)**  
Voltaje constante  
Contactor "Remoto" con inductancia y terminación de cortocircuito

**TIG**  
Corriente continua  
Contactor "ON" arranque Live TIG

**MobileFeed CV**  
Voltaje constante.  
Contactor "ON" con inductancia

ESAB (2022b)

**Figura 28** Máquina Aristo 500ix



ESAB (2021)

**Tabla 16** Especificaciones Técnicas máquina Aristo 500ix

<b>Especificaciones</b>	
Voltaje	3Ø -380-460 V (±10%)
Ciclo de trabajo – MIG/AG (GMAW) (40°C)	50/60 Hz
Ciclo de trabajo: Electrodo revestidos (SMAW) (40°C)	500 A /39 V @60% 400 A /34 V @100%
Ciclo de trabajo TIG (GTAW) (40° C)	500 A /40 V @60% 400 A /36 V @100%
Rango de corriente - MIG/AG (GMAW)	500 A /30 V @60% 400 A /26 V @100%
Rango de corriente- Electrodo revestidos (SMAW)	16 A / 14.8 V – 500 A /39 V
Rango de corriente- TIG (GTAW)	16 A / 20.6 V – 500 A /40 V
Máxima eficiencia de corriente	5 A / 10.2 V – 500 A /30 V
Factor de potencia a la corriente máxima	88%
Tensión de circuito abierto	58 V
Temperatura de funcionamiento	-20 °C a 40 °C
Dimensiones (An x L x Ai)	325 x 712 x 637 mm
Peso	58.5 kg
Clase de protección	IP23
Clase de aplicación	S
Clase térmica	H
Normas técnicas	CE
<b>Unidad de refrigeración Cool 2 (acceso opcional)</b>	
Voltaje	40 VAC 50/60 Hz
Potencia	1 kW
Volumen de fluido refrigerante	4.5 l
Flujo máximo	1.8 l/min
Presión máxima	4.6 bar
Dimensiones (An x L x Ai)	330 x 680x 230 mm
Peso	15 kg
Peso con refrigerante	19.5 kg

ESAB (2021)

**Figura 29** Balón de gas



**Figura 30** Descripción y Especificaciones técnicas del pirómetro digital laser

**DATO GENERAL**

- Modelo: GM320

**DESCRIPCIÓN:**

- Estilo: De mano
- Teoría: Termómetro infrarrojo
- Tipo de pantalla: Digital
- Uso: Industrial
- Tipo de energía: Batería AAA
- Tamaño de la pantalla: 1.9 Pulgadas y Menos
- Model Number: AR320
- Temperature rango: -32°C~380°C.

**ESPECIFICACIONES PRINCIPALES**

- precisión:  $\pm 1.5C/o \pm 5\%$ .
- resolución: 0.1C o 0.1F.
- Punto de la distancia Radio: 12:1.
- emisividad: 0.95 (Predeterminado).
- Laser ON/OFF seleccionable.
- 20 segundos Apagado automático.
- Equipado con un láser para apuntar.
- LCD luz de fondo.
- Tiempo y Longitud de Onda: 500 ms y 95% respuesta.
- funcionamiento de la batería de 1.5 V AAA
- la selección del contraluz, le permite considera la exhibición de la temperatura por la noche.

**PESO Y TAMAÑO**

- Dimensión: 143x93x88mm
- Peso neto: 137g (sin batería)

**CONTENIDOS DEL PAQUETE**

- 1 x Termometro digital Laser
- 1 par de baterías.
- 1 x Manual del usuario .

D	120	360	720	mm
S	φ10	φ30	φ60	mm

Distance(D): Spot Size(S)  
D:S= 12:1

**Tabla 17** Materiales utilizados para cada proceso de soldadura

Proceso FCAW	Proceso GMAW-P
E71T-1 Alambre tubular dual shield 7100 ultra de 1.6 de diámetro (rodillo de alambre)	ER70S-6 Alambre solido Migfil ps6-gs de 1.6 de diámetro (rodillo de alambre)
Plancha de material Chronit T1 500	Plancha de material Chronit T1 500

**Figura 31** Alambre tubular dual shield 7100



ESAB (2022)

**Figura 32** Alambre sólido Migfil ps6-gs de 1.6 de diámetro



Promart (s.f.)

**Figura 33** Acero Chronit T1 500



### 3.4. Selección de aceros y especificación

Las empresas mineras para el traslado de grandes volúmenes de materiales requieren del uso de camiones tolvas. Razón por la cual las tolvas de los camiones se encuentran expuestas a materiales abrasivos como rocas, minerales y otros materiales pesados. Ocasionando un desgaste significativo en las superficies internas de las tolvas. El recubrimiento con materiales antidesgaste ayuda a proteger estas superficies y prolongar la vida útil de las tolvas.

En tal sentido y, para cubrir las necesidades de la empresa minera para las pruebas de soldadura se eligió el acero Chronit T1 – 500, por sus características de anti-desgaste y cuyas especificaciones técnicas se evidencia en la Tabla 18. Es un material creado para realizar recubrimientos, a distintos componentes mineros, también es el material utilizado para el recubrimiento de protección de la estructura de las tolvas de los camiones mineros; las cuales son reemplazadas luego de un tiempo determinado por el uso y el desgaste con la finalidad principal de proteger la estructura principal de la tolva.

CHRONIT T1-450 / CHRONIT T1-500

PLANCHAS ANTIDESGASTE

WN: 1.8721

**Tabla 18** Especificaciones de la plancha Chronit T1 500

Propiedades mecánicas	Dureza de suministro HB	Resistencia a tracción N/mm <sup>2</sup>	Límite de fluencia N/mm <sup>2</sup>	Elongación (mínimo) %	Resistencia al impacto (longitudinal) J
CHRONIT T1-450	420-480	1316	1136	10	25(-40°C)
CHRONIT T1-500	450-530	1650	1300	8	25 (-20°C)

Böhler (2019)

**a) Elementos de aleación:** C – Si – Mn – Mo – Ni – Cr – V – Nb – B

Los porcentajes de estos elementos de aleación varían según el espesor y la dureza de las planchas

**b) Formato de suministro:** Planchas espesores desde 1/8" a 4"

**c) Tolerancias de espesor:** Según EN 10029 clase A

**d) Aplicaciones:**

**d.1)** Para el movimiento de tierra, arena, piedra, minerales y todo tipo de materiales abrasivos. Tolvas de volquetes, cucharas de máquinas cargadoras, fajas transportadoras, chutes, tornamesa de tracto camiones, etc.

**d.2)** Para recubrimientos de seguridad contra balas de armas de mano comerciales. Elementos de máquinas trituradoras, chancadoras y prensas de chatarra. Bases para matrices de alto rendimiento. También, en todo tipo de estructuras soldadas que requieran alta resistencia y buena tenacidad a bajas temperaturas.

**e) Corte oxiacetilénico:** Para espesores menores a 25 mm precalentar a 60°C y mayores a 25 mm a 150°C. Posibles deformaciones y endurecimiento de los bordes cortados.

**f) Corte por chorro de agua:** Libre de deformaciones, corte limpio, preciso y sin cambios en las propiedades mecánicas.

Es importante destacar que la soldadura con procedimientos bajos en hidrógeno, electrodos completamente secos, la plancha debe estar seca y libre de aceites o grasas.

Radio de doblado mínimo: Espesor x 4 (transversal)

Luz entre dados mínima: Espesor x 10 (transversal)

Radio de doblado mínimo: Espesor x 5 (longitudinal)

Luz entre dados mínima: Espesor x 5 (transversal)

### 3.4.1. Composición química de la plancha de acero Chronit T1 500

**Tabla 19** Composición química

Material de acero 1.8721 -Composición Química: Fracción de Masa en Porcentaje (%)			
Carbón (C%) $\leq 0,26$	Sargo (Pb%)	Boro (B%) $\leq 0,50$	Estaño (Sn%)
Silicio (Si%) $\leq 0,50$	Molibdeno (Mo%) $\leq 0,50$	Oxígeno (O%)	Calcio (Ca%)
Manganeso (Mn%) $\leq 1,80$	Niobio (Nb%) $\leq 0,50$	Planchar (Ferrum) (Fe%)	Itrio (Y%)
Fósforo (P%) 0,025	Níquel (Ni%) 0,8	Hidrógeno (H%)	Contenido de Hidrógeno (H ppm%)
Azufre (S%) 0,025	Titanio (Ti%)	Circonio (Zr%)	Selenio (Se%)
Cobalto (Co%)	Vanadio (V%) $\leq 0,08$	Lantano (La%)	Hafnio (Hf%)
Cromo (Cr%) $\leq 1,00$	Tungsteno (W%)	Magnesio (Mg%)	Antimonio (Sb%)
Aluminio (Al%)	Telurio (Te%)	Cerio (Ce%)	Densidad 7,85
Cobre (Cu%)	Bismuto (Bi%)	Tantalio (Ta%)	
Nitrógeno (N%)	Berilio (Be%)	Arsénico (As%)	

**Nota:** Composición química de acuerdo al certificado de calidad de Böhler (2019)

### 3.5. Determinación de la temperatura de precalentamiento

Precalentar a 150-250°C y remover la escoria entre cada pase (martillado).

**Figura 34** *Precalentado*



**Figura 35** *Medición de temperatura*



### 3.6. Elaboración del bisel

Figura 36 *Ángulo de las planchas*



### 3.7. Procedimiento de soldadura

El desarrollo de las pruebas fue de manera normada en todo momento bajo los estándares requeridos de la norma AWS B2.1, cada espécimen extraído requirió una preparación especial para poder cumplir la norma utilizada, cada una de las pruebas fue realizada por expertos en ensayos mecánicos del laboratorio Soldexa Lima

#### 3.7.1. Procedimiento FCAW

Preparación del material para dar inicio al proceso de soldadura proceso FCAW en posición 1G con penetración completa con BACKWELD.

El Ángulo es de 30 grados por plancha, con un espesor de 1 pulgada de espesor, en cuanto al material se precisa que es CHRONIT T1 500.

**Figura 37** Espesor de la plancha

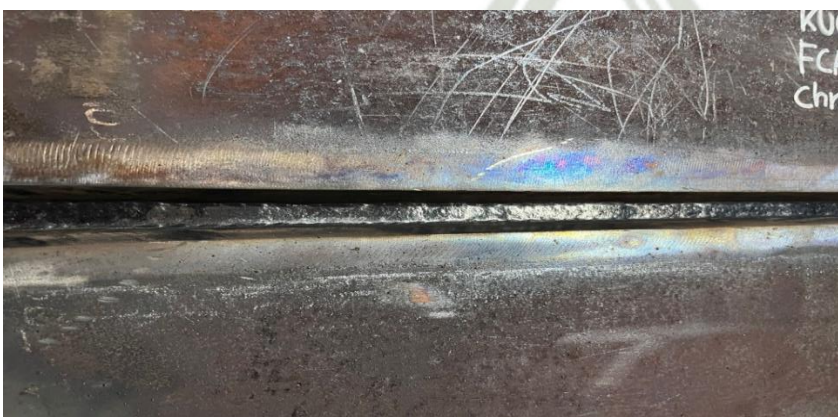


**Figura 38** Penetración y limpieza



Se realiza pase de penetración completa exitoso. Se procede con una limpieza y blanqueamiento para poder realizar los siguientes pasos.

**Figura 39** Segunda penetración



Segundo pase exitoso sin observaciones de poros, socavaciones o fisuras.

**Figura 40 Llenado**



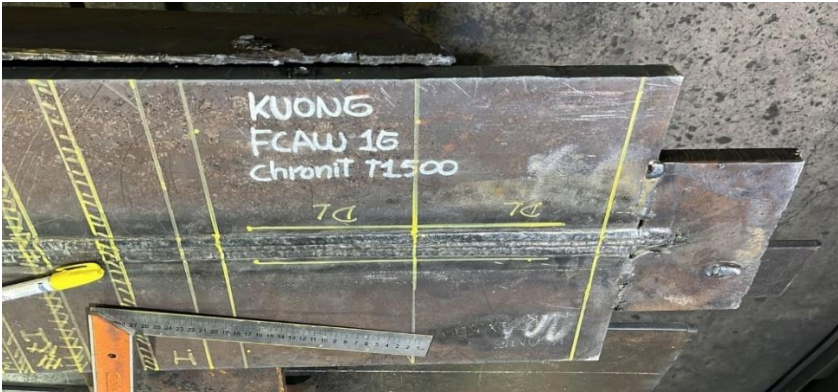
Los sub siguientes pases se realizó un llenado exitoso de igual manera. Se observa un buen acabado sin sobremonta, socavaciones o fisuras. Se procede a hacer un alivio de tensiones con golpes de martillo en distintas zonas.

**Figura 41 Enfriamiento**



Se procede a envolver y dejar enfriar lentamente para evitar choque térmico y evitar fisuras en frío.

**Figura 42** Mediciones



**Figura 43** Preparación de las probetas



**Figura 44** Probetas



Probetas preparadas de manera mecanizada bajo estándares de la norma AWS b2.1 lista para realizar los ensayos correspondientes a la probeta soldada bajo proceso FCAW en posición 1g, se puede apreciar que no se presentan fisuras, incrustación de escoria o porosidades, soldadura sana.

### 3.7.2. Procedimiento GMAW-P

Antes de dar inicio al proceso de soldeo de la probeta N°2 de material chromit T1 – 500, se llevó a cabo el precalentamiento, el cual fue calculado con anterioridad con el propósito de verificar las recomendaciones técnicas del fabricante, con el fin de evitar choques térmicos y cambios significativos en la micro estructura.

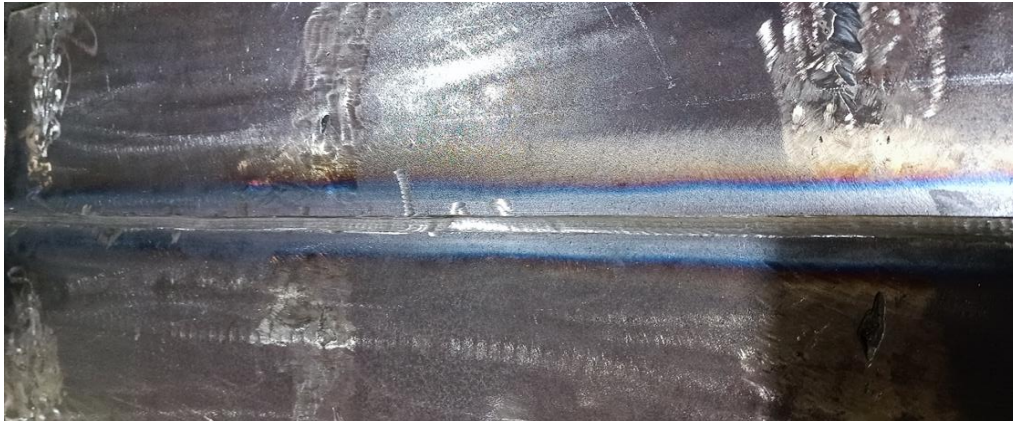
**Figura 45** *Medición de la temperatura*



Luego de llevar el cupón de soldadura a la temperatura deseada se inició con el pase de raíz, con su respectivo cordón de respaldo.

**Figura 46** *Pase de raíz*



**Figura 47** *Blanqueamiento*

En la figura 49 se evidencia como quedó el proceso de blanqueamiento el cual fue realizado en la parte posterior de la raíz con el propósito de realizar el cordón de refuerzo.

**Figura 48** *Cordones de relleno*

Se dio continuidad al proceso con los cordones de relleno, cada cordón de soldadura fue controlado y se tomaron apuntes de los parámetros de temperatura, voltaje, amperaje y tiempo, ya que este proceso es un arco pulsado.

**Figura 49** *Control del proceso*

Durante la ejecución del proceso de soldadura se llevó a cabo un riguroso control da cada una de las capas de acabado.

Una vez concluido el proceso de soldeo, se procedió a dar tratamiento térmico a la probeta soldada, con la intencionalidad de evitar fisuraciones por choque térmico (enfriamiento lento y controlado), por lo que se cubrió la placa de acero con mantas ignífugas, hasta su enfriamiento total.

**Figura 50** *Enfriamiento*

En la Tabla 24 se evidencian los valores que fueron tomados para ambos procesos, tiempos, amperajes y voltajes.

