

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**TESIS**

**ESTUDIO DE SOLDABILIDAD DE LA UNION DISIMILAR DEL ACERO CHRONIT  
T1-500 CON ASTM A128 E-1 POR EL PROCESO SMAW USADOS EN CHUTES DE  
DESCARGA DEL SISTEMA CONVEYOR DE LA EMPRESA SHOUGANG HIERRO  
PERÚ S.A.A.**

**PRESENTADO POR:**

Br. Daniel Alonso Luna Merma

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO METALÚRGICO.**

Asesor: Mgt. Ing. Elías Teodoro Peña Peña

**CUSCO – PERU**

2023

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: ESTUDIO DE SOLDABILIDAD DE LA UNIÓN DISIMILAR DEL ALBRO CIRCUIT T1-500 CON ASTM A128 G-1 POR EL PROCESO SMAW USADOS EN CHUÑOS DE DESCARGA DEL SISTEMA CONVEYOR DE LA EMPRESA SHOUKANG HIERRO PERU S.A.A presentado por: DANIEL MONJO LUNA MERMA con DNI Nro.: 77466229

presentado por: \_\_\_\_\_ con DNI Nro.: \_\_\_\_\_

para optar el título profesional/grado académico de OPITAR AL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO METALURGICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 7 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 11 de enero de 2024



Firma

Post firma ELIAS TEODORO PEÑA PEÑA

Nro. de DNI 23965618

ORCID del Asesor 0000-0003-4529-0665

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259.302879604

## NOMBRE DEL TRABAJO

**ESTUDIO DE SOLDABILIDAD DE LA UNIÓN DISIMILAR DEL ACERO CHRONITT1-500 CON ASTM A128 E-1 POR EL PROCESO SMAW USADOS EN CHUTES DE DESCARGA DEL SISTEMA CONVEYOR DE LA EMPRESA SHOUGANG HIERRO PERÚ S.A. A.**

## AUTOR

**Daniel Alonso Luna Merma**

## RECUENTO DE PALABRAS

**21799 Words**

## RECUENTO DE PÁGINAS

**132 Pages**

## FECHA DE ENTREGA

**Jan 10, 2024 8:37 PM GMT-5**

## RECUENTO DE CARACTERES

**118048 Characters**

## TAMAÑO DEL ARCHIVO

**5.9MB**

## FECHA DEL INFORME

**Jan 10, 2024 8:39 PM GMT-5**

● **7% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)

## DEDICATORIA

Dedico mi presente trabajo a Dios por ser mi guía.

A mis padres, GENARO LUNA TTITO y SEVERINA MERMA HUAMANHUILLCA por estar siempre alentándome a seguir adelante.

A mis hermanos y hermana; LIONEL, EDWIN Y KATERIN, quienes me motivan con su apoyo incondicional a cumplir mis objetivos y metas.

A todos mis familiares, amigos y compañeros por mostrarme siempre sus buenos deseos.

Daniel Alonso Luna Merma

## PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas e Ingeniería Metalúrgica.

Señores Docentes Miembros del Jurado:

Cumpliendo con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos vigente de la Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica y con el objeto de optar al Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico, pongo a vuestra disposición la tesis intitulada: “ESTUDIO DE SOLDABILIDAD DE LA UNION DISIMILAR DEL ACERO CHRONIT T1-500 CON ASTM A128 E-1 POR EL PROCESO SMAW USADOS EN CHUTES DE DESCARGA DEL SISTEMA CONVEYOR DE LA EMPRESA SHOUGANG HIERRO PERÚ S.A.A. (INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA)”.

El presente trabajo es de carácter tecnológico que servirá en gran utilidad y aporte a la sociedad, profesionales y técnicos que se dedican a la aplicación y estudio de la soldabilidad de aceros para ejecutar revestimientos metálicos en chutes de descarga.

Daniel Alonso Luna Merma

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco mi Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco por haberme permitido formarme en ella, a mis docentes, en especial a mi asesor por su ayuda, paciencia y dedicación.

A la empresa Beijing Shougang Mine Construction Engineering Co. Ltd. Sucursal del Perú, por haberme permitido ser parte de su organización en el proyecto de mantenimiento y por darme las facilidades para la realización de este trabajo.

Finalmente, a mis amigos y compañeros de trabajo por ser parte de mi vida profesional.

Daniel Alonso Luna Merma

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>ii</b>
<b>PRESENTACIÓN.....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xiv</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xviii</b>
<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>xix</b>
<b>SIMBOLOGIA.....</b>	<b>xxi</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACION .....</b>	<b>1</b>
1.1. Situación Problemática.....	1
1.2. Formulación del Problema .....	1
1.2.1. Problema General.....	1
1.2.2. Problemas Específicos .....	2
1.3. Justificación.....	2
1.3.1. Relevancia Tecnológica .....	2
1.3.2. Justificación Económica .....	3

1.3.3.	Justificación Ambiental .....	3
1.3.4.	Importancia .....	3
1.4.	Objetivos de la Investigación .....	4
1.4.1.	Objetivo General.....	4
1.4.2.	Objetivos Específicos.....	4
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>.....</b>	<b>5</b>
<b>MARCO TEORICO</b>	<b>.....</b>	<b>5</b>
2.1.	Antecedentes de la Investigación .....	5
2.1.1.	Antecedentes Internacionales.....	5
2.1.2.	Antecedentes Nacionales .....	6
2.2.	Bases Teóricas.....	7
2.2.1.	Definición de Chutes.....	7
2.2.2.	Clasificación de los Chutes.....	8
2.2.3.	Soldadura de Metales Disimiles.....	10
2.2.3.1.	Fundamentos de la soldadura disímil. ....	10
2.2.3.2.	Aspectos para considerar al desarrollar una unión disimilar. ....	11
2.2.4.	Aceros Austeníticos al Manganeso (Aceros Hadfield).....	16
2.2.4.1.	Composición y microestructuras. ....	17
2.2.4.2.	Propiedades mecánicas. ....	18
2.2.4.3.	Aplicaciones. ....	19



2.2.5.	Acero Chronit T1-500.....	19
2.2.5.1.	Composición química.....	19
2.2.5.2.	Propiedades mecánicas.....	20
2.2.5.3.	Aplicaciones .....	20
2.2.6.	Soldadura por Arco de Metal Protegido (SMAW).....	21
2.2.6.1.	Definición y descripción general.....	21
2.2.6.2.	Ventajas y limitaciones del soldeo.....	24
2.2.6.3.	Variables de soldeo del proceso.....	25
2.2.7.	Tipos de Junta .....	28
2.2.8.	Posiciones de Soldadura .....	29
2.2.8.1.	Posiciones para pletina.....	29
2.2.8.2.	Posiciones para tubería.....	30
2.2.8.3.	Posiciones para filete en uniones en T.....	31
2.2.9.	Cálculo del Aporte de Calor (heat input).....	32
2.2.10.	Cálculo de la Velocidad de Enfriamiento .....	33
2.2.11.	Carbono Equivalente .....	34
2.2.12.	Utilización del Diagrama de Graville para Evaluar la Soldabilidad de los Aceros	
	36	
2.2.13.	Temperatura de Pre calentamiento (método de Seferian).....	37
2.2.14.	Ensayos Destructivos y no Destructivos .....	39

2.2.15.	Las Discontinuidades en Soldadura .....	45
2.2.15.1.	Discontinuidades superficiales. ....	46
2.2.15.2.	Discontinuidades internas.....	50
2.2.15.3.	Discontinuidades como inclusiones.....	53
2.2.16.	Calificación de Procedimiento de Soldadura .....	56
2.2.16.1.	Especificación del procedimiento de soldadura (WPS). ....	57
2.2.16.2.	Registro de calificación del procedimiento (PQR).....	58
2.2.16.3.	Registro de las pruebas de calificación de soldador (WPQ). ....	58
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>59</b>
<b>HIPÓTESIS Y VARIABLES.....</b>		<b>59</b>
3.1.	Hipótesis.....	59
3.1.1.	Hipótesis General.....	59
3.1.2.	Hipótesis Específicas .....	59
3.2.	Variables.....	60
3.2.1.	Identificación de Variables .....	60
3.2.1.1.	<i>Variables</i> Independientes .....	60
3.2.1.2.	Variables Dependientes .....	60
3.2.1.3.	Intervinientes o Externas .....	60
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>61</b>
<b>MÉTODOLOGIA.....</b>		<b>61</b>