**GMAW-P:** 70 cm de cupón de 1 pulgada de espesor soldado en 55 minutos, 1 trabajador en 8 horas de jornada laboral realizaría una soldadura de 610,91cm aproximadamente con un espesor de 1 pulgada. Para el proceso de soldadura se eligió el alambre MIGFIL PS 6-GC cuyas especificaciones técnicas publicadas en la página oficial del fabricante ESAB son las siguientes:

**Tabla 20** Especificaciones técnicas MIGFIL PS 6-GC

Especificaciones	
Clasificaciones	AWS A5.18 / ASME SFA-5.18: ER70S-6
Aprobaciones	ABS 3M SA: ABS 3M SA GL 3S: GL 3S

Fuente. (ESAB, 2023)

**Tabla 21** Propiedades típicas de Tensión MIGFIL PS 6-GC

Propiedades típicas de Tensión				
Condición	Límite de flujo	Resistencia a la tracción	Alargamiento	Tipo de corriente CA/CD/CC (+) (-)
Como queda soldado	420 MPa	500-640 MPa	22%	CC (+)

Fuente. (ESAB, 2023)

**Tabla 22** Teste Charpy MIGFIL PS 6-GC

Teste Charpy		
Condición	Temperatura de prueba	Valor de impacto
Como queda soldado	20 °C	80 J

Fuente. (ESAB, 2023)

**Tabla 23 Depósito MIGFIL PS 6-GC**

Depósito		
Diámetro	Corriente	Tensión
0.8 MM	90-120 A	15-27 V
1.6 mm	110-150 A	17-32 V
1.2 mm	110-270 A	19-35 V

Fuente. (ESAB, 2023)

**Tabla 24 Valores GMAW-P**

GAS: MEZCLA		POSICION: 1G		
FUENTE: ARISTO 500IX		ALIMENTADOR: ROBUST FEED U6		
PARAMETROS DE SOLDEO GMAW - P		ALAMBRE SOLIDO 1.6mm		
	VOLTAJE	AMPERAJE	TIEMPO	
RAIZ	14.2	163	7 min 29 seg	TECNICA
CAPA 1	27.2	295	2 min 50 seg	OSCILANDO
CAPA 2	27.2	269	2 min 58 seg	EMPUJE
CAPA 3				
CORDON 1	27.5	273	2 min 37 seg	
CORDON 2	28	251	2 mi 30 seg	
CAPA 4				
CORDON 1	27	280	2 mi 26 seg	
CORDON 2	27.2	185	2 min 8 seg	
CORDON 3	28	290	2 min 01 seg	
CAPA 5				
CORDON 1	28	269	2 min 07 seg	
CORDON 2	28.5	290	1 min 37 seg	
CORDON 3	28	283	2 min 01 seg	
CAPA 6				
CORDON 1	22.5	293	2 min 16 seg	
CORDON 2	22.7	285	2 min 23 seg	
CORDON 3	28.7	287	1 min 46 seg	
RESPALDO	27.2	274	1 min 58 seg.	
Tiempo adicional de espera entre Cordón de soldadura + 1 min				
Tiempo Tot. =	55 min 11seg			

**FCAW:** 70 cm de cupón de 1 pulgada de espesor soldado en 91 minutos, 1 trabajador en 8 horas de jornada laboral realizaría una soldadura de 369,23 cm aproximadamente con un espesor de 1 pulgada. Para el proceso de soldadura se eligió el alambre Dual Shied 7100 cuyas especificaciones técnicas publicadas en la página oficial del fabricante ESAB son las siguientes:

**Tabla 25** Especificaciones técnicas Dual Shied 7100

Especificaciones	
Clasificaciones	AWS A5.20: E71T-1C
Aprobaciones	AWS A5.20: E71T-1C
Corriente se soldadura	DC+
Tipo de aleación	C Mn

Fuente. (ESAB, 2023)

**Tabla 26** Propiedades típicas de Tensión Dual Shied 7100

Propiedades típicas de Tensión			
Condición	Límite de flujo	Resistencia a la tracción	Alargamiento
AWS C1 shielding gas			
Como queda soldado	491 MPa	563 MPa	30%

Fuente. (ESAB, 2023)

**Tabla 27** Teste Charpy Dual Shied 7100

Teste Charpy		
Condición	Temperatura de prueba	Valor de impacto
AWS C1 shielding gas		
Como queda soldado	0 °C	90 J
Como queda soldado	-20 °C	58 J

Fuente. (ESAB, 2023)

**Tabla 28** Depósito Dual Shied 7100

Depósito				
Diámetro	Corriente	Tensión	Velocidad de alimentación	Tasa de Deposición
1.2 mm	140-330 A	22-34 V	5.1-15.2 m/min	1.7-5.3 kg/h
1.6 mm	170-460 A	24-36 V	3.8-12.7 m/min	2.5-8.3 kg/h

Fuente. (ESAB, 2023)

**Tabla 29** Valores FCAW

GAS: MEZCLA		POSICION: 1G		
FUENTE: WARRIOR 500I		ALIMENTADOR: ROBUST FEED PRO		
PARAMETROS DE SOLDEO FCAW			ALAMBRE TUBULAR 1.6mm	
	VOLTAJE	AMPERAJE	TIEMPO	
RAIZ	23.5	245	8 min 45 seg	TECNICA
CAPA 1	26.7	311	2 min 35 seg	OSCILANDO
CAPA 2	26.7	302	3 min 02 seg	ARRASTRE
CAPA 3				
CORDON 1	29	319	3 min 01 seg	
CORDON 2	28	315	2 mi 54 seg	
CAPA 4				
CORDON 1	28.2	298	2 mi 45 seg	
CORDON 2	27.8	301	2 min 20 seg	
CORDON 3	28	305	2 min 32 seg	
CAPA 5				
CORDON 1	29	306	2 min 35 seg	
CORDON 2	28.9	306	2 min 02 seg	
CORDON 3	28.7	309	2 min 34 seg	
CAPA 6				
CORDON 1	27.8	300	2 min 56 seg	
CORDON 2	28.1	301	2 min 58 seg	
CORDON 3	29.2	308	2 min 40seg	
RESPALDO	28.4	289	2 min 24 seg.	
Adicional tiempo de espera entre Cordón de soldadura + 3 min				
Tiempo Tot =	91 minutos o 1 hora 31 minutos			

De igual manera, se puede apreciar diferencias en los amperajes utilizados, lo que indica que en un proceso se aplica mayor aporte térmico que en el otro, lo que implica que el tiempo de espera para que disminuya la temperatura es un poco mayor.

Para el proceso de selección de los materiales de aporte se tomó como primera consideración el uso que se le va a dar al material, tomando en cuenta que, para cubrir las necesidades de la empresa minera de alargar la vida de los camiones mineros, se implementa un recubrimiento a la tolva de los camiones. Destacando que el protector funcionará como un recubrimiento más no como una estructura.

Aunado a ello, cabe destacar que el material base tiene un valor de resistencia de 1650 y en el mercado no existe un material de aporte que iguale sus propiedades mecánicas; por lo que, se puede hacer uso de un material que por sus características tenga un buen nivel de eficiencia.

Por otro lado, se tomó en consideración la investigación de Aspilcueta (2014), ingeniero en materiales quien buscaba determinar la temperatura de precalentamiento en planchas Chronit T-1, misma plancha considerada para el presente estudio de investigación. Para el proceso de soldadura el autor utilizó como material de aporte el Tenacito 110- E11018-G cuya resistencia a la tracción es de 760, afirmando que no hay problema en utilizar un electrodo básico, entendido como de menor resistencia a la tracción que la del material base, solo es necesario mantener la tenacidad en el proceso de precalentar. Sustentado en el precitado trabajo de investigación para la presente estudio se consideraron los siguientes materiales de aporte para los procesos de soldadura.

## CAPÍTULO IV

### 4. CALIFICACIÓN Y ENSAYOS PARA EL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

#### 4.1. Procedimiento de soldadura

**1. Reconocimiento del proyecto de soldadura a ejecutar:** Una vez recopilada toda la información normativa y especificaciones técnicas de los materiales y procedimientos a realizar direccionado para el recubrimiento de protección a la estructura de la tolva de los camiones. Cabe destacar que las tolvas producto de la actividad que ejerce presenta un grado de desgaste que requiere de un proceso de mantenimiento el cual incluye soldadura del acero de manera periódica.

**2. Selección del código a trabajar:** para la ejecución de los procesos de soldadura se consideró el código establecido por la norma de procesos de soldadura y calificación de desempeño AWS B2.1 y B4.0, ya que la precitada norma permitió realizar la calificación y comparación del desempeño de los procesos de soldadura objeto de estudio.

**3. Definición de variables:** se establecieron como variables el ambiente de trabajo, material base a utilizar, tipo de gas de protección, material de aporte, maquinas a utilizar especializadas en cada proceso, temperaturas de precalentamiento y tratamientos térmicos.

**4. Elaboración del documento del procedimiento:** La elaboración del procedimiento de soldadura se lleva a cabo por un especialista calificado como un CWI, por lo que no tomaremos parte de este punto.

**5. Preparación de la junta:** Se realiza un bisel en todas las placas a un ángulo de  $30^\circ$  ya que este es el ángulo recomendado por la norma para uniones a penetración completa sin respaldo.

**6. Desarrollo de la soldadura:** El procedimiento comenzó con el precalentamiento, durante el cual se mantuvo un estricto control de la temperatura en cada pase. Además, se supervisaron constantemente los parámetros de las máquinas, incluyendo el amperaje. Se llevó a cabo una inspección minuciosa de cada cordón de soldadura para detectar posibles fisuras, porosidades o acumulación de escoria. Se registraron los valores de voltaje y amperaje utilizados, así como el tiempo necesario para cada pase de soldadura. Finalmente, se implementó un proceso de alivio de tensiones y se permitió un enfriamiento gradual para prevenir fisuras en el metal durante el enfriamiento rápido.

**7. Inspección visual:** Después de llevar a cabo ambos procesos de soldadura y realizar un seguimiento detallado de cada pase de soldadura, identificamos la presencia de escoria incrustada en el pase de raíz del proceso FCAW. Esta escoria debió ser removida, y lo mismo sucedió en el segundo pase de soldadura. Ambos pasos requirieron limpieza, ya que la presencia de escoria incrustada en estos puntos podría generar fisuras en el futuro.

**8. Selección y aplicación de ensayos requeridos:** Los ensayos que seleccionamos y aplicamos, pudimos tomar medidas requeridas y los resultados aceptables de la norma AWS B2.1. pág. 10, 14, 60, y de la norma AWS B4.0 en las pág. 28, 29, 30.

**9. Registro de calificación del procedimiento (RCP):** El registro de calificación consiste en los resultados obtenidos a partir de los ensayos de

laboratorio que se llevaron a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Soldexa en Lima. Estos resultados cuentan con la certificación y respaldo de dicha empresa.

**10. Edición del procedimiento de soldadura:** La edición del procedimiento debe llevarse a cabo de la misma manera que se describe en el punto 4, y debe ser realizada por un especialista calificado CWI. Nosotros no hemos realizado esta edición, ya que el objetivo principal de esta investigación es recopilar datos para identificar las ventajas y desventajas de ambos procedimientos, y así analizar la viabilidad de reemplazar el proceso FCAW por el GMAW-P.

#### 4.2. Evaluación de los procesos de soldadura

Durante el proceso FCAW, se evidenció que la incrustación de escoria en posición 1g es muy frecuente, por lo que hay momentos en los que ameritó hacer limpieza con disco.

En el proceso FCAW: la deposición de material de aporte debe ser muy uniforme, ya que si existe el mismo aumento o disminución de velocidad de pase de soldadura, presentara o mucha o poca deposición de material, y eso provocara montas o espacios por rellenar con soldadura

El proceso GMAW-P proporciona un mayor control entre pases, por lo que el proceso se puede llevar de manera más natural y fluida

Al momento de realizar el proceso GMAW-P existe un mejor control de deposición de material, permite corregir durante el proceso, si es que necesita más o menos deposición de material

Ambos obligatoriamente necesitan el apoyo exclusivo de gas protector para liberar 100% de formación de poros

El precalentamiento y el mantener la temperatura de interpases, es fundamental para evitar agrietamiento o fisuras por choque térmico.

Para la extracción de los especímenes, no se puede utilizar oxicorte o corte por plasma, porque calor producido por estos, provoca endurecimiento del material, por lo que se recomienda en lo posible utilizar discos de corte para la extracción.

### **Manejo de los materiales**

El material base debe estar libre absolutamente de óxido, suciedad, polvo, pintura, o algún elemento que altere la soldabilidad

El material base debe ser en lo posible preparado con discos de corte y desbaste

Los alambres de alimentación deben estar almacenados en lugares libre de contaminantes externos, como humedad (producen oxidación), áreas de pintura, áreas de presencia de mucho polvo

Se debe mantener en sus cajas respectivas y protectores de humedad y polvo de fábrica

Las máquinas de soldar, tanto la de FCAW como la de GMAW-P deben ser inspeccionadas antes de su utilización, así también sus pistolas y sus maletas de alimentación

El material base para el Proceso FCAW, debe ser constantemente monitoreado con un pirómetro para mantener la temperatura de interpase.

#### **4.1.1. Ensayos**

El análisis del ensayo de tracción no se realizó sobre el material, sino que dio cumplimiento a la norma y se realizó sobre cordón de soldadura. En consideración la norma AWS B2.1/B2.1M:2014 establece que:

Ensayos de tenacidad a la fractura

##### 7.1 Ámbito de aplicación

7.1.1.- Esta cláusula trata de los ensayos de tenacidad a la fractura de soldaduras. Los métodos incluyen los ensayos Charpy V-Notch (Cv), el desgarramiento dinámico (DT), la tenacidad a la fractura por deformación plana (K<sub>ic</sub>), el desplazamiento de apertura de la punta del crack (CTOD) y el ensayo de caída de peso nulo - temperatura de ductilidad (DWN<sub>DT</sub>).

7.1.2.- Cuando se requiera un ensayo de tenacidad a la fractura, la preparación de la soldadura, la probeta y los métodos de ensayo deberán ajustarse a esta norma.

7.1.3.- Esta norma es aplicable a lo siguiente cuando así se especifique:

(1) Para la cualificación de materiales, procedimientos de soldeo y personal de soldeo cuando se requiera un nivel especificado de tenacidad a la fractura:

(2). Para información, especificación de aceptación y control de calidad de fabricación donde se solicite un criterio mínimo de tenacidad a la fractura. La discusión detallada de la selección del método de ensayo y de un valor mínimo especificado en un caso concreto queda fuera del ámbito de esta norma; y

(3). Investigación y desarrollo

7.1.4.- Cuando se utilice esta norma se facilitará la siguiente información

(1) los tipos específicos y el número de probetas requeridas,

- (2). Especificaciones/identificación del metal base,
- (3). Especificación/identificación del material de aportación,
- (4) los valores previstos de las propiedades y si se trata de requisitos máximos o mínimos
- (5). ubicación y orientación de la probeta y la entalladura
- (6) geometría de la junta
- (7) temperatura de ensayo, y
- (8) tratamientos térmicos o mecánicos posteriores a la soldadura.

7.2. Referencias normativas. Las siguientes normas contienen disposiciones que, mediante referencia en este texto, constituyen disposiciones obligatorias de esta prueba. Para referencias sin fecha, se aplicará la última edición de la norma referenciada. Para referencias fechadas, no se aplican modificaciones o revisiones posteriores de cualquiera de estas publicaciones.

### 7.3. Resumen del método

7.3.1 El método seleccionado para la prueba de tenacidad a la fractura debe ser el requerido en la especificación de un material, documento de fabricación o según lo especificado.

7.3.2. Se retirarán muestras de una soldadura para que los resultados de la prueba sean representativos del desempeño estructural de la junta soldada.

### 7.4 Importancia

7.4.1 La prueba de tenacidad a la fractura proporciona una medida de resistencia a la extensión inestable de la grieta (es decir, inicio de la fractura), desgarro dúctil o ambos.

7.4.2. El proceso de soldadura y el procedimiento de soldadura tienen un efecto significativo en las propiedades mecánicas de una unión soldada. Si la tenacidad a la fractura de una muestra de unión soldada ha de ser representativa de su desempeño estructural, se deben usar el mismo proceso de soldadura, procedimiento y velocidades de enfriamiento de la soldadura en función de la distancia y el espesor para la muestra y la estructura.

#### 7.5. Aparato

7.5.1. El aparato para realizar las diversas pruebas de tenacidad a la fractura deberá estar de acuerdo con la última edición de los siguientes métodos estándar ASTM:

- (1) Muesca en V Charpy, E23
- (2) Desgarro dinámico, E 604
- (3) Tenacidad a la fractura por deformación plana, E399
- (4) Temperatura de transición de ductilidad nula al caer el peso, E 208
- (5) Jic, Una medida de tenacidad a la fractura E 813 y
- (6) Fractura por desplazamiento de apertura de punta de grieta (CTOD)

Dureza # 1290

#### 7.6. Especímenes

7.6.1. Se deberá proporcionar información suficiente para localizar adecuadamente las muestras y las juntas soldadas; También se identificará la orientación de la junta soldada.

7.6.2. Las muestras de ensayo no deberán contener metal que haya sido afectado térmicamente como resultado del corte o la preparación.





7.6.3 A menos que se especifique lo contrario, las dimensiones nominales, la orientación y la ubicación de las muescas de las muestras deben ser las que se muestran en las figuras 7.1 a 7.6, respectivamente. El área de dibujos de trabajo se proporciona en los documentos de referencia.

7.6.4 A menos que se especifique lo contrario, la relación espesor de la muestra del ancho del metal de soldadura para la muestra de tensión compacta debe ser como se muestra en la figura 7.7. Las muestras de prueba del metal de soldadura deben ubicarse en la junta soldada lo más cerca posible de la cara de soldadura para proporcionar el máximo metal de soldadura. La tenacidad a la fractura requiere que la superficie de fractura esté completamente dentro del metal de soldadura. Se puede obtener un valor diferente de tenacidad a la fractura cuando la superficie de fractura incluye el metal de soldadura, la zona afectada por el calor (HAZ) y el metal base.

7.6.5. Cuando se requiere una evaluación del metal o HAZ o ambos, se debe especificar la ubicación de la muesca.

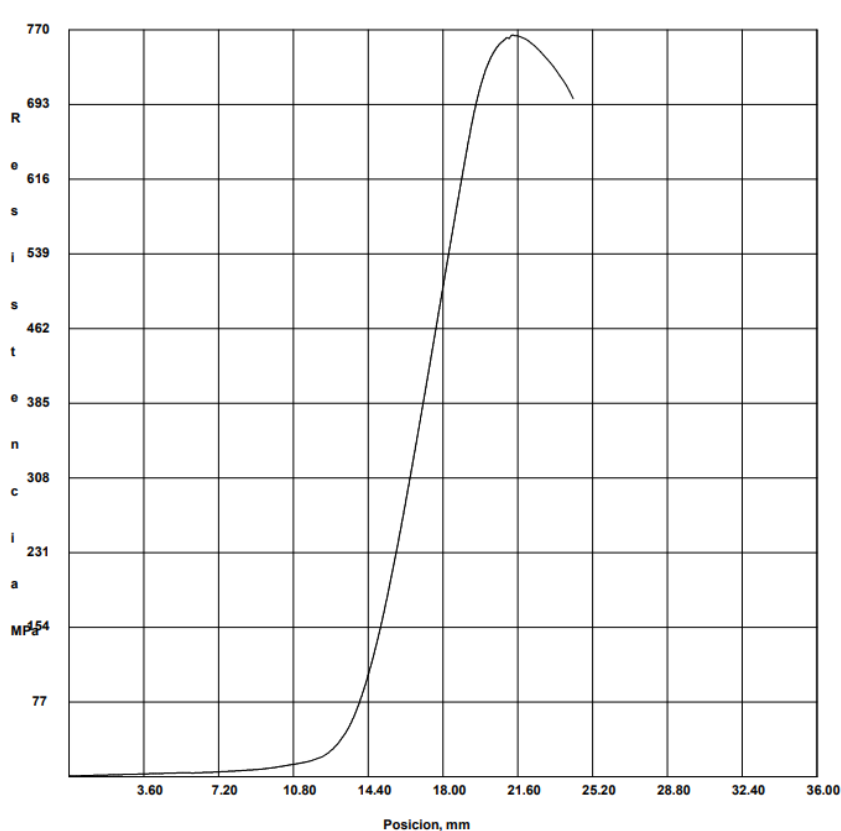
# 1. Ensayo de tracción FCAW

Figura 51 Reporte y gráfica Ensayo de Tracción

		<b>INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN</b>					<b>LAB-F-12</b>		
							<b>Edición 08</b>		
<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-052</b>									
Razón Social (Nombre Cliente) : Dirección : Teléfono : Contacto : Referencia: Descripción de la Muestra: Fecha de Informe : Informe de Ensayo N° :		Departamento Técnico de Arequipa Calle Cayetano Arenas # 142 - Arequipa 054-234441 - Rpc 991-372-923 Luis Ramos Tesis para Título Profesional Bach. Christopher Kuong Probetas Planas 2022-12-07 ET-2022-349				 <p>                     Registro N°LE - 052  <b>Norma NTP-ISO/IEC 17025-2017</b> </p>			
Identificación de las Probetas	Sección Transversal				Limite de Fluencia		Resistencia a la Tracción		% Elongación
	Ancho mm	Espesor mm	Diámetro mm	Area mm <sup>2</sup>	Fluencia N	Fluencia Mpa	Máxima N	Máxima MPa	
T1	19.15	25.18	No Aplica	482.20	348752	<b>723</b>	368752	<b>765</b>	No Aplica
T2	19.02	25.10	No Aplica	477.40	329587	<b>690</b>	362080	<b>758</b>	No Aplica
Observaciones : Material Base: Chronit T1-500 Material de Aporte: E71T-1M Proceso: FCAW Posición: 1G Para la rotura ver gráfica adjunta.									
Las Dimensiones de las Probetas <b>SI (X) / No ( )</b> Cumplen con la Norma:					AWS B2.1 - 2021				
Método de Ensayo :		ASTM A370-20							
Equipo Usado :		Marca Tinius Olsen Super L 120 - N° Serie 173635							
Código Interno del Equipo :		LAB-E-041							
Temperatura de Ensayo (°C) :		22.8°C							
Nombre del Analista :		José Soto							
Fecha de Recepción de las Probetas :		2022-12-01							
Fecha de Ejecución de Ensayo :		2022-12-01							
1.-Los datos del cliente, la identificación de las probetas e información adicional proporcionada por el cliente; queda bajo su responsabilidad. 2. La Incertidumbre Expandida es 5 MPa (Tracción y Fluencia) y 1% (Elongación) para un Nivel de Confianza al 95% y un K=2. 3. Prohibida la Reproducción Total o Parcial del Informe sin la Autorización escrita del Laboratorio de Soldexa. 4. Los Resultados de este Informe solo son válidos para las Probetas Ensayadas. 5. Los Resultados no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Norma de Producto o Certificación del Sistema de Calidad.									
Antigua Panamericana Sur Km 38.5 - Lurín - Lima - Perú					Correo: jose.soto@esab.com.pe			 Jefe de Aseguramiento y Desarrollo de la Calidad Ing. Ronald Requejo Villanueva CIP: 101024	
								Teléfono: 619-9600 Anexos 2240 - 2233	

De acuerdo al informe de soldadura figura 53 emitido por Soldexa se evidencia que, las probetas son identificadas como T1 y T2, cuyos anchos fueron de 19.15 mm y 19.02, espesor 25.18 y 25.10 mm, respectivamente. El material base es Chronit R1-500, el material de aporte Dual Shield 7100, el proceso realizado fue FCAW bajo posición 1G. De acuerdo con las especificaciones técnicas del Dual Shield 7100, que se detallan en la Tabla 19, se establece que la resistencia a la tracción debe ser de 563 MPa. Sin embargo, los resultados del ensayo arrojaron valores de 765 y 758 MPa, los cuales superan significativamente el umbral establecido por la norma.

**Figura 52** Reporte y gráfica Ensayo de Tracción

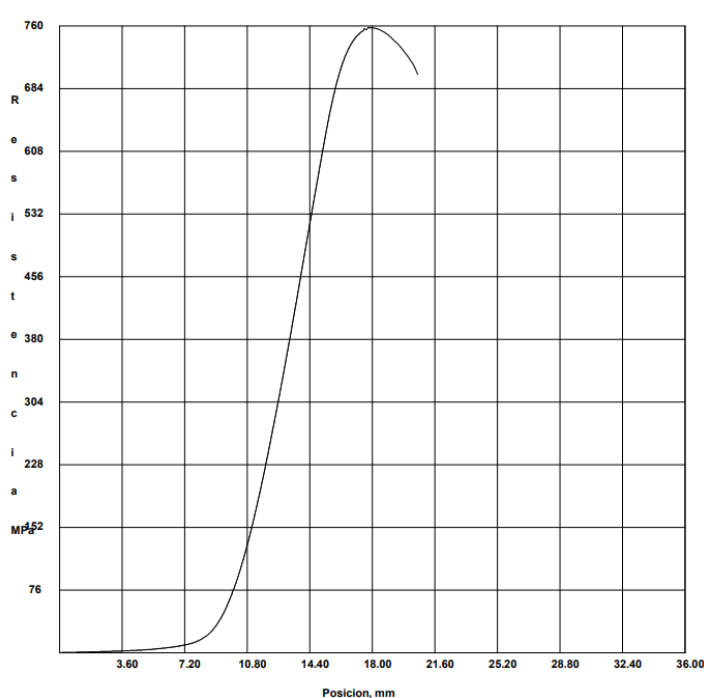


**SOLDEX S.A.**  
**LAB-F-34 Edición 02**  
**Reporte y Gráfica Ensayo Tracción**  
**Lurín-Lima-Perú**

**ASTM A370-20**

Nº Ensayo:	ET-2022-349
Id. Probeta:	T1
a) Ancho, mm:	19.15
b) Espesor, mm:	25.18
Area, mm <sup>2</sup> :	482.20
c) Lon. Sec. Reducida, mm:	48.20
d) Lon. Sec. Agarre, mm:	150.00
e) Lon. Total Probeta, mm:	360.00
f) Radio, mm:	25.00
L. Fluencia, N:	348752
L. Fluencia, MPa:	723
Fuerza Máxima, N:	368752
R. Tracción, MPa:	765
Lo, mm:	0.00
Lf, mm:	0.00
Elongación, %:	0
Fecha de Ensayo:	2022/12/01
Hora:	15:01
Tº Ensayo (°C):	22.8
Rotura:	Cordón de Soldadura
La Probeta:	Si Cumple
Norma Calificación:	AWS B2.1 2021
Analista:	José Soto
Revisado por:	Ing. Requejo

**Figura 53 Informe de ensayo de tracción**



**SOLDEX S.A.**  
**LAB-F-34 Edición 02**  
**Reporte y Gráfica Ensayo Tracción**  
**Lurín-Lima-Perú**  
**ASTM A370-20**

Nº Ensayo: ET-2022-349  
Id. Probeta: T2  
a) Ancho, mm: 19.02  
b) Espesor, mm: 25.10  
Area, mm<sup>2</sup>: 477.40  
c) Lon.Sec.Reducida, mm: 48.00  
d) Lon.Sec.Agarre, mm: 150.00  
e) Lon.Total Probeta, mm: 360.00  
f) Radio, mm: 25.00  
L. Fluencia, N: 329587  
L. Fluencia, MPa: 690  
Fuerza Máxima, N: 362080  
R. Tracción, MPa: 758  
Lo, mm: 0.00  
Lf, mm: 0.00  
Elongación, %: 0  
Fecha de Ensayo: 2022/12/01  
Hora: 15:11  
Tº Ensayo (°C): 22.8  
Rotura: Cordon de Soldadura  
La Probeta: Si Cumple  
Norma Calificación: AWS B2.1-2021  
Analista: José Soto  
Revisado por: Ing.Requejo

Identificación de las Probetas	Sección Transversal				Limite de Fluencia		Resistencia a la Tracción		% Elongación
	Ancho mm	Espesor mm	Diámetro mm	Area mm <sup>2</sup>	Fluencia N	Fluencia Mpa	Máxima N	Máxima MPa	
T1	19.15	25.18	No Aplica	482.20	348752	723	368752	765	No Aplica
T2	19.02	25.10	No Aplica	477.40	329587	690	362080	758	No Aplica

De acuerdo al informe de soldadura figura 53 emitido por Soldexa se evidencia que, las probetas son identificadas como MS-1, MS-2, MS-3, ZAC-1, ZAC-2 Y ZAC-3, cuyos ángulos muesca fueron de 44.40 mm para cada una, el Radio muesca fue de 0.261 y la profundidad de 2.015 para cada probeta, el ancho de las probetas fue de 10.020, 10.018, 10.020, 10.011, 10.018 y 10.020 respectivamente. El material base es Chronit T1-500, el material de aporte Dual Shield 7100, el proceso realizado fue FCAW - posición 1G. El método del ensayo fue ASTM E23-18 – ASTM A370-20

Según la norma AWS B2.1, podemos identificar cuáles son nuestros parámetros de aceptación para poder aprobar esta unión soldada bajo, el proceso FCAW, la norma nos indica que, para poder aprobar una unión soldada, donde el material base tiene mejores propiedades mecánicas, sobre la del material de aporte Dual Shield 7100, se considera aprobado dicho ensayo de tracción, cuando el resultado sea mayor que la resistencia mecánica del material de aporte.

En este caso tenemos los siguientes resultados de los ensayos de tracción,  $T1= 765\text{MPa}=110954\text{psi}$  y  $T2=758\text{MPa}=109939\text{ PSI}$ , la resistencia a la tracción del material de aporte Dual Shield 7100 de nombre técnico E71T-1M es de 70000 PSI como se evidencia en la Tabla 26, entonces podemos concluir que ambos resultados están por sobre encima de lo permitido por la norma, entonces ambos ensayos son aprobados de manera satisfactoria.

En el caso específico del proceso FCAW, hemos realizado ensayos de tracción y obtenido los siguientes resultados:  $T1= 765\text{ MPa}=110,954\text{ PSI}$  y  $T2=758\text{ MPa}=109,939\text{ PSI}$ . Por otro lado, para el proceso GMAW-P, los ensayos de tracción arrojaron los siguientes resultados:  $T1= 580\text{ MPa}=84,121\text{ PSI}$  y  $T2=574\text{ MPa}=83,251\text{ PSI}$ . La resistencia a la tracción del material de aporte *MIGFIL PS 6-GC* es de 70000 PSI.