4.1.	Ámbito de Estudio.....	61
4.2.	Diseño de la Investigación .....	61
4.2.1.	Nivel y Tipo de Investigación.....	61
4.3.	Población y Muestra.....	62
4.3.1.	Población.....	62
4.3.2.	Muestra .....	62
4.4.	Técnicas e Instrumentos de Toma de Datos.....	62
4.4.1.	Instrumentos.....	62
4.4.2.	Técnica.....	62
4.4.3.	Viabilidad.....	62
4.4.4.	Análisis y procedimiento de recolección de datos.....	63
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>64</b>
<b>PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....</b>		<b>64</b>
5.1.	Equipos y Materiales Utilizados en la Investigación .....	64
5.1.1.	Equipos para la Investigación .....	64
5.1.2.	Calibrador de Soldadura Única V-WAC .....	65
5.1.3.	Kit de Tintes Penetrantes Spray.....	66
5.1.4.	Durómetro de Banco .....	66
5.2.	Materiales de Estudio.....	67
5.2.1.	Acero Chronit T1-500.....	67

5.2.2.	Acero Hadfield 128 E-1 .....	68
5.3.	Consumible.....	70
5.3.1.	Electrodo E312-16 .....	70
5.4.	Soldadura de las Probetas.....	71
5.4.1.	Preparación de las Probetas .....	71
5.4.2.	Cálculo de Carbono Equivalente .....	73
5.4.3.	Cálculo de la Temperatura de Pre calentamiento para el Acero Chronit T1 (Método de Seferian).....	74
5.4.4.	Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS) Para las Probetas de Experimentación.....	75
5.5.	Cálculos Realizados de la Soldadura de las Probetas .....	81
5.5.1.	Cálculo del Calor Aportado para el Acero Chronit T1 500 y Acero Hadfield 128 E- 1	81
5.5.2.	Cálculo del Ancho de la Zona Afectada por el Calor Para el Acero Hadfield ASTM 128 E-1	83
5.5.3.	Cálculo del Ancho de la Zona Afectada por el Calor Para el Acero Chronit T1 500	85
5.5.4.	Cálculo de la Velocidad de Enfriamiento $t_{8/5}$ .....	87
5.6.	Calificación del Proceso.....	88
5.6.1.	Inspección Visual.....	88
5.6.2.	Inspección con Líquidos Penetrantes Visibles.....	89

5.6.3. Medición de Refuerzo de Soldadura (corona de soldadura) y Socavaduras.....	95
5.6.4. Ensayo de Dureza .....	96
5.7. Análisis de Resultados .....	99
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>102</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>104</b>
<b>BIBLIGRAFÍA.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>108</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Muestra de propiedades de algunos metales para diseñar una unión disimilar.</i> .....	13
<b>Tabla 2</b> <i>Porcentaje de dilución por proceso.</i> .....	15
<b>Tabla 3</b> <i>Composición química de Aceros Hadfield según la norma ASTM A128</i> .....	18
<b>Tabla 4</b> <i>Propiedades Mecánicas de los Aceros Austeníticos al Manganeso (Hadfield).</i> .....	19
<b>Tabla 5</b> <i>Composición química del acero CHRONIT T1 500</i> .....	20
<b>Tabla 6</b> <i>Característica Mecánicas del acero CHRONIT T1.</i> .....	20
<b>Tabla 7</b> <i>Comparación entre corriente continua y corriente alterna.</i> .....	28
<b>Tabla 8</b> <i>Relación del carbono equivalente con el agrietamiento por hidrogeno.</i> .....	35
<b>Tabla 9</b> <i>Características de este instrumento.</i> .....	65
<b>Tabla 10</b> <i>Codificación de probetas</i> .....	69
<b>Tabla 11</b> <i>Composición química.</i> .....	70
<b>Tabla 12</b> <i>Propiedades mecánicas.</i> .....	71
<b>Tabla 13</b> <i>Cálculo de CE del acero Hadfield 128 E-1.</i> .....	73
<b>Tabla 14</b> <i>Imagen de cálculo de CE del acero Chronit T1.</i> .....	74
<b>Tabla 15</b> <i>Resultados del calor neto aportado para el acero Chronit T1 500</i> .....	82
<b>Tabla 16</b> <i>Resultados del cálculo del ancho de la ZAC.</i> .....	85
<b>Tabla 17</b> <i>Resultados del cálculo del ancho de la ZAC.</i> .....	87
<b>Tabla 18</b> <i>Velocidad de enfriamiento de las probetas.</i> .....	88
<b>Tabla 19</b> <i>Defecto y causas de la soldadura</i> .....	89
<b>Tabla 20</b> <i>Interpretación del Ensayo Líquido Penetrantes Probeta Nro. 01</i> .....	92
<b>Tabla 21</b> <i>Interpretación del Ensayo Líquido Penetrantes Probeta Nro. 02</i> .....	93
<b>Tabla 22</b> <i>Interpretación del Ensayo Líquido Penetrantes Probeta Nro. 03</i> .....	93

<b>Tabla 23</b> <i>Interpretación del Ensayo Liquido Penetrantes Probeta Nro. 04</i> .....	94
<b>Tabla 24</b> <i>Interpretación del Ensayo Liquido Penetrantes Probeta Nro. 05</i> .....	94
<b>Tabla 25</b> <i>Medición de refuerzo de soldadura.</i> .....	96
<b>Tabla 26</b> <i>Interpretación del Ensayo de Dureza Probeta Nro. 01</i> .....	97
<b>Tabla 27</b> <i>Interpretación del Ensayo de Dureza Probeta Nro. 02</i> .....	97
<b>Tabla 28</b> <i>Interpretación del Ensayo de Dureza Probeta Nro. 03</i> .....	98
<b>Tabla 29</b> <i>Interpretación del Ensayo de Dureza Probeta Nro. 04</i> .....	98
<b>Tabla 30</b> <i>Interpretación del Ensayo de Dureza Probeta Nro. 05</i> .....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Chute descarga en minería.</i> .....	7
<b>Figura 2</b> <i>Chute Espiral</i> .....	8
<b>Figura 3</b> <i>Chute Almacenamiento Lento.</i> .....	9
<b>Figura 4</b> <i>Chute de rocas en escalera</i> .....	9
<b>Figura 5</b> <i>Chute telescópico.</i> .....	10
<b>Figura 6</b> <i>Esquema de dilución de un cordón de soldadura en multipasadas.</i> .....	16
<b>Figura 7</b> <i>Soldadura por arco con electrodo revestido.</i> .....	22
<b>Figura 8</b> <i>Circuito del proceso SMAW.</i> .....	24
<b>Figura 9</b> <i>Tipos de junta.</i> .....	29
<b>Figura 10</b> <i>Posiciones de soldadura para pletina.</i> .....	30
<b>Figura 11</b> <i>Posiciones de soldadura para tubos.</i> .....	31
<b>Figura 12</b> <i>Posiciones de soldadura para filetes de uniones en T.</i> .....	32
<b>Figura 13</b> <i>Zonas que indica los grados de soldabilidad.</i> .....	36
<b>Figura 14</b> <i>Monograma de temperatura de precalentamiento.</i> .....	39
<b>Figura 15</b> <i>Símbolos que describen la dureza Brinell.</i> .....	41
<b>Figura 16</b> <i>Exceso de penetración.</i> .....	46
<b>Figura 17</b> <i>Falta de penetración.</i> .....	47
<b>Figura 18</b> <i>Concavidad externa.</i> .....	47
<b>Figura 19</b> <i>Socavaduras o mordeduras de borde.</i> .....	48
<b>Figura 20</b> <i>Quemado.</i> .....	48
<b>Figura 21</b> <i>Salpicaduras de metal.</i> .....	49
<b>Figura 22</b> <i>Falta de continuidad del cordón.</i> .....	49