## 2. Ensayo de tracción GMAW-P

Figura 54 Reporte y gráfica Ensayo de Tracción





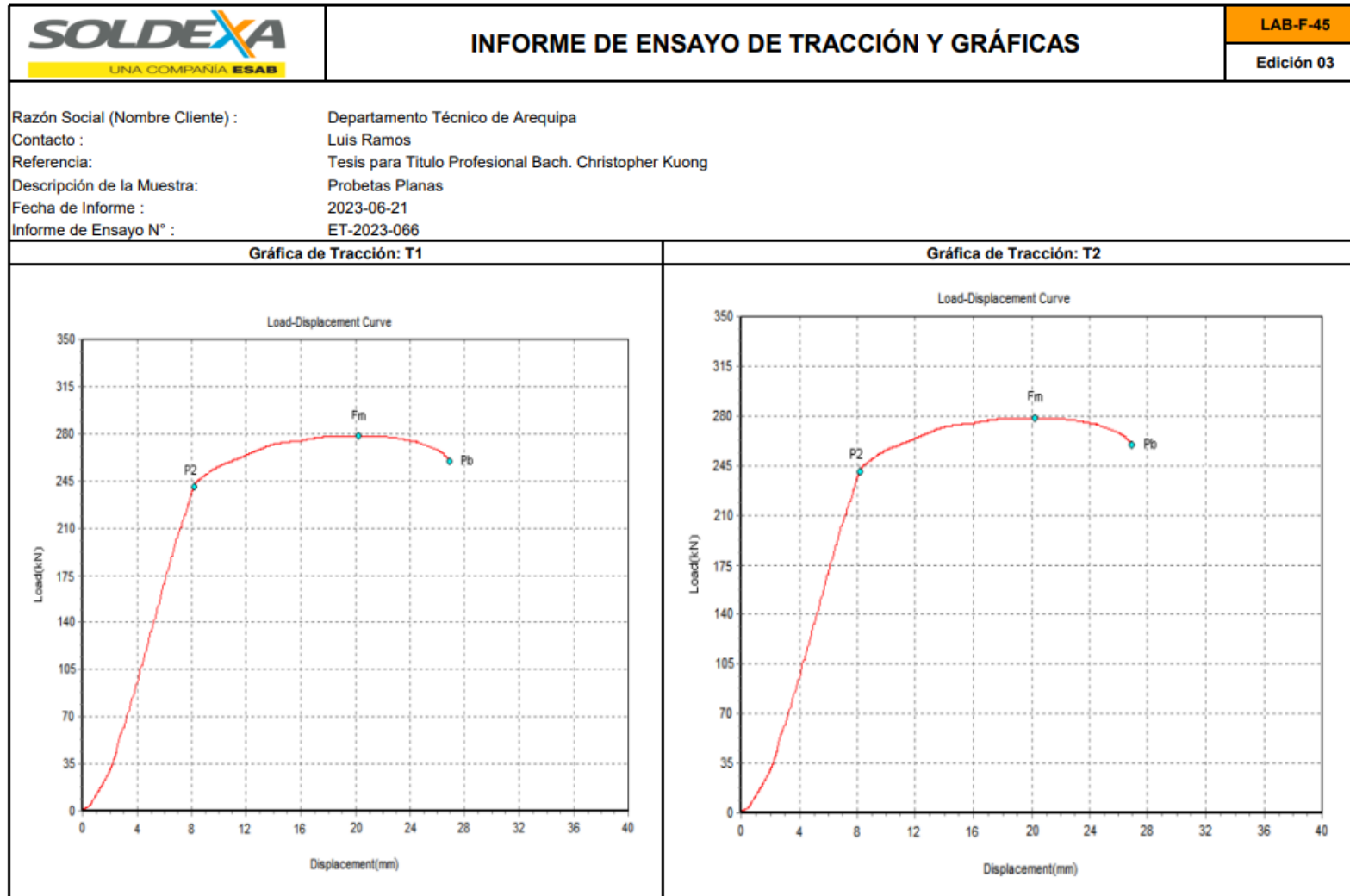
					<b>INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN Y GRÁFICAS</b>				<b>LAB-F-45</b>
									<b>Edición 03</b>
Razón Social (Nombre Cliente) :		Departamento Técnico de Arequipa							
Contacto :		Luis Ramos							
Referencia:		Tesis para Título Profesional Bach. Christopher Kuong							
Descripción de la Muestra:		Probetas Planas							
Fecha de Informe :		2023-06-21							
Informe de Ensayo N° :		ET-2023-066							
Identificación de las Probetas	Sección Transversal				Límite de Fluencia		Resistencia a la Tracción		% Elongación
	Ancho mm	Espesor mm	Diámetro mm	Area mm <sup>2</sup>	Fluencia N	Fluencia Mpa	Máxima N	Máxima MPa	
T1	19.10	25.10	No Aplica	479.41	241000	503	278000	580	No Aplica
T2	19.06	25.06	No Aplica	477.64	239700	502	274000	574	No Aplica
Observaciones :									
Material Base: Chronit T1-500									
Material de Aporte: Migfil PS6 GC Ø 1.60mm									
Proceso: GMAW-P									
Posición: 1G									
Ambas probetas rompieron en el Cordón de Soldadura.									
Las Dimensiones de las Probetas Si (X) / No ( ) Cumplen con la Norma:					AWS B2.1 - 2021				
Método de Ensayo :		ASTM A370-22							
Equipo Usado :		Equipo de Tracción Modepsa							
Código Interno del Equipo :		No Indica							
Temperatura de Ensayo (°C) :		22.8°C							
Nombre del Analista :		Ricardo Leon - José Soto							
Fecha de Recepción de las Probetas :		2023-06-14							
Fecha de Ejecución de Ensayo :		2023-06-16							
<p>1. Este Informe al ser emitido sin el Símbolo de Acreditación, no se encuentra dentro del marco de la Acreditación Otorgada por el INACAL - DA.</p> <p>2. Las Probetas han sido suministradas por el Cliente.</p> <p>3. Prohibida la Reproducción Total o Parcial del Informe sin la Autorización escrita del Laboratorio de Soldexa.</p> <p>4. Los Resultados de este Informe solo son válidos para las Probetas Ensayadas.</p> <p>5. Los Resultados no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Norma de Producto o Certificación del Sistema de Calidad.</p>									
Antigua Panamericana Sur Km 38.5 - Lurín - Lima - Perú					Correo: jose.soto@esab.com.pe			  Téc. José Fernando Soto García Analista de Laboratorio de Ensayos Mecánicos Análisis Químicos	
							 Teléfono: 619-9600 Anexos 2240		

Figura 55 Informe de ensayo de tracción y gráficas



Con base en estos resultados, podemos concluir que ambos procesos cumplen con los requisitos establecidos por la norma, ya que los valores de los ensayos de tracción están por encima de la resistencia mecánica del material de aporte. Es importante destacar que la diferencia en resistencia a la tracción entre ambos procesos se debe a que el proceso FCAW utiliza un mayor aporte de temperatura, lo que resulta en un endurecimiento del material base y, por ende, en una mayor resistencia a la tracción. Sin embargo, esta mayor resistencia también puede llevar a que el material sea más frágil. De acuerdo con las especificaciones técnicas del MIGFIL PS 6-GC, que se detallan en la Tabla 24, se establece que la resistencia a la tracción debe estar entre 500-640 MPa. Sin embargo, los resultados del ensayo arrojaron valores de 580 y 584 MPa, los cuales se encuentran dentro del umbral establecido por la norma.

### **3. Ensayo de impacto FCAW**

El ensayo de impacto es utilizado para evaluar el comportamiento del material ante fisuras o grietas. En el caso del proceso GMAW-P, se tomaron tres muestras de impacto (MS-1, MS-2, MS-3) en el cordón de soldadura. Observamos que la energía necesaria para fracturar la probeta en ese punto fue de 91, 69 y 109 JOULES respectivamente. Estas cifras son mayores que las obtenidas en el proceso FCAW.

Asimismo, se tomaron tres muestras adicionales (ZAC-1, ZAC-2, ZAC-3) en la zona ZAC del proceso GMAW-P. En estos ensayos, se observó que la energía empleada para fracturar la muestra fue de 204, 254 y 202 JOULES, respectivamente.

Es importante destacar que las muestras no llegaron a romperse. Estos resultados son significativamente superiores a los obtenidos en el proceso FCAW, lo cual indica que el material ha mantenido su microestructura de manera más efectiva, lo que a su vez aumenta considerablemente su resistencia.



Figura 56 Informe de ensayo de impacto



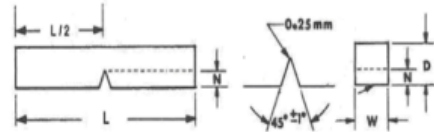


		<b>INFORME DE ENSAYO DE IMPACTO</b>										<b>LAB-F-13</b>	
												Edición: 09	
<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-052</b>													
Razón Social (Nombre Cliente): Departamento Técnico de Arequipa Dirección: Calle Cayetano Arena # 142 - Arequipa Teléfono: 054-234441 - RPC 991-372-923 Contacto: Luis Ramos Referencia: Tesis para Título Profesional Bach. Christopher Kuong Descripción de la Muestra: Probetas Metálicas de Impacto Fecha de Informe: 2022-12-23 Informe de Ensayo N°: EI-2022-076								 Registro N°LE - 052 <b>Norma NTP-ISO/IEC 17025-2017</b>					
Identificación de las Probetas	Verificación Rugosidad Probeta	Verificación Ángulo Muesca (45°±1°)	Verificación Radio Muesca (0.25±0.025mm)	Verificación Profundidad de Muesca (2±0.025mm) (N)	Verificación Ancho Probeta (W±0.075mm) (W)	Verificación Profundidad de Probeta (10±0.075mm) (D)	Verificación Longitud L (55+0,-2.5 mm)	Verificación L/2 (27.5± 1 mm)	Energía (J)	Probeta R/NR	T° Ensayo °C	Material Base	Material Aporte
<b>MS-1</b>	8L	44.40	0.261	2.015	10.020	10.015	54.54	27.27	<b>40</b>	Rota	-20°C ± 1.0°C	Chronit T1-500	E71T-1M
<b>MS-2</b>	8L	44.40	0.261	2.015	10.018	10.018	54.51	27.26	<b>41</b>	Rota			
<b>MS-3</b>	8L	44.40	0.261	2.015	10.020	10.015	54.54	27.27	<b>37</b>	Rota			
<b>ZAC-1</b>	8L	44.40	0.261	2.015	10.011	10.019	54.52	27.26	<b>34</b>	Rota			
<b>ZAC-2</b>	8L	44.40	0.261	2.015	10.018	10.020	54.54	27.27	<b>34</b>	Rota			
<b>ZAC-3</b>	8L	44.40	0.261	2.015	10.020	10.024	54.54	27.27	<b>31</b>	Rota			
Observaciones: Proceso: FCAW - Posición: 1G													
Las Dimensiones de las probetas Si Cumplen con la Norma:				AWS B2.1 - 2021									
Método de Ensayo:	ASTM E23-18 - ASTM A370-20												
Equipo Usado:	Marca Tinius Olsen - N° Serie 173310												
Código Interno del Equipo:	LAB-E-040												
Nombre del Analista:	José Soto												
Fecha Recepción de Probetas :	2022-12-20												
Fecha de Ejecución de Ensayo:	2022-12-20												
				Dimensiones de la Probeta Estándar de Impacto Charpy - Tipo A 						 Jefe de Aseguramiento y Desarrollo de la Calidad Ing. Ronald Requejo Villanueva CIP: 101024			
1.-Los datos del cliente, la identificación de las probetas e información adicional proporcionada por el cliente; queda bajo su responsabilidad. 2. La Incertidumbre Expandida es: (Rango Bajo y Alto 12.5 J a 150 J = ± 1.0 J) y (Rango Super Alto 151 J a 320 J = ± 6 J) para un Nivel de Confianza al 95% y un K=2. 3. Prohibida la Reproducción Total o Parcial del Informe sin la Autorización escrita del Laboratorio de Soldexa. 4. Los Resultados de este Informe solo son válidos para las Probetas Ensayadas. 5. Los Resultados no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Norma de Producto o Certificación del Sistema de Calidad.													
Antigua Panamericana Sur Km 38.5 Lurin-Lima-Perú				Correo: jose.soto@esab.com.pe						 Teléfono: 619-9600 Anexos 2240 - 2233			

Figura 57 Informe de ensayo de impacto




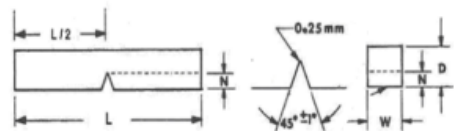


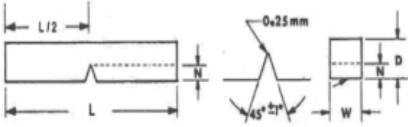


		<b>INFORME DE ENSAYO DE IMPACTO</b>										<b>LAB-F-13</b>	
												Edición: 09	
<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-052</b>													
Razón Social (Nombre Cliente): Departamento Técnico de Arequipa Dirección: Calle Cayetano Arena # 142 - Arequipa Teléfono: 054-234441 - RPC 991-372-923 Contacto : Luis Ramos Referencia: Tesis para Título Profesional Bach. Christopher Kuong Descripción de la Muestra: Probetas Metálicas de Impacto Fecha de Informe: 2022-12-23 Informe de Ensayo N°: EI-2022-076		 <p>                 INACAL                  DA - Perú                  Laboratorio de Ensayo                  Acreditado                  Registro N°LE - 052  <b>Norma NTP-ISO/IEC 17025-2017</b> </p>											
Identificación de las Probetas	Verificación Rugosidad Probeta	Verificación Ángulo Muesca (45°±1°)	Verificación Radio Muesca (0.25±0.025mm)	Verificación Profundidad de Muesca (2±0.025mm) (N)	Verificación Ancho Probeta (W±0.075mm) (W)	Verificación Profundidad de Probeta (10±0.075mm) (D)	Verificación Longitud L (55+0,-2.5 mm)	Verificación L/2 (27.5± mm)	Energía (J)	Probeta R/NR	T° Ensayo °C	Material Base	Material Aporte
MS-1	8L	44.40	0.261	2.015	10.020	10.015	54.54	27.27	40	Rota	-20°C ± 1.0°C	Chronit T1-500	E71T-1M
MS-2	8L	44.40	0.261	2.015	10.018	10.018	54.51	27.26	41	Rota			
MS-3	8L	44.40	0.261	2.015	10.020	10.015	54.54	27.27	37	Rota			
ZAC-1	8L	44.40	0.261	2.015	10.011	10.019	54.52	27.26	34	Rota			
ZAC-2	8L	44.40	0.261	2.015	10.018	10.020	54.54	27.27	34	Rota			
ZAC-3	8L	44.40	0.261	2.015	10.020	10.024	54.54	27.27	31	Rota			
Observaciones: Proceso: FCAW - Posición: 1G													
Las Dimensiones de las probetas Si Cumplen con la Norma: AWS B2.1 - 2021													
Método de Ensayo:	ASTM E23-18 - ASTM A370-20												
Equipo Usado:	Marca Tinius Olsen - N° Serie 173310												
Código Interno del Equipo:	LAB-E-040												
Nombre del Analista:	José Soto												
Fecha Recepción de Probetas :	2022-12-20												
Fecha de Ejecución de Ensayo:	2022-12-20												
				Dimensiones de la Probeta Estándar de Impacto Charpy - Tipo A									
								Jefe de Aseguramiento y Desarrollo de la Calidad Ing. Ronald Requejo Villanueva CIP: 101024					
1.- Los datos del cliente, la identificación de las probetas e información adicional proporcionada por el cliente; queda bajo su responsabilidad. 2. La Incertidumbre Expandida es: (Rango Bajo y Alto 12.5 J a 150 J = ± 1.0 J) y (Rango Super Alto 151 J a 320 J = ± 6 J) para un Nivel de Confianza al 95% y un K=2. 3. Prohibida la Reproducción Total o Parcial del Informe sin la Autorización escrita del Laboratorio de Soldexa. 4. Los Resultados de este Informe solo son válidos para las Probetas Ensayadas. 5. Los Resultados no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Norma de Producto o Certificación del Sistema de Calidad.													
Antigua Panamericana Sur Km 38.5 Lurín-Lima-Perú				Correo: jose.soto@esab.com.pe				 Teléfono: 619-9600 Anexos 2240 - 2233					


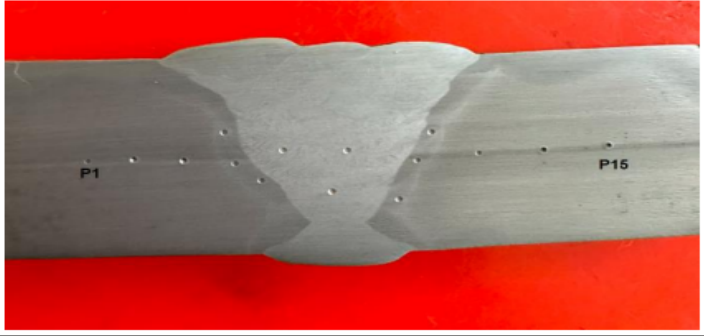




Figura 59 Informe de ensayo de impacto

SOLDEXA UNA COMPAÑIA ESAB		INFORME DE ENSAYO DE IMPACTO										LAB-F-13	
												Edición: 10	
<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-052</b>													
Razón Social (Nombre Cliente):		Departamento Técnico de Arequipa										 <p>INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N°LE - 052 Norma NTP-ISO/IEC 17025-2017</p>	
Dirección:		Calle Cayetano Arena # 142 - Arequipa											
Teléfono:		054-234441 - RPC 991-372-923											
Contacto :		Luis Ramos											
Referencia:		Tesis para Título Profesional Bach. Christopher Kuong											
Descripción de la Muestra:		Probetas Metálicas de Impacto											
Fecha de Informe:		2023-05-09											
Informe de Ensayo N°:		EI-2023-024											
Identificación de las Probetas	Verificación Rugosidad Probeta	Verificación Ángulo Muesca (45°±1°)	Verificación Radio Muesca (0.25±0.025mm)	Verificación Profundidad de Muesca (2±0.025mm) (N)	Verificación Ancho Probeta (W±0.075mm) (W)	Verificación Profundidad de Probeta (10±0.075mm) (D)	Verificación Longitud L (55±0,-2.5 mm)	Verificación L/2 (27.5±1mm)	Energía (J)	Probeta R/NR	T° Ensayo °C	Material Base	Material Aporte
MS-1	8L	44.53	0.261	2.001	10.016	10.017	54.50	27.25	91	Rota	-20°C ± 1.0°C	Chronit T1-500	Migfil PS6 GC Ø 1.60mm
MS-2	8L	44.53	0.261	2.001	10.010	10.015	54.55	27.28	69	Rota			
MS-3	8L	44.53	0.261	2.001	10.016	10.016	54.54	27.27	109	Rota			
ZAC-1	8L	44.53	0.261	2.001	10.012	10.019	54.51	27.26	204	No Rota			
ZAC-2	8L	44.53	0.261	2.001	10.012	10.015	54.52	27.26	254	No Rota			
ZAC-3	8L	44.53	0.261	2.001	10.017	10.011	54.55	27.28	202	No Rota			
Observaciones:													
Proceso: GMAW-P      Posición: 1G													
Las Dimensiones de las probetas <b>Si (X) / No ( )</b> Cumplen con la Norma:      AWS B2.1 - 2021													
Método de Ensayo:		ASTM E23-18 - ASTM A370-22											
Equipo Usado:		Marca Tinius Olsen - N° Serie 173310											
Código Interno del Equipo:		LAB-E-040											
Nombre del Analista:		José Soto											
Fecha Recepción de Probetas :		2023-05-08											
Fecha de Ejecución de Ensayo:		2023-05-09											
<p style="text-align: center;">Dimensiones de la Probeta Estándar de Impacto Charpy - Tipo A</p> 													
<p style="text-align: right;">Gerente de Calidad Pacifico Ing. Ronald Requejo Villanueva CIP: 101024</p> 													
<p>1.-Los datos del cliente, la identificación de las probetas e información adicional proporcionada por el cliente; queda bajo su responsabilidad.                  2. La Incertidumbre Expandida es: (Rango Bajo y Alto 12.5 J a 150 J = ± 1.0 J) y (Rango Super Alto 151 J a 320 J = ± 6 J) para un Nivel de Confianza al 95% y un K=2.                  3. Prohibida la Reproducción Total o Parcial del Informe sin la Autorización escrita del Laboratorio de Soldexa.                  4. Los Resultados de este Informe solo son válidos para las Probetas Ensayadas.                  5. Los Resultados no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Norma de Producto o Certificación del Sistema de Calidad.</p>													
<p>Antigua Panamericana Sur Km 38.5 Lurin-Lima-Perú      Correo: jose.soto@esab.com.pe      Teléfono: 619-9600 Anexos 2240 - 2233</p> 													


## 5. Ensayo de barrido de dureza FCAW

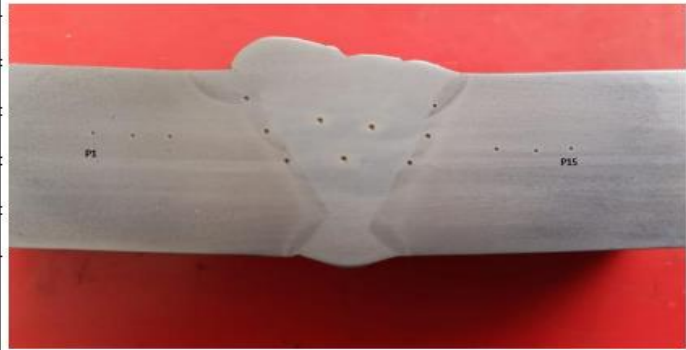
Figura 60 Informe de ensayo de dureza

		<b>INFORME DE ENSAYO DE DUREZA</b>								<b>LAB-F-43</b>															
										Edición: 02															
Razón Social (Nombre Cliente): Departamento Técnico de Arequipa Contacto : Luis Ramos Referencia: Tesis para Título Profesional Bach. Christopher Kuong Descripción de la Muestra: Probeta Metálica Soldada Fecha de Informe: 2023-06-21 Informe de Ensayo N°: EDu-2023-016																									
Zona	Resultados Dureza Vickers HV									Puntos de Dureza Ensayados según Norma AWS B2.1 - 2021															
	Línea 1			Prom.	Línea 2			Prom.	Línea 3			Prom.													
MB	P1	P2	P3	471																					
	484	471	458																						
ZAC	P4	P5	P6	222																					
	222	216	228																						
MS	P7	P8	P9	228																					
	228	222	234																						
ZAC	P10	P11	P12	230																					
	228	234	228																						
MB	P13	P14	P15	484																					
	498	484	471																						
Observaciones:  Material Base: Chronit T1-500 - Material de Aporte: E71T-1M Ø 1.60mm Proceso: FCAW - Posición: 1G Las Mediciones fueron en Escala HRBW y se realizó la Conversión a HV según Tabla 3 de la Norma ASTM A370-22.																									
<table border="1"> <tr> <td>Las Dimensiones de la probeta Si cumplen con la Norma:</td> <td>ASTM E18-22</td> </tr> <tr> <td>Método de Ensayo:</td> <td>ASTM E18-22</td> </tr> <tr> <td>Equipo Usado:</td> <td>Marca United - N° Serie 221256</td> </tr> <tr> <td>Código Interno del Equipo:</td> <td>LAB-E-042</td> </tr> <tr> <td>Nombre del Analista:</td> <td>Anghelo Quispe</td> </tr> <tr> <td>Fecha Recepción de las Probetas :</td> <td>2023-06-14</td> </tr> <tr> <td>Fecha de Ejecución de Ensayo:</td> <td>2023-06-16</td> </tr> </table>												Las Dimensiones de la probeta Si cumplen con la Norma:	ASTM E18-22	Método de Ensayo:	ASTM E18-22	Equipo Usado:	Marca United - N° Serie 221256	Código Interno del Equipo:	LAB-E-042	Nombre del Analista:	Anghelo Quispe	Fecha Recepción de las Probetas :	2023-06-14	Fecha de Ejecución de Ensayo:	2023-06-16
Las Dimensiones de la probeta Si cumplen con la Norma:	ASTM E18-22																								
Método de Ensayo:	ASTM E18-22																								
Equipo Usado:	Marca United - N° Serie 221256																								
Código Interno del Equipo:	LAB-E-042																								
Nombre del Analista:	Anghelo Quispe																								
Fecha Recepción de las Probetas :	2023-06-14																								
Fecha de Ejecución de Ensayo:	2023-06-16																								
<ol style="list-style-type: none"> <li>Este Informe al ser emitido sin el Símbolo de Acreditación, no se encuentra dentro del marco de la Acreditación Otorgada por el INACAL - DA.</li> <li>Las Probetas han sido suministradas por el Cliente.</li> <li>Prohibida la Reproducción Total o Parcial del Informe sin la Autorización escrita del Laboratorio de Soldexa.</li> <li>Los Resultados de este Informe solo son válidos para las Probetas Ensayadas.</li> <li>Los Resultados no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Norma de Producto o Certificación del Sistema de Calidad.</li> </ol>																									
Antigua Panamericana Sur Km 38.5 - Lurín - Lima -Perú				Correo: jose.soto@esab.com.pe				Laboratorio de Ensayo Soldexa - LABSOL  Téc. José Fernando Soto García Analista de Laboratorio de Ensayos Mecánicos Análisis Químicos  Teléfono: 619-9600 Anexos 2240 - 2233																	

## 6. Informe de barrido de dureza GMAW-P

### Figura 61 Informe de ensayo de dureza

		<b>INFORME DE ENSAYO DE DUREZA</b>										<b>LAB-F-43</b>
												Edición: 02
Razón Social (Nombre Cliente): Departamento Técnico de Arequipa Contacto : Luis Ramos Referencia: Tesis para Titulo Profesional Bach. Christopher Kuong Descripción de la Muestra: Probeta Metálica Soldada Fecha de Informe: 2023-05-11 Informe de Ensayo N°: EDu-2023-014												
Zona	Resultados Dureza Vickers HV							Puntos de Dureza Ensayados según Norma AWS B2.1 - 2021				
	Linea 1			Prom.	Linea 2			Prom.	Linea 3			Prom.
MB	P1	P2	P3	467								
	471	458	471									
ZAC	P4	P5	P6	277								
	279	272	279									
MS	P7	P8	P9	222								
	222	216	228									
ZAC	P10	P11	P12	277								
	279	279	272									
MB	P13	P14	P15	458								
	471	446	458									
Observaciones:  Material Base: Chronit T1-500 - Material de Aporte: Migfil PS6 GC Ø 1.60mm Proceso: GMAW-P - Posición: 1G Las Mediciones fueron en Escala HRBW y se realizó la Conversión a HV según Tabla 3 de la Norma ASTM A370-22.												
Las Dimensiones de la probeta Si cumplen con la Norma:		ASTM E18-22										
Método de Ensayo:		ASTM E18-22										
Equipo Usado:		Marca United - N° Serie 221256										
Código Interno del Equipo:		LAB-E-042										
Nombre del Analista:		José Soto										
Fecha Recepción de las Probetas :		2023-05-08										
Fecha de Ejecución de Ensayo:		2023-05-11										
1. Este Informe al ser emitido sin el Símbolo de Acreditación, no se encuentra dentro del marco de la Acreditación Otorgada por el INACAL - DA. 2. Las Probetas han sido suministradas por el Cliente. 3. Prohibida la Reproducción Total o Parcial del Informe sin la Autorización escrita del Laboratorio de Soldexa. 4. Los Resultados de este Informe solo son válidos para las Probetas Ensayadas. 5. Los Resultados no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Norma de Producto o Certificación del Sistema de Calidad.												
Antigua Panamericana Sur Km 38.5 - Lurín - Lima -Perú						Correo: jose.soto@esab.com.pe						
											Laboratorio de Ensayo Soldexa - LABSOL  Téc. José Fernando Soto García Analista de Laboratorio de Ensayos Mecánicos Análisis Químicos	
											 Teléfono: 619-9600 Anexos 2240 - 2233	



Al analizar los resultados de las pruebas de dureza en las probetas del ensayo de FCAW se observa que “MB” “ZAC” “MS” “ZAC” y “MB” los valores son 471, 222, 228, 230 y 484 respectivamente. Convirtiéndolos a dureza Brinell (HB) nos da como resultados 444, 212, 217, 219 y 456 respectivamente.

En cuanto a las pruebas de dureza en las probetas del ensayo de GMAW -P podemos observar que la dureza Vickers (HV) en las zonas "MB" “ZAC” "MS" “ZAC” y “MB” los resultados son de 467, 277, 222, 277 y 458 respectivamente. Convirtiéndolos a la dureza Brinell (HB) los valores son 441, 263, 212, 263 y 432 respectivamente.

Los resultados muestran que en ambos ensayos los valores son similares, con pequeñas diferencias. Sin embargo, en las zonas "ZAC" se observa una ligera disparidad en la dureza, ya que en la zona ZAC del FCAW son de 212 y 219 y en el GMAW-P la zona ZAC son de 263 ambos, esta diferencia es producto del control del aporte térmico lo que demuestra que las propiedades mecánicas se mantienen mejor. Esto se debe que al “calentar el material por encima de su temperatura de recristalización, se forman granos que ocupan el lugar de los granos deformados o alargados” (Paulo, 2022). A pesar de esta diferencia, no se afecta significativamente las propiedades mecánicas de la unión soldada. Las especificaciones técnicas de la plancha (Tabla 18) se precisa que la dureza inicial está entre 450-530 HB. La disminución se debe a un factor mecánico el cual es el aporte térmico.

## 7. Ensayo de macrografía FCAW

Figura 62 Ensayo de macrografía FCAW


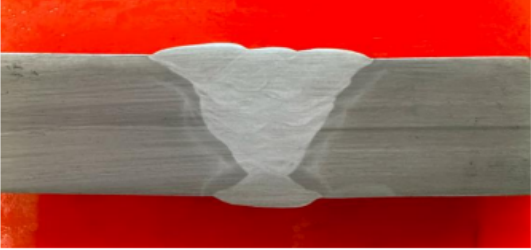
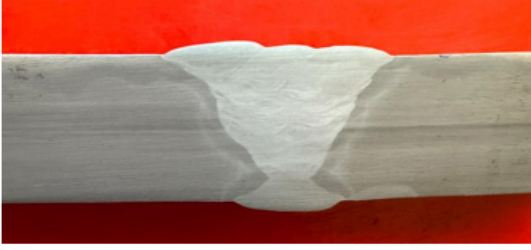


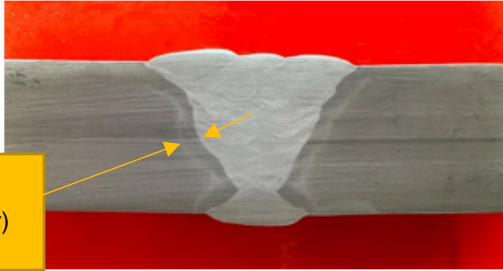
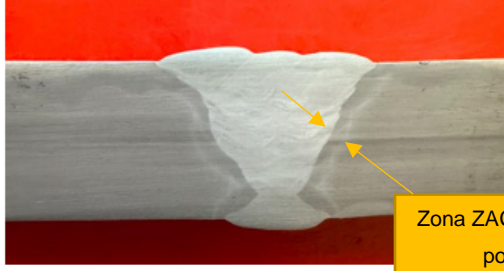
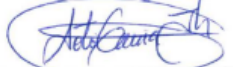
		<b>INFORME DE ENSAYO DE MACROGRAFÍA</b>		<b>LAB-F-56</b>	
				<b>Edición 02</b>	
1. Informe de Ensayo N° :	EM-2023-008	2. Fecha de Informe:	2023-06-21	3. Descripción de Ensayo:	Macrografía
4. Nombre de Cliente	Departamento Técnico de Arequipa	5. Referencia:	Tesis para Título Profesional	6. Persona de Contacto:	Bach. Christopher Kuong
7. Descripción de Muestra:	Probeta Soldada	8. Material Base:	Chronit T1-500	9. Material de Aporte.	E71T-1M Ø 1.60mm
10. Proceso de Soldadura:	FCAW	11. Posición :	1G	12. Soldador:	No Aplica
13. Normas de Ensayo Aplicadas:	AWS B2.1 - 2021	14. Analista :	Anghelo Quispe	15. T° Ensayo (°C):	20.2°C
16. Fecha-Recepción de Muestra:	2023-06-14	17. Fecha Ensayo:	2023-06-16	18. Solución Reveladora:	Nital 10%
19. Fotografías					
M1			M2		
					
20. Equipos Empleados:					
Equipos de desbaste y pulido (abrasivos), Pie de Rey Digital LAB-E-085					
Cámara Fotográfica Digital.					
21. Resultados:					
Muestra	Penetración			Resultados	
M1	Fusión Completa - No Presenta Defectos			Aceptable	
M2	Fusión Completa - No Presenta Defectos			Aceptable	
22. Observaciones:					
Laboratorio de Ensayo Soldexa - LABSOL  Téc. José Fernando Soto García Analista de Laboratorio de Ensayos Mecánicos Análisis Químicos					
Prohibida la Reproducción total o parcial del Informe sin la autorización escrita del Laboratorio de SOLDEXA. Antigua Panamericana Sur Km 38.5 Lurín - Lima - Perú - Teléfono : 619-9600 Anexo 2240-2233 - Rpc 987-530-549					

Figura 63 Informe de ensayo de macrografía

		<b>INFORME DE ENSAYO DE MACROGRAFÍA</b>			<b>LAB-F-56</b>
					<b>Edición 02</b>
1. Informe de Ensayo N° :	EM-2023-008	2. Fecha de Informe:	2023-06-21	3. Descripción de Ensayo:	Macrografía
4. Nombre de Cliente	Departamento Técnico de Arequipa	5. Referencia:	Tesis para Título Profesional	6. Persona de Contacto:	Bach. Christopher Kuong
7. Descripción de Muestra:	Probeta Soldada	8. Material Base:	Chronit T1-500	9. Material de Aporte.	E71T-1M Ø 1.60mm
10. Proceso de Soldadura:	FCAW	11. Posición :	1G	12. Soldador:	No Aplica
13. Normas de Ensayo Aplicadas:	AWS B2.1 - 2021	14. Analista :	Anghelo Quispe	15. T° Ensayo (°C):	20.2°C
16. Fecha-Recepción de Muestra:	2023-06-14	17. Fecha Ensayo:	2023-06-16	18. Solución Reveladora:	Nital 10%
19. Fotografías					
M1			M2		
					
<p>Zona ZAC (zona afectada por el calor)</p>			<p>Zona ZAC (zona afectada por el calor)</p>		
20. Equipos Empleados:					
Equipos de desbaste y pulido (abrasivos), Pie de Rey Digital LAB-E-085					
Cámara Fotográfica Digital.					
21. Resultados:					
Muestra		Penetración		Resultados	
M1		Fusión Completa - No Presenta Defectos		Aceptable	
M2		Fusión Completa - No Presenta Defectos		Aceptable	
22. Observaciones:					
Laboratorio de Ensayo Soldexa - LABSur  Téc. José Fernando Soto García Analista de Laboratorio de Ensayos Mecánicos Análisis Químicos					
Prohibida la Reproducción total o parcial del Informe sin la autorización escrita del Laboratorio de SOLDEXA. Antigua Panamericana Sur Km 38.5 Lurín - Lima - Perú - Teléfono : 619-9600 Anexo 2240-2233 - Rpc 987-530-549					

## 8. Ensayo de macrografía GMAW-P

Figura 64 Ensayo de macrografía GMAW-P


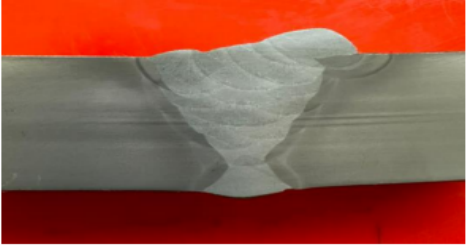
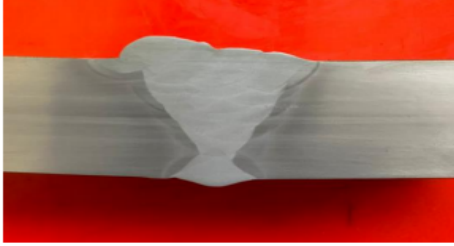