<b>Figura 23</b> <i>Fisuras longitudinales.</i> .....	50
<b>Figura 24</b> <i>Fisuras transversales.</i> .....	50
<b>Figura 25</b> <i>Fisura de interrupción.</i> .....	51
<b>Figura 26</b> <i>Fisuras en la zona afectada por el calor.</i> .....	51
<b>Figura 27</b> <i>Falta de penetración.</i> .....	52
<b>Figura 28</b> <i>Falta de fusión.</i> .....	52
<b>Figura 29</b> <i>Falta de fusión.</i> .....	53
<b>Figura 30</b> <i>Inclusiones gaseosas.</i> .....	53
<b>Figura 31</b> <i>Porosidad agrupada.</i> .....	54
<b>Figura 32</b> <i>Porosidad alineada.</i> .....	54
<b>Figura 33</b> <i>Inclusiones no metálicas.</i> .....	55
<b>Figura 34</b> <i>Inclusión de escoria aisladas.</i> .....	55
<b>Figura 35</b> <i>Escorias alineadas.</i> .....	56
<b>Figura 36</b> <i>Desalineado.</i> .....	56
<b>Figura 37</b> <i>Fuente de poder.</i> .....	64
<b>Figura 38</b> <i>Calibrador de soldadura.</i> .....	65
<b>Figura 39</b> <i>Kit de tintas penetrantes.</i> .....	66
<b>Figura 40</b> <i>Durómetro de banco.</i> .....	67
<b>Figura 41</b> <i>Planchas de Acero Chronit T1-500.</i> .....	68
<b>Figura 42</b> <i>Probetas de Acero Chronit T1-500</i> .....	68
<b>Figura 43</b> <i>Barras de Acero Hadfield 128 E-1, de sección cuadrada.</i> .....	69
<b>Figura 44</b> <i>Material de aporte.</i> .....	71
<b>Figura 45</b> <i>Soldadura exterior a tope (1G).</i> .....	72

<b>Figura 46</b> <i>Soldadura interior de ángulo (IF).</i> .....	72
<b>Figura 47</b> <i>Sección de las probetas de investigación.</i> .....	73
<b>Figura 48</b> <i>Probetas soldadas.</i> .....	81
<b>Figura 49</b> <i>Limpieza de las probetas</i> .....	90
<b>Figura 50</b> <i>Aplicación del removedor</i> .....	90
<b>Figura 51</b> <i>Aplicación del revelador</i> .....	91
<b>Figura 52</b> <i>Medida de corona.</i> .....	95
<b>Figura 53</b> <i>Medida de socavadura.</i> .....	95
<b>Figura 54</b> <i>Aspecto superficial del cordón de soldadura de la unión de los aceros Hadfield 128 E-1 y el Chronit T-1 500.</i> .....	100

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la empresa Beijing Shougang Mine Construction Engineering Co. Ltd. Sucursal del Perú, una empresa que colabora con la empresa Shougan Hierro Perú, ubicada en la ciudad de San Juan de Marcona, provincia de Nazca, departamento de Ica. Para dicho estudio de soldadura disímil, se utilizaron probetas de acero Hadfield 128 E-1 y el acero Chronit T1-500, los cuales se llegaron a soldar con el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW), determinándose los parámetros de las variables, con los que se determinaron mediante cálculos, los efectos que causan en la unión de estos aceros disimiles. Para la soldadura de estos aceros se usó como consumible el electrodo E312-16, que es un electrodo austenito-ferrítico, para luego evaluar la calidad de la soldadura mediante ensayos no destructivos, como la inspección visual y líquidos penetrantes; como ensayo destructivo la prueba de dureza, llegándose a la conclusión que la soldabilidad de estos dos aceros es posible tomando en cuenta las características de cada acero en forma independiente.

*Palabras clave:* Soldadura disímil, acero Hadfield 128, acero Chronit T1-500, proceso SMAW.

## ABSTRACT

This research work was carried out at the facilities of the company Beijing Shougang Mine Construction Engineering Co. Ltd. Branch of Peru, a company that collaborates with the company Shougan Hierro Peru, located in the city of San Juan de Marcona, province of Nazca, department of Ica. For said study of dissimilar welding, Hadfield 128 E-1 steel specimens and Chronit T1-500 steel were used, which were welded with the electric arc welding process with coated electrode (SMAW), determining the welding parameters. the variables, with which the effects that they cause in the union of these dissimilar steels were determined through calculations. For the welding of these steels, the E312-16 electrode was used as a consumable, which is an austenite-ferritic electrode, to later evaluate the quality of the weld through non-destructive tests, such as visual inspection and penetrating liquids; as a destructive test, the hardness test, reaching the conclusion that the weldability of these two steels is possible taking into account the characteristics of each steel independently.

*Keywords:* Dissimilar welding, Hadfield 128 steel, Chronit T1-500 steel, SMAW process.

## INTRODUCCION

La recuperación de piezas mediante soldadura desempeña un papel crucial en sectores que operan con maquinaria y procesos que involucran componentes mecánicos. Este proceso permite restaurar piezas a un costo menor y con rendimientos generalmente superiores a los de una pieza nueva, lo cual impacta significativamente en la economía empresarial al reducir los costos asociados con la reposición de dichas piezas.

Además de disminuir los costos, la recuperación por soldadura permite tiempos de restauración inferiores a los necesarios para la fabricación de una pieza nueva. Esto elimina las esperas asociadas a importaciones o fabricaciones externas, optimizando los plazos de producción. Este trabajo de investigación se centra en la soldabilidad de aceros disímiles: el CHRONIT T1-500 y el acero ASTM A128 E-1, mediante el proceso de soldadura SMAW. Estos aceros componen los chutes de descarga del sistema conveyor de la empresa Shougang Hierro Perú S.A.A. Los chutes están sometidos a esfuerzos considerablemente altos debido a la naturaleza de sus funciones, lo que provoca desgaste y la necesidad de su reemplazo. La realización de esta investigación se origina en la disparidad entre las composiciones químicas y las propiedades mecánicas de los aceros mencionados y el metal de aporte utilizado. El propósito principal fue encontrar un depósito de soldadura que presentara características similares a las del chute original. Para ello, se llevaron a cabo ensayos de control de calidad tanto destructivos como no destructivos en las probetas soldadas. Este estudio se enmarca en una investigación experimental de carácter explicativo.

El trabajo se estructura en varios capítulos: el primero aborda los fundamentos y objetivos de la investigación; el segundo describe los antecedentes y bases teóricas; el tercero se enfoca en

el desarrollo experimental, y finalmente, se analizan e interpretan los resultados obtenidos, culminando en las conclusiones correspondientes.

## SIMBOLOGIA

SAE = Sociedad de ingenieros automotores (Society of automotive engineers).

AISI = Instituto Americano del hierro y acero (American Iron and Steel Institute)

SMAW = Shield metal arc welding (soldadura por arco electrodo revestido)

AWS= Sociedad americana de soldadura (American Welding Society)

MIG = Soldadura gas inerte. (Metal inert gas)

MAG = Soldadura gas activo (Metal gas active)

TIG = Soldadura con tungsteno y gas inerte.

CC = Corriente continua.

CA= Corriente alterna.

ANSI= Instituto americano de normas nacionales (American national standards institute)

ZF = Zona de fusión.

ZAC = Zona afectada por el calor.

MB = Metal base.

H= Energía de soldeo, en J/mm

T<sub>max</sub> = Temperatura máxima

T<sub>o</sub> = Temperatura inicial de la chapa.

T<sub>f</sub> = Temperatura de fusión o Temperatura del líquido del metal a soldar.

$C$  = Calor específico del metal sólido.

$H_{net}$  = energía aportada neta.

$Y$  = Ancho de la zona afectada térmicamente.

$k$  = Conductividad térmica del metal

$St$  = Tiempo de solidificación.