		<b>INFORME DE ENSAYO DE MACROGRAFÍA</b>			LAB-F-56
					Edición 02
1. Informe de Ensayo N° :	EM-2023-006	2. Fecha de Informe:	2023-05-09	3. Descripción de Ensayo:	Macrografía
4. Nombre de Cliente	Departamento Técnico de Arequipa	5. Referencia:	Tesis para Título Profesional	6. Persona de Contacto:	Bach. Christopher Kuong
7. Descripción de Muestra:	Probeta Soldada	8. Material Base:	Chronit T1-500	9. Material de Aporte.	Migfil PS6 GC Ø 1.60mm
10. Proceso de Soldadura:	GMAW-P	11. Posición :	1G	12. Soldador:	No Aplica
13. Normas de Ensayo Aplicadas:	AWS B2.1 - 2021	14. Analista :	Anghelo Quispe	15. T° Ensayo (°C):	20.9°C
16. Fecha-Recepción de Muestra:	2023-05-08	17. Fecha Ensayo:	2023-05-09	18. Solución Reveladora:	Nital 10%
19. Fotografías					
M1			M2		
					
20. Equipos Empleados:					
Equipos de desbaste y pulido (abrasivos), Pie de Rey Digital LAB-E-085 Cámara Fotográfica Digital.					
21. Resultados:					
Muestra	Penetración	Resultados			
M1	Fusión Completa - No Presenta Defectos	Aceptable			
M2	Fusión Completa - No Presenta Defectos	Aceptable			
22. Observaciones:					
Laboratorio de Ensayo Soldexa - LABSOL  Téc. José Fernando Soto García Analista de Laboratorio de Ensayos Mecánicos Análisis Químicos					
Prohibida la Reproducción total o parcial del Informe sin la autorización escrita del Laboratorio de SOLDEXA. Antigua Panamericana Sur Km 38.5 Lurín - Lima - Perú - Teléfono : 619-9600 Anexo 2240-2233 - Rpc 987-530-549					

Figura 65 Informe de ensayo de macrografía


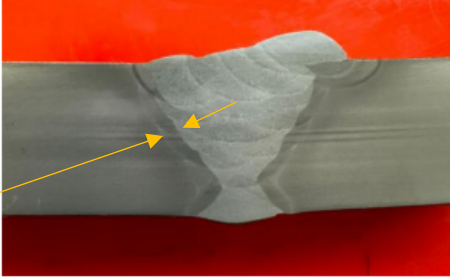
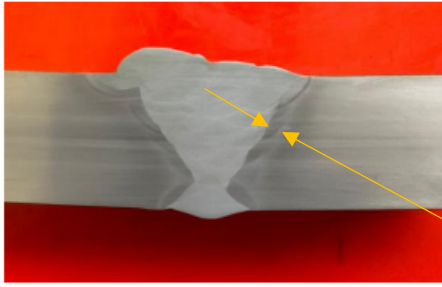

		<b>INFORME DE ENSAYO DE MACROGRAFÍA</b>				<b>LAB-F-56</b>
						<b>Edición 02</b>
1. Informe de Ensayo N° :	EM-2023-006	2. Fecha de Informe:	2023-05-09	3. Descripción de Ensayo:	Macrografía	
4. Nombre de Cliente	Departamento Técnico de Arequipa	5. Referencia:	Tesis para Título Profesional	6. Persona de Contacto:	Bach. Christopher Kuong	
7. Descripción de Muestra:	Probeta Soldada	8. Material Base:	Chronit T1-500	9. Material de Aporte.	Migfil PS6 GC Ø 1.60mm	
10. Proceso de Soldadura:	GMAW-P	11. Posición :	1G	12. Soldador:	No Aplica	
13. Normas de Ensayo Aplicadas:	AWS B2.1 - 2021	14. Analista :	Anghelo Quispe	15. T° Ensayo (°C):	20.9°C	
16. Fecha-Recepción de Muestra:	2023-05-08	17. Fecha Ensayo:	2023-05-09	18. Solución Reveladora:	Nital 10%	
19. Fotografías						
M1			M2			
						
<div style="border: 1px solid black; background-color: yellow; padding: 2px;">                     Zona ZAC (zona afectada por el calor)                 </div>			<div style="border: 1px solid black; background-color: yellow; padding: 2px;">                     Zona ZAC (zona afectada por el calor)                 </div>			
20. Equipos Empleados:						
Equipos de desbaste y pulido (abrasivos), Pie de Rey Digital LAB-E-085						
Cámara Fotográfica Digital.						
21. Resultados:						
Muestra	Penetración			Resultados		
M1	Fusión Completa - No Presenta Defectos			Aceptable		
M2	Fusión Completa - No Presenta Defectos			Aceptable		
22. Observaciones:						
Laboratorio de Ensayo Soldexa - LABSu						
						
Téc. José Fernando Soto García Analista de Laboratorio de Ensayos Mecánicos Análisis Químicos						
Prohibida la Reproducción total o parcial del Informe sin la autorización escrita del Laboratorio de SOLDEXA. Antigua Panamericana Sur Km 38.5 Lurín - Lima - Perú - Teléfono : 619-9600 Anexo 2240-2233 - Rpc 987-530-549						

Figura 66 Ensayo de macrografía FCAW


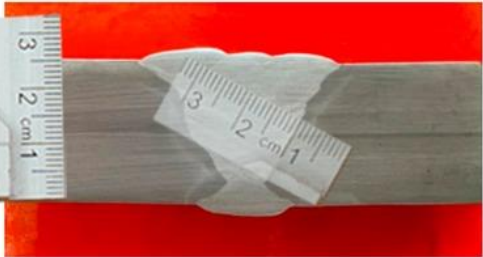
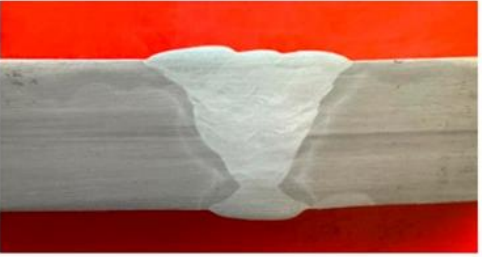


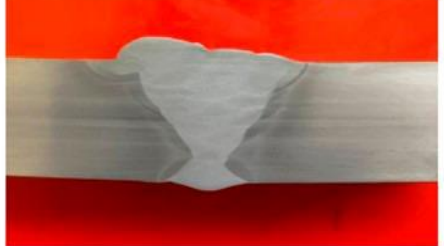

		<b>INFORME DE ENSAYO DE MACROGRAFÍA</b>			<b>LAB-F-56</b>
					<b>Edición 02</b>
1. Informe de Ensayo N° :	EM-2023-008	2. Fecha de Informe:	2023-06-21	3. Descripción de Ensayo:	Macrografía
4. Nombre de Cliente	Departamento Técnico de Arequipa	5. Referencia:	Tesis para Título Profesional	6. Persona de Contacto:	Bach. Christopher Kuong
7. Descripción de Muestra:	Probeta Soldada	8. Material Base:	Chronit T1-500	9. Material de Aporte.	E71T-1M Ø 1.60mm
10. Proceso de Soldadura:	FCAW	11. Posición :	1G	12. Soldador:	No Aplica
13. Normas de Ensayo Aplicadas:	AWS B2.1 - 2021	14. Analista :	Anghelo Quispe	15. T° Ensayo (°C):	20.2°C
16. Fecha-Recepción de Muestra:	2023-06-14	17. Fecha Ensayo:	2023-06-16	18. Solución Reveladora:	Nital 10%
19. Fotografías					
M1			M2		
					
20. Equipos Empleados:					
Equipos de desbaste y pulido (abrasivos), Pie de Rey Digital LAB-E-085					
Cámara Fotográfica Digital.					
21. Resultados:					
Muestra	Penetración		Resultados		
M1	Fusión Completa - No Presenta Defectos		Aceptable		
M2	Fusión Completa - No Presenta Defectos		Aceptable		
22. Observaciones:					
Laboratorio de Ensayo Soldexa - LABSur  Téc. José Fernando Soto García Analista de Laboratorio de Ensayos Mecánicos Análisis Químicos					
Prohibida la Reproducción total o parcial del Informe sin la autorización escrita del Laboratorio de SOLDEXA. Antigua Panamericana Sur Km 38.5 Lurín - Lima - Perú - Teléfono : 619-9600 Anexo 2240-2233 - Rpc 987-530-549					

Figura 67 Ensayo de macrografía GMAW-P

<b>SOLDEXA</b> <small>UNA COMPAÑÍA ESAB</small>		<b>INFORME DE ENSAYO DE MACROGRAFÍA</b>			<b>LAB-F-56</b>
					<b>Edición 02</b>
<b>1. Informe de Ensayo N° :</b>	EM-2023-006	<b>2. Fecha de Informe:</b>	2023-05-09	<b>3. Descripción de Ensayo:</b>	Macrografía
<b>4. Nombre de Cliente</b>	Departamento Técnico de Arequipa	<b>5. Referencia:</b>	Tesis para Título Profesional	<b>6. Persona de Contacto:</b>	Bach. Christopher Kuong
<b>7. Descripción de Muestra:</b>	Probeta Soldada	<b>8. Material Base:</b>	Chronit T1-500	<b>9. Material de Aporte.</b>	Migfil PS6 GC Ø 1.60mm
<b>10. Proceso de Soldadura:</b>	GMAW-P	<b>11. Posición :</b>	1G	<b>12. Soldador:</b>	No Aplica
<b>13. Normas de Ensayo Aplicadas:</b>	AWS B2.1 - 2021	<b>14. Analista :</b>	Anghelo Quispe	<b>15. T° Ensayo (°C):</b>	20.9°C
<b>16. Fecha-Recepción de Muestra:</b>	2023-05-08	<b>17. Fecha Ensayo:</b>	2023-05-09	<b>18. Solución Reveladora:</b>	Nital 10%
<b>19. Fotografías</b>					
<b>M1</b>			<b>M2</b>		
					
<b>20. Equipos Empleados:</b>					
Equipos de desbaste y pulido (abrasivos), Pie de Rey Digital LAB-E-085					
Cámara Fotográfica Digital.					
<b>21. Resultados:</b>					
<b>Muestra</b>	<b>Penetración</b>			<b>Resultados</b>	
M1	Fusión Completa - No Presenta Defectos			Aceptable	
M2	Fusión Completa - No Presenta Defectos			Aceptable	
<b>22. Observaciones:</b>					
<p>Laboratorio de Ensayo Soldexa - LABSOL</p>  <p>----- Téc. José Fernando Soto García Analista de Laboratorio de Ensayos Mecánicos Análisis Químicos</p>					
<p>Prohibida la Reproducción total o parcial del Informe sin la autorización escrita del Laboratorio de SOLDEXA. Antigua Panamericana Sur Km 38.5 Lurín - Lima - Perú - Teléfono : 619-9600 Anexo 2240-2233 - Rpc 987-530-549</p>					

El ensayo de macrografía se realizó con el propósito de visualizar la penetración del cordón de soldadura. En el informe de resultados de la macrografía, se han tomado muestras de las caras opuestas de la probeta de acuerdo con la norma AWS B2.1-2014. Al examinar las imágenes macrográficas, se puede apreciar que la zona afectada por el calor (ZAC) en el proceso GMAW-P es significativamente más pequeña en comparación con el proceso FCAW. En el caso del proceso GMAW-P, la ZAC tiene una longitud mínima de 1 mm y un máximo de 3 mm, mientras que en el proceso FCAW, la ZAC tiene una longitud mínima de 2 mm y un máximo de 3 mm. En conclusión, el proceso FCAW tiene una mayor área de cristalización en comparación con el proceso GMAW-P.

#### **4.1.2. Limitaciones presentadas**

Ambos procesos necesitan un ambiente apropiado para poder ser realizados, libres de corrientes de aire fuertes y polvo o tierra, porque pueden producir porosidad al momento de soldar

En el proceso FCAW se necesita estar cada cierto tiempo haciendo una limpieza de cordón de soldadura por incrustación de escoria

En el proceso FCAW como en el GMAW-P ambos necesitan una muy buena posición para poder soldar ya que las pistolas de soldadura son robustas como sus cables

El proceso GMAW-P necesita una capacitación especial antes de realizar el soldeo, para conocer los parámetros necesarios y poder aprovechar todo el potencial de este proceso

El material base que fue el Chronit T1-500, es un material un poco complicado al momento de maquinarse, tanto como para el armado del cupón de soldadura, como para la extracción de especímenes

#### **4.1.3. Ventajas de los procesos de soldadura**

##### **4.1.3.1. Proceso de soldadura FCAW**

###### **VENTAJAS:**

- Es un proceso bastante rápido
- Es un proceso intuitivo
- Produce un charco de soldadura visible
- Es un proceso continuo y de pocas interrupciones
- Muy buena penetración de cordón de soldadura

###### **DESVENTAJAS:**

- Necesita limpieza cada cierto tiempo por la escoria
- Necesita cierta habilidad del soldador para llevar la pistola de manera uniforme
- Produce gran aporte térmico, se debe estar controlando constantemente con un pirómetro
- Necesita un ambiente apropiado para realizar una soldadura exitosa
- Material de aporte necesita un cuidado especial
- Necesita de un gas protección en su totalidad la soldadura

#### 4.1.3.2. Procesos de soldadura GMAW-P

##### VENTAJAS:

- Proceso con EXCELENTE CONTROL de aporte térmico
- No necesita limpieza de escoria
- Proceso bastante rápido
- Proceso continuo y de fácil corrección de pases de soldadura
- De muy pocas interrupciones al momento de realizar el soldeo
- Excelente acabado de cordones de soldadura
- Para Máximo aprovechamiento, puede utilizarse un sistema automatizado mediante brazos robóticos, asistidos por un operador

##### DESVENTAJAS:

- Necesita de un gas protector estrictamente
- El soldador deber recibir una capacitación para aprovechar el potencial del proceso
- El material de aporte deber ser cuidado de contaminantes externos como oxido
- El material base debe estar libre de contaminantes, como oxido, polvo, pintura, entre otros.

## 4.2. Discusión

Para realizar los ensayos se utilizaron planchas Chronit t1-500, para el desarrollo de las pruebas se consideró la norma AWS B2.1, una vez culminados los procesos de soldadura, se enviaron las placas al laboratorio del Soldexa obteniendo en base a las imágenes de la macrografía que la zona afectada por el calor (ZAC) en el proceso GMAW-P es significativamente más pequeña en comparación con el proceso FCAW. En el caso del proceso GMAW-P, la ZAC tiene una longitud mínima de 1 mm y un máximo de 2 mm, mientras que en el proceso FCAW, la ZAC tiene una longitud mínima de 2 mm y un máximo de 3 mm.

En la investigación realizada por García (2009), quien utilizó para el ensayo un acero de carbón vaciado los valores máximos de penetración obtenidos con la medición fueron de 3.3 mm, con valores de 260 Amperes, 30 Volts, velocidad de avance de 70 cm/min y una extensión del electrodo de 12.7mm. Con respecto al ensayo de impacto el cual permite evaluar el comportamiento del material ante grietas o figuras, se destaca que las muestras no se rompieron, pero los valores del proceso GMAW-P fueron superiores al proceso FCAW, lo que indica que el material mantuvo su microestructura en gran medida, lo que se traduce en un aumento de su resistencia. En la investigación realizada por Luna (2015) la probeta no mostró ningún tipo de distorsión relevante producto de la aplicación de calor y la fusión de metal de soldadura en los metales base.

En cuanto a las ventajas del proceso FCAW se centran en: la rapidez, es intuitivo, el charco de soldadura es visible con pocas interrupciones y la penetración del cordón es buena en relación al proceso GMAW-P, las ventajas corresponden a:

excelente control, la escoria no requiere limpiarse, es rápido, continuo y fácil, el acabado de los cordones es excelente, el nivel de aprovechamiento es máximo y puede ser manejado por brazos mecánicos asistidos mediante un operador. En la investigación realizada por Rodríguez y Tole (2017), detectaron que la ventaja de producción el SMAW tiene una velocidad de 15 a 30 cm/min y el FCAW tiene 75 cm/min.