$e$ : espesor de la pieza.

$C_e$ : carbono equivalente químico.

$T_p$  = Temperatura de precalentamiento.

$CE$  = Carbono equivalente.

$HB$  = Dureza Brinell



## CAPITULO I

### FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACION

#### 1.1.Situación Problemática

La empresa minera SHOUGANG-HIERRO PERÚ S.A.A, es la principal empresa minera productora de hierro en el Perú, posee diferentes áreas de reducción de tamaño, iniciándose con el chancado primario que alimenta de mineral a las siguientes etapas de chancado secundario y molienda. Para ello el mineral debe ser transportado a través de un sistema de correas transportadoras que incluye alimentadores y chutes. Estos últimos están revestidos en su interior por una gran cantidad de placas de desgaste que idealmente deberían ser cambiadas cuando cumplen su vida útil. Actualmente las placas de desgaste que se usan se desprenden antes de cumplir su vida útil y como consecuencia se produce caídas de estas hacia correas de manera imprevista que generan atollo, rotura de cintas y daños al sistema motriz y frenos, entre otros lo que se traduce en altos costos de mantenimiento. Para alargar la vida útil de los chutes y evitar paradas, se plantea reemplazar las placas de desgaste con uniones disimiles entre el acero CHRONIT T1-500 y el acero ASTM A128 E-1 por el proceso SMAW.

#### 1.2.Formulación del Problema

##### 1.2.1. *Problema General*

¿Será posible la soldadura de los aceros Chronit T1-500 con ASTM A128 E-1 por el proceso SMAW usados en chutes de descarga del Sistema Conveyor de la empresa Shougang Hierro Perú S.A.A.?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- ¿Cómo influye la polaridad de la corriente eléctrica en la soldabilidad del acero Chronit T1-500 con ASTM A128 E-1 por el proceso SMAW en chutes descarga del Sistema Conveyor de la empresa Shougang Hierro Perú S.A.A.?
- ¿Cómo influye la intensidad de corriente eléctrica en el ancho de la zona afectada por el calor (ZAC) en la soldabilidad del acero Chronit T1-500 con ASTM A128 E-1 por el proceso SMAW en chutes descarga del Sistema Conveyor de la empresa Shougang Hierro Perú S.A.A.?
- ¿Cómo influye la composición química del ACERO Chronit T1-500, ASTM A128 E-1 y material de aporte, en la unión disimilar?
- ¿Cómo influye la dilución en la soldabilidad del acero disimilar Chronit T1-500 con ASTM A128 E-1?

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1. Relevancia Tecnológica**

La soldadura de aceros con composiciones químicas distintas es una necesidad fundamental en diversas industrias. Este estudio se enfoca en el desarrollo de conocimiento crucial sobre la soldabilidad de aceros disímiles, específicamente el acero CHRONIT T1-500 en conjunto con el acero ASTM A128 E-1, utilizando el proceso SMAW. El aporte principal de esta investigación radica en facilitar la obtención de uniones soldadas de alta calidad y óptimo comportamiento en condiciones de servicio.

Al entender y optimizar el proceso de soldadura entre estos dos aceros disímiles, se allana el camino para mejorar la calidad de las uniones soldadas en entornos industriales exigentes como los presentes en la empresa Shougang Hierro Perú S.A.A. La aplicación efectiva de estos conocimientos permitirá no solo una soldadura más eficiente y precisa, sino también una prolongación de la vida útil de los componentes, reducción de costos de mantenimiento y una mayor seguridad operativa en los sistemas donde se implementen estas uniones soldadas.

Esta investigación contribuye directamente a mejorar la fiabilidad y durabilidad de las estructuras y componentes donde se emplean estos aceros disímiles, posibilitando un desempeño superior en entornos operativos desafiantes, como los chutes de descarga del Sistema Conveyor, donde las uniones soldadas enfrentan condiciones adversas.

### ***1.3.2. Justificación Económica***

La soldabilidad del acero CHRONIT T1-500 con el acero ASTM A128 E-1 por el proceso SMAW permitirá no realizar paradas de planta no programadas lo que se traducirá en un ahorro económico.

### ***1.3.3. Justificación Ambiental***

Con el conocimiento de este estudio, se contribuirá a la disminución de los desechos metálicos.

### ***1.3.4. Importancia***

El presente trabajo de investigación reviste importancia porque contribuye a desarrollar una técnica de soldabilidad de aceros de diferente composición química (aceros disímiles), en este

caso la soldabilidad del acero CHRONIT T1-500 con el acero ASTM A128 E-1 por el proceso SMAW, con el fin de obtener uniones que presente características optimas de funcionalidad.

## **1.4.Objetivos de la Investigación**

### ***1.4.1. Objetivo General***

Evaluar la soldabilidad de aceros disimiles entre el acero CHRONIT T1-500 con el acero ASTM A128 E-1 por el proceso SMAW.

### ***1.4.2. Objetivos Específicos***

- Determinar el efecto de la polaridad de la corriente eléctrica en la calidad de la soldadura del acero Chronit T1-500 con ASTM A128 E-1 mediante el proceso SMAW en los chutes de descarga del Sistema Conveyor de Shougang Hierro Perú S.A.A.
- Evaluar la influencia de la intensidad de la corriente eléctrica en el ancho de la zona afectada por el calor (ZAC) durante la soldadura del acero Chronit T1-500 con ASTM A128 E-1 por el proceso SMAW en los chutes de descarga del Sistema Conveyor de Shougang Hierro Perú S.A.A.
- Analizar el impacto de la composición química del acero Chronit T1-500, ASTM A128 E-1 y del material de aporte en la formación de una unión disimilar durante el proceso de soldadura en los chutes de descarga del Sistema Conveyor de Shougang Hierro Perú S.A.A.
- Investigar cómo la dilución afecta la soldabilidad del acero disímil Chronit T1-500 con ASTM A128 E-1 durante el proceso de soldadura por SMAW en los chutes de descarga del Sistema Conveyor de Shougang Hierro Perú S.A.A.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1. Antecedentes de la Investigación

##### 2.1.1. *Antecedentes Internacionales*

Félix Contreras, (2018), en su trabajo intitulado “Estudio de la soldabilidad entre materiales disímiles A6061-T6/Acero DP900 galvanizado, unidos por el proceso CMT”, realizado en el año 2018, en la Corporación de Mexicana de Investigación en Materiales, en la ciudad de México, plantea como objetivo conocer la soldabilidad y su comportamiento microestructural de uniones disímiles entre la aleación de aluminio A6061-T6 y el acero DP900 galvanizado, soldados bajo una combinación de parámetros mediante el proceso Cold Metal Transfer (CMT, por siglas en inglés), para lo cual estableció como una primera etapa una caracterización de los materiales base para conocer las fases presentes y el espesor de la capa de zinc electro-depositada en la superficie del acero DP900 y una segunda etapa realizo un análisis de calorimetría diferencial de barrido. Posterior a esta actividad se realiza una serie de experimentos de soldabilidad combinando los diferentes parámetros para conocer la soldabilidad de la unión disímil analizada, el análisis micrográfico de la zona de unión y la relación de respuesta mecánica mediante ensayos de tensión. Concluyéndose que la que la capa de galvanizado frena el paso de los átomos de Fe del acero hacia la zona de unión durante el proceso de soldadura, actuando en conjunto el bajo aporte térmico generado por los parámetros seleccionados para el proceso.

(Aguirre et al., 2007), en su trabajo de investigación, realizado en el año 2007 en la Universidad Tecnológica de Pereira de la república de Colombia, se plantea como objetivo, realizar una unión por soldadura entre el acero de baja aleación con otro acero de alta aleación,

para la experimentación se usaron probetas de acero SAE1045 y AISI 316. Para la evaluación de la soldadura se determinó la influencia de la dilución en el depósito, llegándose a la conclusión que entre aceros disimiles se deben tener en cuenta las recomendaciones y los métodos existentes para que dicha unión ofrezca la mejor ductilidad y resistencia posibles.