## CONCLUSIONES

Primera: Se establece que los beneficios incluyen una mayor calidad de soldadura:

En el proceso GMAW-P durante la inspección visual se determinó que no hay incrustación de escoria, permitiendo que la soldadura tenga mayor fusión. En las zonas ZAC-1, ZAC-2 y ZAC-3 detecta que no rompe la probeta, a diferencia del proceso FCAW la cual en la inspección visual se observa incrustación de escoria en el pase de raíz. En las zonas y la prueba de impacto ZAC-1, ZAC-2 y ZAC-3 se rompe la probeta. Esto se traduce en una mejora en la integridad estructural de los camiones tolvas fabricados. Mayor productividad: El proceso GMAW-P es más eficiente en términos de velocidad de soldadura y deposición de material, lo que conduce a una mayor productividad en el recubrimiento de protección a la estructura de la tolva. Además, el GMAW-P no requiere el uso de un electrodo consumible, lo que reduce los tiempos de cambio y aumenta la eficiencia general del proceso. Reducción de costos: Al tener una mayor productividad y una menor incidencia de defectos, el proceso GMAW-P puede ayudar a reducir los costos asociados con el recubrimiento de protección a la estructura de la tolva. Finalmente se precisa que ambos procesos de soldadura cumplen con lo establecido por la Normas AWS B2.1, para clasificación de procesos de soldadura.

Segunda: Se identificaron las siguientes fases y utilidades de los procesos de soldadura FCAW y GMAW-P en el recubrimiento de protección a la estructura de la tolva: preparación del material y las piezas a soldar,

ajuste de los parámetros de soldadura, incluyendo la selección del electrodo adecuado y selección del gas de protección y el alambre sólido como material de aporte, aplicación de la soldadura utilizando un electrodo consumible que actúa como material de aporte y un gas de protección y utilizando un arco eléctrico y un gas de protección, sin necesidad de un electrodo consumible. En lo que respecta a la utilidad de ambos procesos radica en su capacidad para unir las piezas metálicas de los camiones tolvas mediante la fusión y solidificación del material de aporte, formando una junta soldada resistente y duradera.

Tercera: Al analizar los niveles de ejecución en cada fase de los procesos de soldadura FCAW y GMAW-P, se observaron que la preparación del material y las piezas a soldar: Ambos procesos requieren una preparación adecuada de las superficies a soldar, asegurando la limpieza y eliminación de impurezas. Sin embargo, el proceso FCAW puede ser menos sensible a la presencia de contaminantes superficiales debido al fundente que lleva dentro el alambre, lo que implica las incrustaciones de escoria. Ajuste de los parámetros de soldadura: Ambos procesos requieren un ajuste preciso de los parámetros de soldadura, como la corriente, la velocidad de alimentación del alambre y la composición del gas de protección. Sin embargo, el proceso GMAW-P puede ofrecer una mayor facilidad de al momento de controlar la temperatura de soldeo optimizando la velocidad de interfase. Aplicación de la soldadura: Ambos procesos requieren habilidades técnicas y experiencia por parte del soldador para lograr una aplicación adecuada de la soldadura. Sin embargo, el proceso GMAW-P

requiere una capacitación especial para la manipulación del equipo, lo que puede resultar en una ejecución más consistente de las soldaduras.

Cuarta: Al comparar los resultados obtenidos para identificar las ventajas y desventajas de los procesos de soldadura FCAW y GMAW-P aplicados en el recubrimiento de protección a la estructura de la tolva, se detectó que el proceso FCAW presenta como ventaja que es bastante rápido, intuitivo la manipular la pistola de soldadura, el charco de soldadura es visible, el proceso continuo. En cuanto al proceso de GMAW-P las ventajas son que tiene excelente control de aporte térmico, no necesita limpieza de escoria, bastante rápido, continuo y de fácil corrección de pases de soldadura, pocas interrupciones al momento de realizar el soldeo, excelente acabado de cordones de soldadura y máximo aprovechamiento y puede utilizarse un sistema automatizado mediante brazos robóticos, asistidos por un operador

## RECOMENDACIONES

Primera: Se recomienda la adopción del proceso GMAW-P en el recubrimiento de protección a la estructura de la tolva. Esto ayudará a mejorar la calidad de las soldaduras, aumentar la productividad y reducir los costos asociados, lo que puede tener un impacto positivo en la competitividad y eficiencia de la producción.

Segunda: Recomiendo capacitar a los operadores en ambos procesos y evaluar detenidamente las necesidades y limitaciones de cada uno antes de tomar una decisión.

Tercera: Con el fin de garantizar una ejecución óptima en cada fase de soldadura, se recomienda proporcionar capacitación y desarrollo de habilidades específicas para los soldadores. Además, es importante establecer procedimientos de control de calidad y asegurar una supervisión adecuada para mantener altos niveles de ejecución en ambos procesos de soldadura.

Cuarta: Para tomar una decisión informada sobre qué proceso de soldadura utilizar, se recomienda realizar pruebas y evaluaciones en el contexto específico del recubrimiento de protección a la estructura de la tolva. Esto permitirá determinar qué ventajas son más relevantes y qué desventajas son más aceptables en función de los requisitos y las condiciones de producción.

## REFERENCIAS

- Acuña, J. (2022). *Ingeniería de Confiabilidad*. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica. Obtenido de [https://www.google.com.pe/books/edition/Ingenier%C3%ADa\\_de\\_confiabilidad/QymbEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=Mantenimiento+centrado+en+la+confiabilidad&pg=SA6-PA56&printsec=frontcover](https://www.google.com.pe/books/edition/Ingenier%C3%ADa_de_confiabilidad/QymbEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=Mantenimiento+centrado+en+la+confiabilidad&pg=SA6-PA56&printsec=frontcover)
- Alonso , C. (2020). *Soldadura con alambre tubular*. España: Paraninfo, S.A.
- Alonso, C. (2022). *Técnicas de unión y montaje*. Ediciones Paraninfo, S.A. Obtenido de [https://www.google.com.pe/books/edition/Tecnicas\\_de\\_uni%C3%B3n\\_y\\_montaje/gPV2EAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0](https://www.google.com.pe/books/edition/Tecnicas_de_uni%C3%B3n_y_montaje/gPV2EAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0)
- Aspilcueta , A. (2014). *Determinación de la temperatura de precalentamiento utilizando el método tekken a fin de prevenir la fisuración en frío en la unión de planchas Chronit T-1*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.
- AWS. (2015). *Código de soldadura estructural - acero*. Estados Unidos: © 2015 by American Welding Society.
- AWS. (s.f.). *Manual de soldadura Volumen 2 Parte 1 Procesos de soldadura*. EIGHTH Edition.
- Böhler. (11 de noviembre de 2019). *Certificado de calidad*.
- Böhler. (septiembre de 2019). *Planchas antidesgaste Chronit T1 450-500*. Obtenido de <https://www.bohlerperu.com/app/uploads/sites/138/2019/09/CHRONIT-T1-450.pdf>
- Cabrejo, J. (2014). *Soldadura con alambre tubular*. Málaga: IC Editorial.
- Cajahuaringa, Z. (16 de 07 de 2021). *Equipos y repuesto para soldadura*. (Rumbo Minero) Recuperado el 19 de 05 de 2022, de <https://www.rumbominero.com/revista/informes/equipos-y-repuestos-para-soldaduras/>
- Chang, G., & Pérez, D. (2015). *Guía de laboratorio de resistencia de materiales*. Obtenido de Guía de laboratorio de resistencia de materiales:

[https://www.google.com.pe/books/edition/Gu%C3%ADa\\_de\\_laboratorio\\_de\\_resistencia\\_de\\_m/V9BBDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/Gu%C3%ADa_de_laboratorio_de_resistencia_de_m/V9BBDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1)

- Chavéz, F. (2018). *Elaboración y calificación de un procedimiento de soldadura GMAW para la fabricación de tubería forzada con material ASTM A572 GR50. Centrales Hidroeléctricas ANGEL I, II Y III. PUNO*. Callao, Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO. Obtenido de [http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/2973/CHAVEZ%20ASCARRUZ\\_TESIS%202018.pdf?sequence=4&isAllowed=y](http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/2973/CHAVEZ%20ASCARRUZ_TESIS%202018.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- Davis, J. (Diciembre de 2004). *Tensile Testing*. Obtenido de Tensile Testing: [https://books.google.com.pe/books?id=5uRl3emLY8C&newbks=0&printsec=frontcover&dq=Tensile+testing.+ASM+international&hl=es-419&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Tensile%20testing.%20ASM%20international&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=5uRl3emLY8C&newbks=0&printsec=frontcover&dq=Tensile+testing.+ASM+international&hl=es-419&redir_esc=y#v=onepage&q=Tensile%20testing.%20ASM%20international&f=false)
- ESAB. (2021). *Equipo de soldadura Aristo 500ix*. Obtenido de [https://esab.com/cr/sam\\_es/products-solutions/product/arc-welding-equipment/multi-process-equipment-cv-cc/aristo-500ix/](https://esab.com/cr/sam_es/products-solutions/product/arc-welding-equipment/multi-process-equipment-cv-cc/aristo-500ix/)
- ESAB. (2022). *Proceso de Soldadura FCAW*. (Centro de conocimiento ESAB) Obtenido de <https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/proceso-soldadura-fcaw-alambre-tubular-relleno-de-fundente-definiciones-del-proceso.cfm#:~:text=Proceso%20de%20Soldadura%20FCAW%20%2D%20Alambre%20Tubular%20Relleno%20de%20Fundente,-FCAW%20%2D%20Flux%20Cored&tex>
- ESAB. (2022b). *Máquina para soldar potente y multiuso Warrior 500i MV*. Obtenido de [https://assets.esab.com/assetbank-esab/assetfile/24474.pdf?\\_gl=1\\*nnwwm1\\*\\_ga\\*MTY2ODYyNzkzNi4xNjcyNjc3NzU5\\*\\_ga\\_YQPB78L5VL\\*MTY3MjY3NzczOC4xLjAuMTY3MjY3NzczOC42MC4wLjA](https://assets.esab.com/assetbank-esab/assetfile/24474.pdf?_gl=1*nnwwm1*_ga*MTY2ODYyNzkzNi4xNjcyNjc3NzU5*_ga_YQPB78L5VL*MTY3MjY3NzczOC4xLjAuMTY3MjY3NzczOC42MC4wLjA)
- ESAB. (2023). *Dual Shield 7100*. Obtenido de [https://esab.com/ar/sam\\_es/products-solutions/product/filler-metals/mild-steel/gas-shielded-flux-cored-wires-fcaw-mcaw/dual-shield-7100/](https://esab.com/ar/sam_es/products-solutions/product/filler-metals/mild-steel/gas-shielded-flux-cored-wires-fcaw-mcaw/dual-shield-7100/)

- ESAB. (2023). *MIGFIL PS 6-GC*. Obtenido de [https://esab.com/pe/sam\\_es/products-solutions/product/filler-metals/mild-steel/mig-wires-tig-rods-gmaw-gtaw/migfil-ps-6-gc/](https://esab.com/pe/sam_es/products-solutions/product/filler-metals/mild-steel/mig-wires-tig-rods-gmaw-gtaw/migfil-ps-6-gc/)
- Escorcía - Barrios, F., Medina - Cardenas, A., Cuello - Navarro, J., Velázquez Gutierrez, K., Escorcía - Gutierrez, J., & Soto - Díaz, R. (2021). Análisis comparativo de juntas soldadas mediante el proceso GMAW con técnicas de inspección visual e inspección visual mediante visión artificial. *Revista SEXTANTE*, pp.19 - 28.
- EUROLAB Laboratory Services. (s.f.). *Laboratorio de prueba de metales*. Obtenido de Laboratorio de prueba de metales: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:wVhj1XRdwjQJ:https://www.laboratuvar.com/es/testler/metal-test-laboratuvari/astm-e3-metalografik-numunelerin-hazirlanmasi-icin-standart-kilavuz/&cd=12&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe>
- Fuentes, P., Villanueva, J., & Estupiñan, E. (2018). Análisis del desgaste en componenetes de cargadores frontales, mediante modelos basados en elementos finitos. *Ingeniare, Revista chilena de ingeniería*, 26(4), 612-621. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v26n4/0718-3305-ingeniare-26-04-00612.pdf>
- Gade, J., Bischoff, M., & Kemmler, R. (2017). Advanced approaches for analysis and form finding of membrane structures with finite elements. *VIII International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures*, pp.1-19. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/320395700\\_Advanced\\_approaches\\_for\\_analysis\\_and\\_form\\_finding\\_of\\_membrane\\_structures\\_with\\_finite\\_elements\\_Part\\_I\\_Comparison\\_of\\_a\\_microstructural\\_model\\_with\\_an\\_anisotropically\\_hyperelastic\\_model\\_gained\\_by\\_inverse\\_](https://www.researchgate.net/publication/320395700_Advanced_approaches_for_analysis_and_form_finding_of_membrane_structures_with_finite_elements_Part_I_Comparison_of_a_microstructural_model_with_an_anisotropically_hyperelastic_model_gained_by_inverse_)
- García, A. (2009.). *Optimización de los parámetros de soldadura en el proceso de arco eléctrico con protección de gas (GMAW) PARA SOLDAR UN ACERO - 27*. SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO: CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN DE MATERIALES. Obtenido de

<https://comimsa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1022/63/1/TESIS%20Armando%20G%20abr%202009.pdf>

- Granja, M., & Hidalgo, V. (2013). Proceso de soldadura GMAW para aceros ordinarios al carbón, aceros inoxidables y aluminio. *Revista Politécnica*, 44-50.
- Hidalgo, G. (2013). Proceso de soldadura GMAW para aceros ordinarios al carbón, aceros inoxidables y aluminio. *Escuela Politécnica Nacional*, 32(1), 43-50.
- Hurtado, R. (2019). *Análisis de falla de una tubería de descarga en "Y" de acero soldada*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- INNOVATIVE MINING MAINTENANCE SOLUTIONS. (2018). *Cambio de tolvas para camiones mineros*. Obtenido de Cambio de tolvas para camiones mineros: <https://www.novamine.com/sistema-cambio-de-tolva>
- Jeffus, L. (2009). *Soldadura. Principios y aplicaciones*. Paraninfo.
- Lectura specs. (2022). *Datos técnicos - 793F Caterpillar*.
- Lectura specs. (2022). *Datos técnicos - 797F Caterpillar*.
- Lectura specs. (2022). *Komatsu 930E-4SE*.
- Lectura specs. (2022). *Komatsu 980E*.
- Loaiza, S., Mesa, D., & Pérez, W. (2016). *Instrumentación de un péndulo tipo Izod, para la evaluación de la resistencia al impacto de polímeros*. Pereira: Scientia et Technica.
- Luna, R. (2015). *EVALUACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE LA UNIÓN DISÍMIL ENTRE ACEROS API 5L X70 PSL1 Y ASTM A707 L5 F65*. Lima - Perú: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ. Obtenido de [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6164/LUNA\\_RENZO\\_SOLDADURA\\_DISIMIL.pdf?sequence=1](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6164/LUNA_RENZO_SOLDADURA_DISIMIL.pdf?sequence=1)
- Marulanda, J., Zapata, A., & Mesa, D. (2007). Recuperación y soldabilidad de piezas de fundición de hierro. *Scientia et Technica*, pp.237-242.
- Montes, O., Saldaña, R., Reyes, F., Robledo, P., Estupiñán, F., & Almeraya, F. (2016). Comportamiento a la Corrosión del Acero API X70 Soldado por el

- Proceso de Doble Arco Sumergido Inmerso en Diferentes Medios Corrosivos.  
*Soldagem & Inspeção*, pp.172-184.
- Niebles, E., & Arnedo, W. (2009). Procedimientos de Soldadura y Calificación de Soldadores: una Propuesta de Enseñanza y Guía de Aplicación para la Industria. *Información Tecnológica*, 20(3), 19-30.  
doi:doi:10.1612/inf.tecnol.4064it.08
- Nuclear Power. (2022). *Qué es la soldadura -Métodos y características - Definición*. Obtenido de <https://material-properties.org/es/que-es-la-soldadura-metodos-y-caracteristicas-definicion/>
- Ospina, R., Hernando, C., & Parra, H. (2011). *Aplicación y selección de ensayos no destructivos para la evaluación de uniones soldadas*. Pereira: Scientia et Technica. Obtenido de <https://moodle2.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/1283/855>
- Pérez, B., & Valiente, J. (2021). *Elementos Fijos*. España: Editorial Editex.
- Pérez, E. (2021). *Dirección de empresas*. Editorial Universitaria Ramón Areces. Obtenido de [https://www.google.com.pe/books/edition/Direcci%C3%B3n\\_de\\_empresas/2ZdEEAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/Direcci%C3%B3n_de_empresas/2ZdEEAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1)
- Promart. (s.f.). *Alambre para soldadura ER70S*.
- Ramírez, H., Niebles, E., & Torres, J. (2009). *Diseño para la fabricación y ensamblaje de productos soldados: un enfoque metodológico y tecnológico*. Barranquilla: Universidad del Norte.
- Ramírez, O., & Corrales, W. (2023). *Análisis metalográfico de probetas obtenidas a partir de un proceso de manufactura aditiva por soldadura por arco (WAAM)*. Bogotá: FUNDACION UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES.
- Robles, J. (14 de Julio de 2012). *INSPECCIÓN VISUAL EN SOLDADURA (imperfecciones más usuales)*. Obtenido de *INSPECCIÓN VISUAL EN SOLDADURA (imperfecciones más usuales)*: <https://josecarlosrobles.wordpress.com/2012/07/14/inspeccion-visual-en-soldadura-imperfecciones-mas-usuales/>