### ***2.1.2. Antecedentes Nacionales***

Luna, (2018) en su trabajo intitulado: Evaluación del procedimiento de soldadura de la unión disímil entre aceros API 5L X70 PSL1 y ASTM A707 L5 F65, evalúa la especificación de procedimiento de soldadura para la unión disímil entre el acero API 5L X70 PSL1 y ASTM A707 L5 F65. Se utilizaron bridas y tuberías para realizar la experimentación con dimensiones de 24 pulgadas de diámetro y 21.5 milímetros de espesor. Los procesos a los cuales fueron aplicados son el GTAW y SMAW. El objetivo principal de la tesis fue el de calificar el procedimiento de soldadura para la unión entre la brida y la tubería antes mencionadas, con la finalidad de asegurar su implementación en el sistema de transporte de gas natural por ductos. A las probetas de experimentación se les sometido a análisis químico, de tracción, impacto, así mismo se les realizaron ensayos de calificación del procedimiento de soldadura. Sobre la base de los resultados obtenidos se concluyó que, según lo estipulado en el código ASME sección IX, el procedimiento de soldadura propuesto se encuentra calificado y, por consiguiente, la ejecución del cordón de soldadura entre la brida y la tubería mencionadas debe realizarse en función de dicho procedimiento.

## 2.2. Bases Teóricas

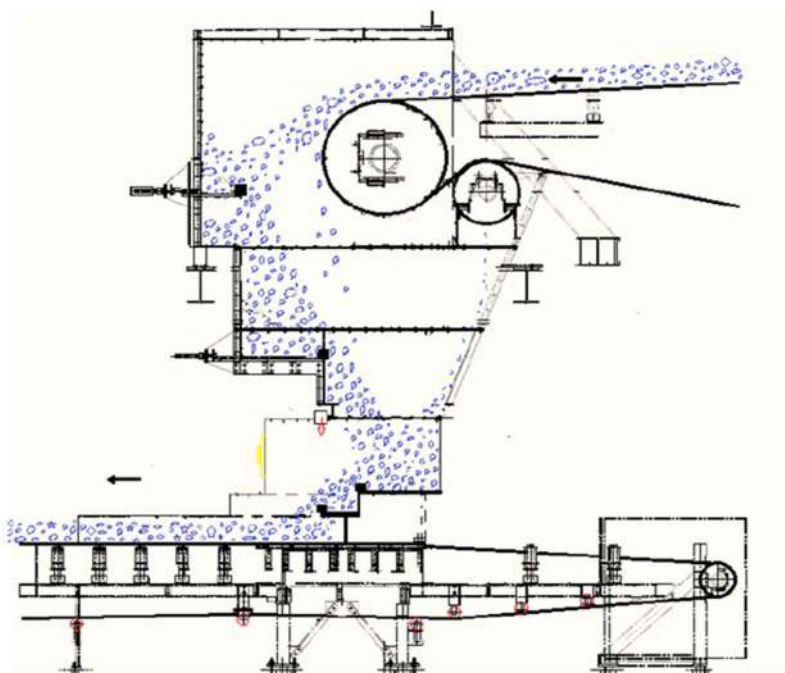
### 2.2.1. Definición de Chutes

Se refiere a una estructura o dispositivo utilizado para el transporte de material a granel desde un nivel elevado a uno inferior en una mina. Estos dispositivos suelen ser canales o conductos inclinados que permiten el flujo controlado de mineral, rocas u otros materiales desde un punto alto a uno más bajo.

Los chutes en minería pueden variar en diseño según el tipo de material que se esté transportando, la inclinación requerida y otros factores específicos de la operación minera. Su función principal es facilitar la transferencia eficiente y segura de materiales a lo largo del proceso de extracción y procesamiento en una mina. (Metso Outotec, 2022).

### Figura 1

*Chute descarga en minería.*



Nota. Figura adaptada de plano de chute de descarga de la Torre de Transferencia 05 Paquete 3 de la unidad minera SHP

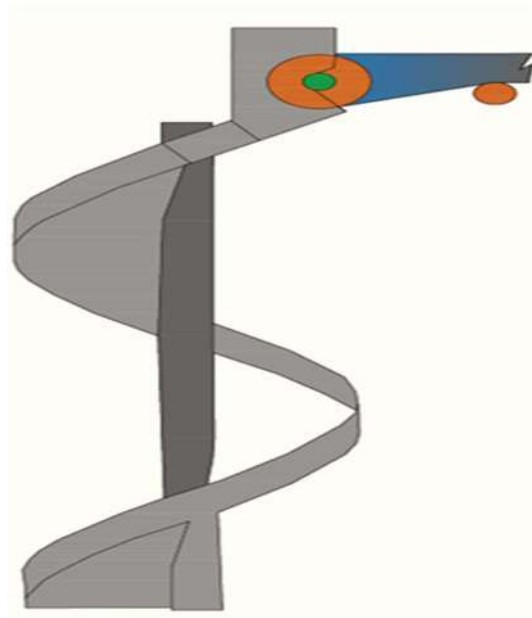
### 2.2.2. Clasificación de los Chutes

#### a) Chute en forma de espiral

Utilizado para bajar suavemente materiales a granel frágiles y / o polvorientos. (ver Figura 2).

**Figura 2**

*Chute Espiral*



Nota. Adaptado del Manual Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA)

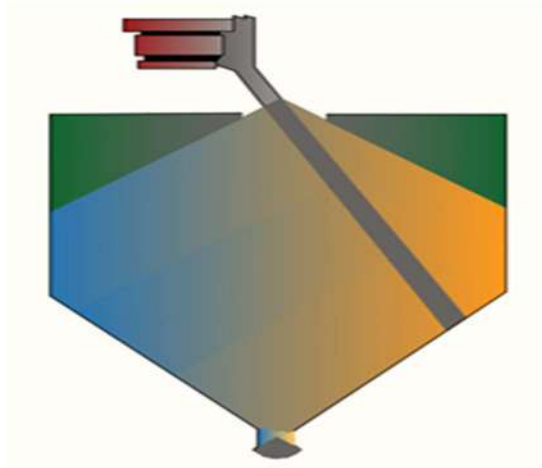
#### b) Chute de almacenamiento lento

Poseen canaletas invertidos rectos y declinados, se extienden desde el punto de descarga del transportador de correa hacia abajo en el contenedor, y están asegurados al lado inclinado del contenedor cerca del fondo del contenedor. La canal tiene una inclinación de  $10^\circ$  a  $15^\circ$  mayor que el ángulo de reposo del material. El material se deslizará por estas rampas silenciosamente, sin producir polvo, hasta que se encuentre con el lado del depósito o la superficie del material en el contenedor, lugar donde el material saldrá de la rampa y se extenderá de forma cónica (ver figura 3).



**Figura 3**

*Chute Almacenamiento Lento.*



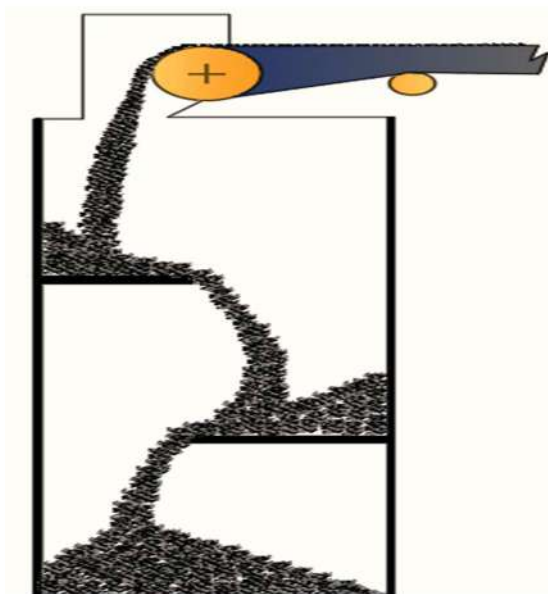
Nota. Adaptado del Manual Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA)

**c) Chute en escalera de rocas**

Es el más usado (ver figura 4), estos chutes no permiten que la roca se desmorone, rompan o se degraden cuando se entrega a una pila por la faja transportadora.

**Figura 4**

*Chute de rocas en escalera*



Nota. Adaptado del Manual Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA)

#### **d) Chute Telescópico**

Se usa para minimizar el polvo cuando se descarga a una pila. Las secciones telescópicas están unidas por cable de tal manera que un cabrestante levantará sucesivamente las secciones para mantener el extremo inferior del canal inclinado justo por encima de la parte superior de la pila de almacenamiento (ver figura 5).

#### **Figura 5**

*Chute telescópico.*



Nota. Adaptado de Telescopic Chute (2010)

### **2.2.3. Soldadura de Metales Disímiles**

#### **2.2.3.1. Fundamentos de la soldadura disímil.**

Según la norma de soldadura American Welding Society, AWS D1.1/D1.1M: Structural Welding Code - Steel: Esta norma se enfoca en la soldadura de estructuras de acero y puede incluir pautas para la soldadura de aceros disímiles. Los metales disímiles, son todos aquellos químicamente diferentes (aluminio, cobre, níquel, etc.), o aleaciones metalúrgicamente distintas de un mismo elemento, como los aceros inoxidable y los aceros al carbono). La combinación de metales disímiles abarca uno o más metales base y uno o más materiales de aporte que, después

de fundirse juntos durante la soldadura, formaran el metal de soldadura final. Una serie de metales de soldadura significativamente diferentes en composición pueden existir dentro de una sola junta, tal es el caso de cuando se efectúan soldaduras de múltiples pases, empleando aportes distintos en cada cordón realizado.

Hay muchas aplicaciones donde se efectúan soldaduras de metales de composiciones diferentes. Estas uniones se pueden lograr en una variedad de metales distintos y por medio de mucho de los procesos de soldadura. Para los procesos de soldadura por fusión, es importante investigar las propiedades individuales de soldabilidad de los dos metales implicados.

Si hay solubilidad mutua de los dos metales, sus uniones se podrán soldar bien. Por el contrario, si hay poca o nula solubilidad de los dos metales, no se lograra una buena soldadura. Según Howard C. (1992), una buena soldadura entre dos metales distintos es aquella que es tan fuerte como el metal menos fuerte de los que se unen; estos son, tiene suficiente resistencia a la tensión y ductilidad para que no se rompa la unión. En algunos casos, podría ser necesario usar un tercer metal que sea soluble en los dos metales base para producir una buena soldadura.

El problema principal de soldar metales diferentes se relaciona con la zona de transición de los metales, y con los compuestos Inter metálicos que se forman en esta, los cuales deben investigarse para determinar su sensibilidad a la fractura, ductilidad, susceptibilidad a la corrosión, etc. Es extremadamente importante la microestructura de estos compuestos Inter metálicos.

La soldadura de metales disímiles requiere las consideraciones de todos los factores básicos hallados en la soldadura convencional, pero sus efectos deben ser más cuidadosamente estudiados.

#### **2.2.3.2. Aspectos para considerar al desarrollar una unión disimilar.**

Se deben considerar los siguientes aspectos:

### **a) Rangos de temperatura de fusión**

Cuando se suelda, los metales bases se funden; por lo que será recomendable que ambos metales bases a soldar tengan un punto de fusión similar para poder emplear procesos de soldadura convencionales. Si las diferencias de puntos de fusión son grandes, el proceso de soldadura se vuelve complicado y quizás no pueda ser soldado por arco eléctrico.

No hay una regla fija para la diferencia de temperatura que se considera aceptable, ya que esto puede depender de varios factores:

Proceso de soldadura, Materiales de aporte y Preparación previa: El precalentamiento de los metales puede ser útil para reducir la disparidad de temperatura de fusión y facilitar la soldadura.

Si los metales bases tienen una diferencia de temperatura de fusión significativa (por ejemplo, más de 100-200 grados Celsius), puede requerir técnicas especiales y cuidados adicionales durante el proceso de soldadura para garantizar una unión sólida y sin defectos.

### **b) Conductividad térmica**

Cuando dos metales disímiles con conductividades térmicas significativamente diferentes son soldados, la conducción rápida de calor desde el metal de soldadura fundido hacia el metal base con la mayor conductividad, puede afectar la energía requerida para fundir localmente ese metal base. El procedimiento de soldadura debe compensar esta diferencia. En estos casos, la pérdida de calor puede ser balanceada precalentando selectivamente el metal base con la más alta conductividad térmica. También es posible utilizar grandes aportes de calor que haga la soldadura rápidamente, obteniendo así una dilución uniforme a ambos lados de la junta. Es importante conocer esta propiedad de los metales bases a soldar, pues esta propiedad está relacionada con la

fusión del metal base. Si la diferencia es muy grande el metal base con menor conductividad térmica no transmitirá el calor que se le dé y por lo tanto se fundirá; sin embargo, el metal con mayor conductividad térmica transmitirá la mayor parte del calor proveniente del arco eléctrico, por lo que no alcanzará la fusión y esto conllevaría a problemas de falta de fusión en la soldadura.

### c) Expansión térmica

Significativas diferencias entre coeficientes de expansión térmica producen tensiones en la junta durante los cambios de temperatura, lo cual es muy importante a la hora de poner la unión en servicio. Es deseable que el metal de aporte posea un coeficiente de expansión térmico promedio entre los valores de dicha propiedad de los metales bases. En la tabla 1, se muestra las propiedades a considerar al momento de diseñar una unión disimilar de algunos materiales usados en la industria, empleando al acero al carbono de referencia para comparar el resto de los materiales.

**Tabla 1**

*Muestra de propiedades de algunos metales para diseñar una unión disimilar.*

Propiedades	Materiales					
	Acero al carbono	Cobre	Aluminio	Acero Inoxidable Austenítico	70Ni-30Cu	76Ni-16Cr-8Fe
Coeficiente medio de expansión Térmica	1.0	1.4	1.9	1.3	1.2	1.0
Conductividad térmica	1.0	7.8	3.1	0.3	0.4	0.2
Capacidad Calorífica	1.0	0.8	1.9	1.0	1.1	1.1
Densidad	1.0	1.1	0.3	1.0	1.1	1.1
Temperatura de fusión	1.0	0.7	0.4	0.9	0.9	0.9

Nota. Esta tabla muestra las propiedades de materiales en una unión disimilar. Adaptado de ASM - American Society for Materials. ASM Handbook (Vol. 11). "Failure Analysis and Prevention".

#### **d) Composición del metal de soldadura**

La composición microestructural del metal de soldadura obtenido en una junta disímil depende de la composición de los metales base, el metal de relleno, si es usado, y la dilución relativa entre estos. La composición del metal de soldadura usualmente no es uniforme, particularmente en soldaduras de múltiples pases donde cada cordón se deposita con un metal de aportación distinto, y un gradiente de composición es probable que exista en el metal de soldadura adyacente a cada metal base.

La habilidad para determinar la composición aproximada del metal de soldadura es muy importante cuando se realizan soldaduras disímiles. Ya que de esta dependen sus propiedades tales como resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y al agrietamiento, sensibilización a la formación de la fase sigma.

#### **e) Dilución y aleación**

La dilución es definida como el cambio en la composición del metal de aporte depositado durante la soldadura causado por la mezcla de este con los metales base, o el metal de soldadura depositado previamente. Esta es usualmente considerada como un porcentaje del metal base que ha entrado dentro del metal de soldadura total.

Predecir y controlar el grado de dilución obtenido en una junta es de relevante importancia, ya que de esta depende en gran medida la naturaleza de las fases microestructurales formadas durante la solidificación del metal de soldadura, afectando así sus propiedades de aleación. Además, el número, tipo, cantidad y arreglos metalúrgicos de las fases presentes en la microestructura del metal de soldadura formado determinaran las propiedades mecánicas y calidad de la junta.

En la tabla 2, se dan los diferentes valores de dilución por proceso empleado.