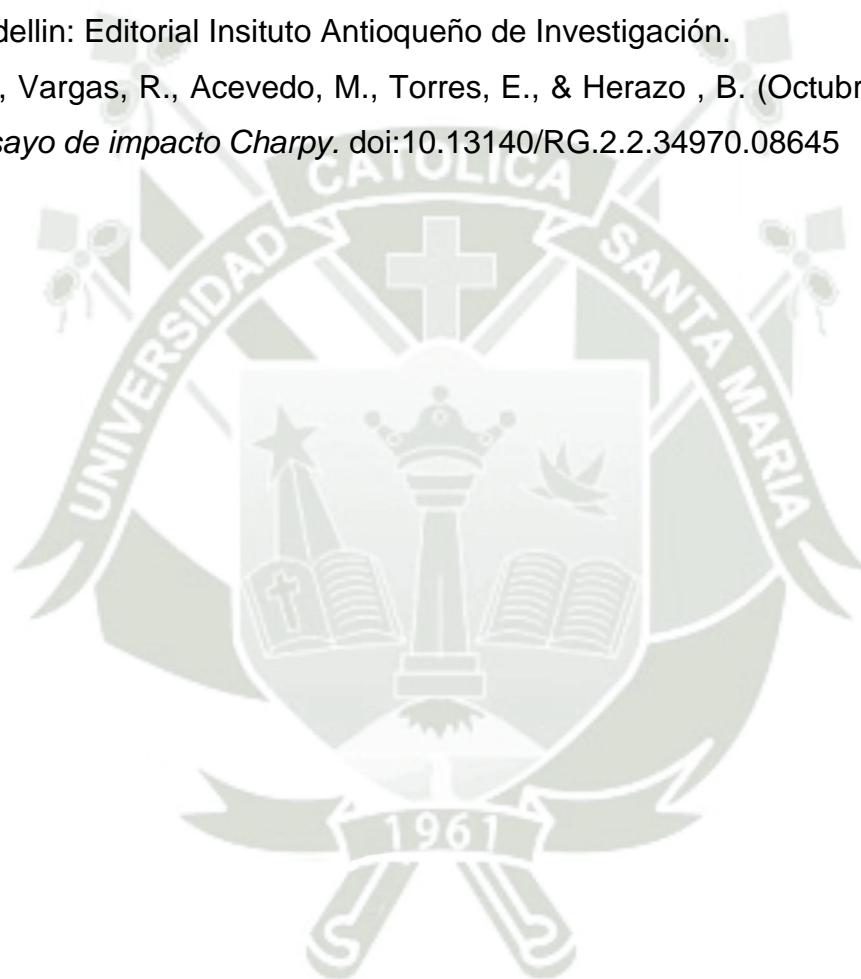
- Rodríguez, A. (2016). *Diseño y manufactura de equipo para pruebas de tracción axial*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Rodríguez, S., & Tole, D. (2017). *Estudio comparativo de soldadura mecanizada con procesos GMAW/FCAW o GTAW frente a procesos de soldadura manual en tubería de transporte de hidrocarburos*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/49a0a7c7-ae4a-4d53-8805-ab5d998bdd0e/content>
- Roldán, J. (2021). *Preparación de materiales y maquinaria según documentación técnica*. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A. Obtenido de [https://www.google.com.pe/books/edition/Preparaci%C3%B3n\\_de\\_materiales\\_y\\_maquinaria/MXhMEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0](https://www.google.com.pe/books/edition/Preparaci%C3%B3n_de_materiales_y_maquinaria/MXhMEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0)
- Romero, B., & Proboste, F. (2013). *Aplicación de ultrasonido al control de calidad de procesos de soldadura*. Concepción: Universidad del Bío Bío.
- Santos, E., Yenque, J., Rojas, O., & Rosales, V. (2001). Acerca del ensayo de dureza. *Industrial Data*, pp.73-80.
- Seymour, R., & Carraher, C. (2021). *Introducción a la química de los polímeros*. Barcelona: Editorial Reverté, S.A.
- So, W., Kang, D., & Kim, D. (2010). Weldability of pulse GMAW joints of 780 MPa dual-phase steel. *Archive of Materials Science and Engineering. Korea*, 53-60.
- Society for Experimental Stress Analysis. (1976). *Proceedings of the Society for Experimental Stress Analysis*. Obtenido de Proceedings of the Society for Experimental Stress Analysis: [https://www.google.com.pe/books/edition/Proceedings\\_of\\_the\\_Society\\_for\\_Experimen/UQ4oAQAAMAAJ?hl=es-419&gbpv=0&bsq=On%20the%20biaxial%20testing%20and%20strength%20of%20coated%20fabrics](https://www.google.com.pe/books/edition/Proceedings_of_the_Society_for_Experimen/UQ4oAQAAMAAJ?hl=es-419&gbpv=0&bsq=On%20the%20biaxial%20testing%20and%20strength%20of%20coated%20fabrics)
- Valencia, A. (2012). El Acero Hadfield revisitado. *Revista Colombiana de Materiales*, pp.1-24.

ValleyRubber. (23 de abril de 2018). *Sistemas de Recubrimiento de Tolvas de Camiones – La Experiencia Cuenta.*

ValleyRubber. (1 de marzo de 2020). *Tolvas de Camiones Mineros recubiertas con Caucho con Cero Mantenimientos Después de 5 Años.*

Vera Alvarado, J. W., Caballero García , L. F., & Taboada Neira, M. (2022). Capacidad de detección de defectos en juntas soldadas al variar la técnica. En E. Serna M., *Ingeniería y Desarrollo en la Nueva Era* (págs. pp.522-528). Medellín: Editorial Insituto Antioqueño de Investigación.

Zarza , M., Vargas, R., Acevedo, M., Torres, E., & Herazo , B. (Octubre de 2018). *Ensayo de impacto Charpy.* doi:10.13140/RG.2.2.34970.08645



## ANEXOS

### Anexo 2 Norma AWS B2.1

Tabla 4.1 de la norma

	Number of Test	Groove Weld	Fillet Welds				Weld Cladding	Hard-Facing
			Bend-Break Test	Alternate Shear Test	Stud Welds			
Visual Examination	<u>1</u>	Yes	Yes	Yes	(Note b)	(Note b)	(Note b)	
Guided Bend Tests	<u>4</u>	Yes <sup>a</sup>	—	—	—	Yes	—	
Tension Tests	<u>2 Groove, 5 Stud</u>	Yes	—	—	Yes, or Torque	—	—	
Macro-Examination	(Note d)	(Note a)	Yes	Yes	Yes <sup>c</sup>	—	(Note b)	
Bend-Break	<u>2</u>	—	Yes	—	—	—	—	
Bend Tests	<u>4 Groove, 5 Stud</u>	Yes <sup>a</sup>	—	—	Yes	—	—	
Torque Tests	<u>5</u>	—	—	—	Yes, or Tension	—	—	
Fracture Toughness Tests	<u>1</u>	(Note b)	—	—	—	—	—	
Shear Tests	<u>2</u>	—	—	Yes	—	—	—	
Penetrant Examination	<u>1</u>	—	—	—	—	Yes	(Note b)	
Chemical Analysis	<u>1</u>	—	—	—	—	Yes	(Note b)	
Hardness Test	<u>1</u>	—	—	—	—	—	Yes	

<sup>a</sup> The use of a macro examination in lieu of bend tests shall be permitted only for welds made in M-26, M-81, and M-83 base materials.

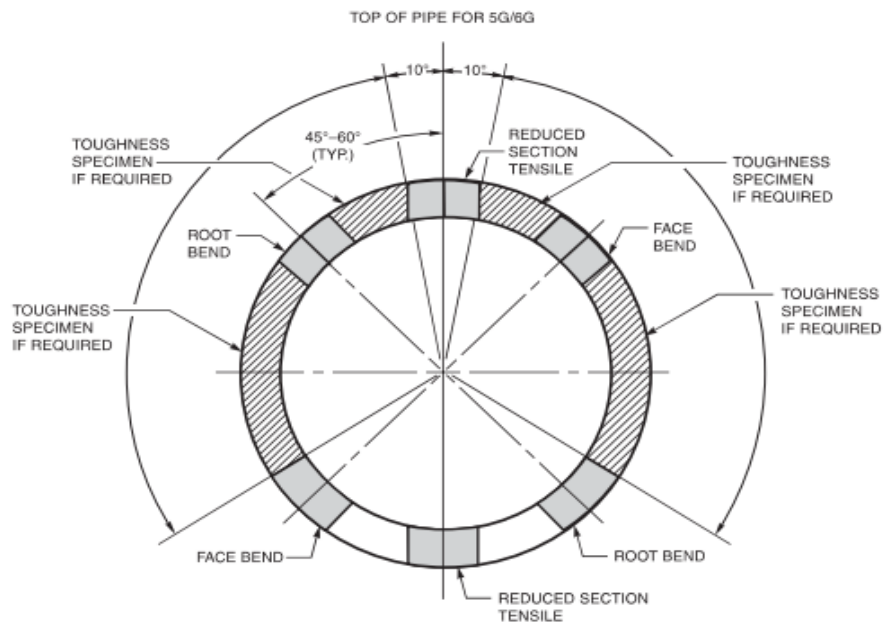
<sup>b</sup> If specified in referencing document.

<sup>c</sup> Except that unclad, unpainted M-1 materials are exempted.

<sup>d</sup> 2 macro examinations for single pass fillets, 2 macro examination for multiple pass fillets, 5 macro examinations for stud welds.



Figura 4.2 de la norma

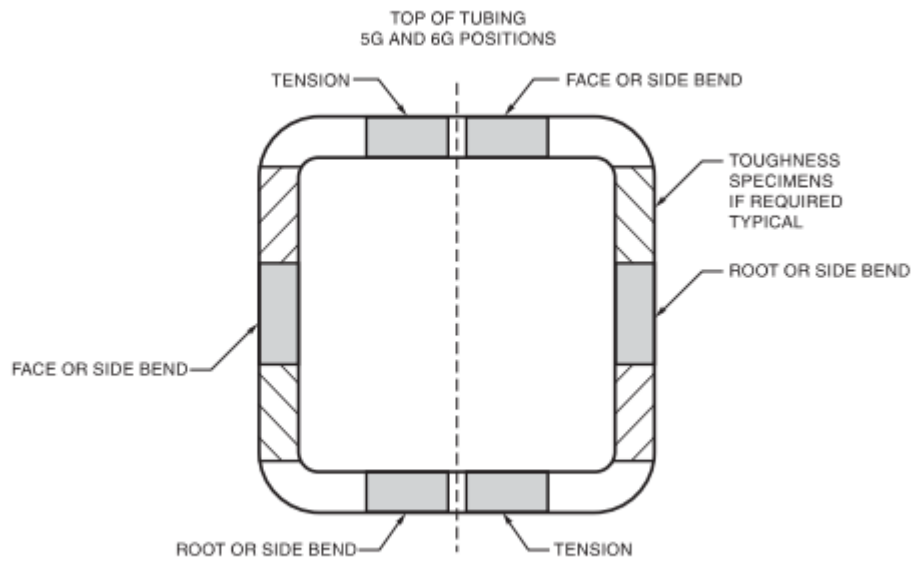


Notes:

1. Fracture toughness specimens, when required, shall be removed from the hatched sections.
2. Side bend specimens may be substituted for face and root bends for metal thickness from 3/8 in to 3/4 in [10 mm to 19 mm] inclusive. For metal thickness over 3/4 in [19 mm], side bends shall be used.
3. Dimensions for the specimen blanks and details of bend tests are shown in Annex A.
4. Material thickness shall be determined from the requirements provided in Table 4.3.

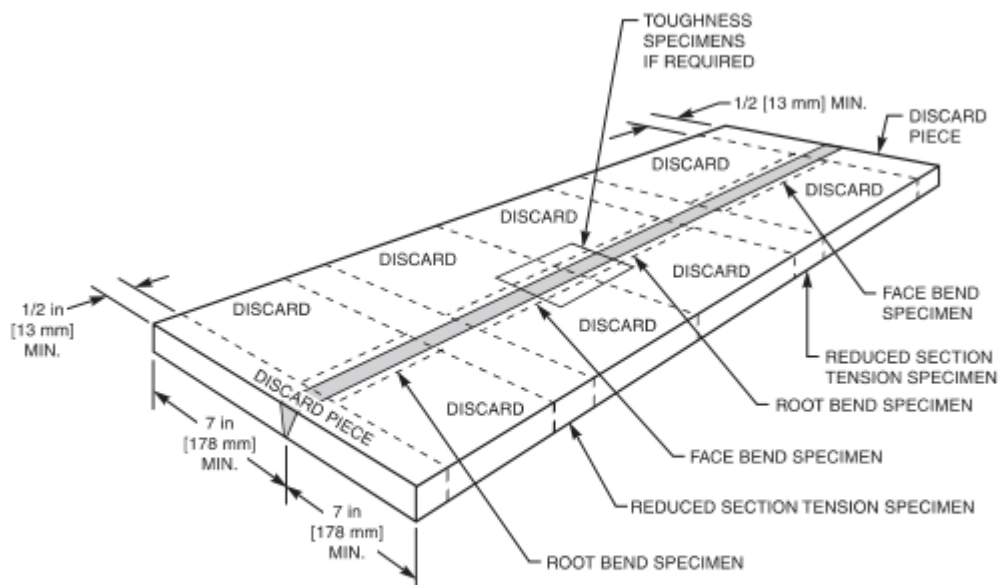
Figura 4.3 de la norma





Note: Material thickness shall be determined in accordance with Table 4.3.

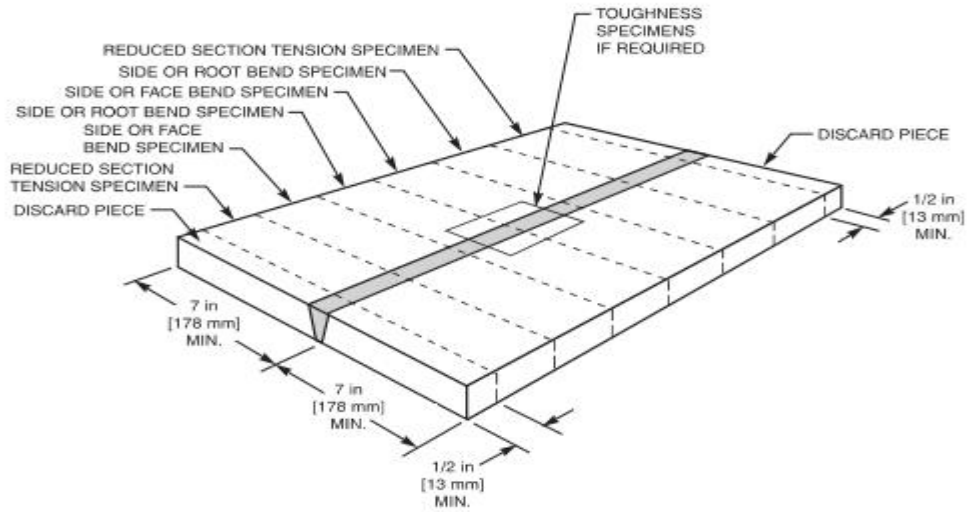
Figura 4.4 de la norma



Notes:

1. Material thickness shall be determined in accordance with Table 4.3.
2. Dimensions for the specimen blanks and details of bend tests are shown in Annex A.
3. A longer test plate will be required if fracture toughness specimens are necessary. Fracture toughness specimens should be located near the midlength of the plate.
4. Make allowances for cutting.

Figura 4.5 de la norma



**Notes:**

1. Material thickness shall be determined in accordance with Table 4.3.
2. Side bend specimens may be substituted for face and root bend specimens for metal thicknesses from 3/8 to 3/4 in [10 mm to 19 mm] inclusive. For metal over 3/4 in [19 mm] thick, side bend specimens shall be used. For GMAW-S short-circuiting transfer of base metals 3/8 in [10 mm] thick and greater, side bend tests shall be used to qualify the WPS.
3. Dimensions for the specimen blanks and details of permitted bend tests are given in Annex A.
4. A longer test plate will be required if fracture toughness specimens are necessary. Fracture toughness specimens should be located near the midlength of the test plate.