**Tabla 2**

*Porcentaje de dilución por proceso.*

Proceso	Gas de protección (%)	Dilución (%)
Smaw	Ninguno	30
Gmaw	Ar: 81 + He: 18 CO <sub>2</sub> : 1	36.5
Gmaw	Ar: 98 + O <sub>2</sub> :2	42.8
Gmaw	Ar: 43 + He: 55 + CO <sub>2</sub> : 2	43.7
Gmaw	Ar: 98 + CO <sub>2</sub> :2	39.7
Gmaw	Ar: 100	39.7
Gmaw	Ar: 98 + O <sub>2</sub> : 2	44.1
Gmaw	Ar: 95 + He: 5	43.6

Nota. Esta tabla muestra Porcentaje de dilución por proceso. Adaptado de ASM - American Society for Materials. ASM Handbook (Vol. 11). "Failure Analysis and Prevention".

En la soldadura de metales disímiles, el metal de aporte debe alearse fácilmente con los metales base para producir un metal de soldadura que tenga una matriz de fase dúctil y continua. Específicamente, el metal de relleno debe ser capaz de aceptar dilución por parte de los materiales base sin producir una microestructura propensa a las fracturas.

La microestructura del metal de soldadura también debe ser estable bajo las condiciones de servicio esperadas. La resistencia del metal de soldadura debe ser equivalente o mejor que la del metal base más débil.

La dilución calculada para una unión compuesto por tres elementos, según se presenta en la figura 6, La primera, indicada con F, se refiere a la fracción del cordón formado aportado por el material de aporte. El segundo, indicado con B, representa la fracción de área constituida por el material fundido del cordón anterior. Y la tercera fracción es la constituida por el aporte de material

base fundido (A). Debido a que la suma de las tres fracciones debe sumar la unidad. Para medir la dilución en multipasadas, a partir de estas tres áreas, la ecuación de Dilución del metal A ( $D_A$ ), más la ecuación Dilución del metal B ( $D_B$ ), nos dan la dilución total ( $D_T$ ).

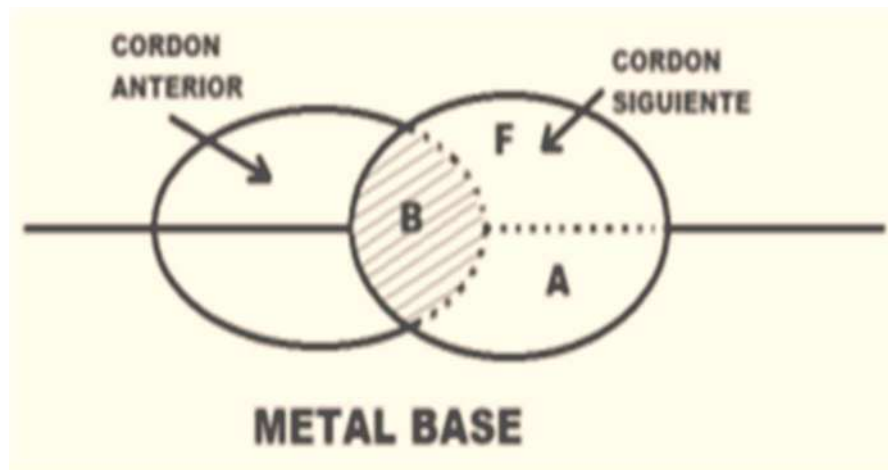
$$\%D_A = \frac{A}{A + B + F} \times 100$$

$$\%D_B = \frac{B}{A + B + F} \times 100$$

$$\%D_T = \frac{A + B}{A + B + F} \times 100$$

### Figura 6

*Esquema de dilución de un cordón de soldadura en multipasadas.*



Nota. Figura adaptada por (Gualco, 2011, pág. 120)

#### 2.2.4. Aceros Austeníticos al Manganeso (Aceros Hadfield)

El acero austenítico al manganeso fue desarrollado por Sir Robert Hadfield en 1882, por lo que fue denominado acero Hadfield. Son aleaciones no magnéticas, extremadamente tenaces en las cuales la transformación martensítica de endurecimiento ha sido suprimida por una



combinación de alto contenido de manganeso y carbono, y la precipitación de carburos por una alta velocidad de enfriamiento desde temperaturas de austenización. (Higuera, Tristancho, & Florez, 2007)

Estos aceros están caracterizados por sus propiedades mecánicas como son: alta resistencia a la tracción y a la compresión, alta ductilidad y excelente resistencia al desgaste. El acero Hadfield es el único que combina alta resistencia y ductilidad con gran capacidad de endurecimiento por deformación y, usualmente, buena resistencia al desgaste. (Higuera, Tristancho, & Florez, 2007)

Los aceros austeníticos al manganeso presentan ciertas propiedades que tienden a restringir su uso, por ejemplo, son difíciles de maquinar y usualmente tienen esfuerzos de fluencia de 345 a 415 MPa (50 a 60 Ksi). Consecuentemente no son aptos para partes que requieren alta precisión durante el maquinado o que deben resistir deformación plástica cuando son sometidos a altos esfuerzos durante el servicio. (1) Los aceros Hadfield tienen una composición nominal de 1.2%C y 12 a 13%Mn como elementos esenciales. Las aleaciones comerciales usualmente varían en el rango de 1 a 1.4%C y 10 a 14%Mn como lo establece la norma ASTM A128. (Higuera, Tristancho, & Florez, 2007)

#### **2.2.4.1. Composición y microestructuras.**

Muchas variaciones de los aceros al manganeso originales han sido propuestas, pero solo unas pocas han sido adoptadas como mejoras significativas. Estas usualmente incluyen variaciones en el contenido de carbono y manganeso, con o sin elementos aleantes adicionales tales como cromo, níquel, molibdeno, vanadio, titanio y bismuto. Las composiciones más comunes establecidas por la norma ASTM A128 son mostradas en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Composición química de Aceros Hadfield según la norma ASTM A128*

IDENTIFICACION		COMPOSICION QUIMICA							HB Dureza Brinell
Norma	Grado	% C	% Mn	% Si	% Ni	% Cr	% Mo	% P	
	A	1,05 - 1,35	11 mín.	1,00 máx				0,07 máx.	180
	B1	0,90 - 1,05	11,5 - 14,0	1,00 máx				0,07 máx	
	B2	1,05 - 1,20	11,5 - 14,0	1,00 máx				0,07 máx	
	B3	1,12 - 1,28	11,5 - 14,0	1,00 máx				0,07 máx	
ASTMA 128	B4	1,20 - 1,35	11,5 - 14,0	1,00 máx				0,07 máx	200
	C	1,05 - 1,35	11,5 - 14,0	1,00 máx		1,5 - 2,5		0,07 máx	
	D	0,7 - 1,30	11,5 - 14,0	1,00 máx	3,0 - 4,0			0,07 máx	
	E1	0,7 - 1,30	11,5 - 14,0	1,00 máx			0,9 - 1,2	0,07 máx	185
	E2	1,05 - 1,45	11,5 - 14,0	1,00 máx			1,8 - 2,1	0,07 máx	
	F	1,05 - 1,35	6,0 - 8,0	1,00 máx			0,9 - 1,2	0,07 máx	180

Nota. ASM - American Society for Materials. ASM Handbook Vol. 11. "Failure Analysis and Prevention".

Los aceros austeníticos al manganeso tienen microestructuras que son extremadamente sensibles al tamaño de la sección. Estos aceros son metaestables con solución sólida de carbono, manganeso y silicio en hierro gamma ( $\gamma$ ). Por lo tanto, el desarrollo de una microestructura simple de austenita depende de la rapidez y efectividad del temple en agua durante el tratamiento térmico. (Higuera, Tristancho, & Florez, 2007)

#### **2.2.4.2. Propiedades mecánicas.**

La principal propiedad mecánica de los aceros Hadfield, es su gran resistencia al desgaste que fue atribuido a un rápido endurecimiento por deformación para lo cual se han propuesto varios mecanismos:

- Transformaciones que inducen tensiones como  $\gamma \rightarrow \alpha$  o  $\gamma \rightarrow \epsilon$ .
- Pares mecánicos.
- Interacción de dislocaciones con átomos de carbono en solución sólida, etc.

Su alta resistencia al desgaste está relacionada con la aleación con elementos de gran tendencia a la formación de carburos. Los aceros Hadfield son usualmente menos resistentes a la abrasión que las fundiciones blancas martensíticas o los aceros de alto carbono martensíticos, pero son mucho más resistentes que las fundiciones blancas perlíticas o aceros perlíticos. En la tabla 4, se observa las propiedades mecánicas de los aceros austeníticos al manganeso.

**Tabla 4**

*Propiedades Mecánicas de los Aceros Austeníticos al Manganeso (Hadfield).*

Dureza (HB)	Resistencia a la tracción (Mpa)	Energía de Impacto (J)	Elongación (%)	Tenacidad (MPa.m <sup>1/2</sup> )
170 – 220	280 – 470	136	20-40	120

*Nota.* Adaptada por ASM - American Society for Materials. ASM Handbook Vol. 11. “Failure Analysis and Prevention”.

#### **2.2.4.3. Aplicaciones.**

Este tipo de acero, por ser muy resistente al desgaste y a los impactos repetitivos, tienen amplia aplicación en los revestimientos de: Chancadoras de Mandíbulas, chancadoras de cono, chancadoras giratorias, molinos de bolas y de barras; así mismo tienen aplicación en equipos de perforación de pozos; en la industria siderúrgica, del cemento, como también son usados en equipos de movimiento de tierras.

#### **2.2.5. Acero Chronit T1-500**

Es un acero aleado de alta resistencia al desgaste, por abrasión, obtenido a través de un proceso de tratamiento térmico de temple y revenido con el fin de lograr la dureza ideal para un trabajo específico. Durezas de 500 BHN. (Bholer, 2021)

##### **2.2.5.1. Composición química.**

En la tabla 5, se detalla su composición química.

**Tabla 5**

*Composición química del acero CHRONIT T1 500*

Composición Química % Máxima									
C	Mn	Si	P+S	Cu	Mo	Ni	B	Ti	Carbono Equivalente
0.27	1.70	0.60	0.04	0.20	0.40	0.3	0.007	0.20	0.50

*Nota.* Adaptada de Catálogo de aceros Bholer (2021)

### 2.2.5.2. Propiedades mecánicas.

En la table 6, se observa las propiedades mecánicas del acero CHRONIT T – 1.

**Tabla 6**

*Característica Mecánicas del acero CHRONIT T1.*

Características Mecánicas	CHRONIT T1	CHRONIT T1
	450	500
Dureza de suministro HB	420 – 480	450 – 530
Resistencia a la tracción N/mm <sup>2</sup>	1316	1650
Límite de fluencia N/mm <sup>2</sup>	1163	1300
Elongación (mínimo) %	10	8
Tenacidad (longitudinal) JOULES	25 (-40 °C)	25 (-20 °C)

*Nota.* Adaptada de Catálogo de aceros Bholer (2021)

### 2.2.5.3. Aplicaciones

Este tipo de acero tiene aplicación en:

- Equipos de movimiento de tierra, minerales y materiales abrasivos tales como tolvas de volquetes, cucharas de máquinas cargadoras, tornamesa para tracto camiones, etc.
- Para todos aquellos casos en que además de precisarse buena soldabilidad y/o resistencia al desgaste se requiera mejor conformación y buena tenacidad, tales como en: construcciones de camiones volquetes, bulldozers, cintas transportadoras, cribas, canaletas, revestimientos de chancadoras, piñones de cadena, engranajes, ciclones, trómeles, elementos de máquinas trituradoras, chancadoras y prensas de chatarra, base para matrices de alto rendimiento.
- Además, en todas las construcciones soldadas que requieren alta resistencia y una buena tenacidad a bajas temperaturas, tales como tanques de presión. (Bholer, 2021)

## **2.2.6. Soldadura por Arco de Metal Protegido (SMAW)**

### **2.2.6.1. Definición y descripción general.**

La soldadura manual es un proceso en el que la fusión del metal se produce por el calor generado en un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal base de una unión a soldar.

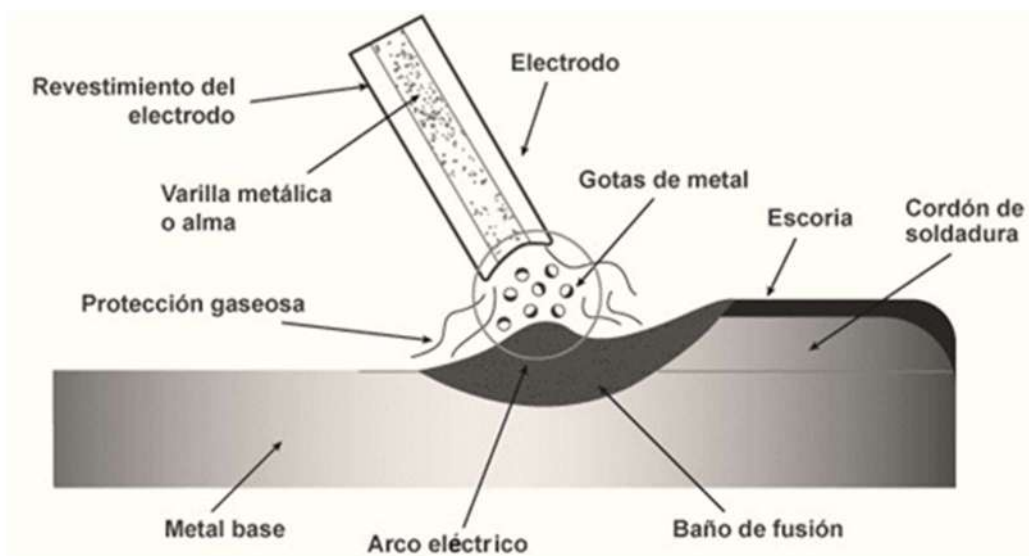
La soldadura manual es el más extendido entre todos los procedimientos de soldadura por arco, debido fundamentalmente a su versatilidad, aparte de que el equipo necesario para su ejecución es más sencillo, transportable y barato que el de los demás.

Así, la soldadura manual puede ser utilizada en cualquier posición, tanto en locales cerrados como en el exterior, se puede aplicar en cualquier localización que pueda ser alcanzada por un electrodo, incluso con restricciones de espacio, que no permiten la utilización de otros equipos; por otra parte, al no requerir ni tuberías de gases ni conducciones de agua de refrigeración, puede ser empleada en lugares relativamente alejados de la unidad generadora.

Por otra parte, la soldadura manual es aplicable a casi todos los tipos de aceros: al carbono, débilmente aleados, inoxidable, resistentes al calor, etc., y a gran número de aleaciones, como las cobre – cinc (latones) y cobre – estaño (bronces) principalmente. Asimismo, la soldadura manual se puede utilizar en todos los tipos de juntas y posiciones. La figura 7, ilustra dicho proceso. (Larry, 2009)

### Figura 7

*Soldadura por arco con electrodo revestido.*



Nota. Figura recopilada de Fernández Florez, Guillermo; (1996). “Soldadura y Metalurgia”; Ed. Continental; México.

- **Principio de funcionamiento**

En esencia, el procedimiento consiste en el establecimiento de un circuito eléctrico cerrado (Figura 8) que requiere una Nota de corriente adecuada dotado de dos terminales, uno de ellos conectado por medio de un cable a una porta electrodo, en cuya pinza se sujeta un electrodo revestido; el otro terminal se conecta, a su vez, a través de un cable de retorno y una pinza de masa, a la pieza. El circuito se cierra a través del arco que salta entre el extremo del electrodo y el punto de soldeo en la pieza. (Alonso, 2012)

El proceso se inicia con el cebado del arco, operación consistente en tocar, por brevísimos instantes, la pieza con el extremo libre del electrodo, cerrándose durante ese corto tiempo el circuito. El paso de corriente genera, el calentamiento del punto de contacto y de las zonas inmediatas, particularmente el extremo del electrodo.

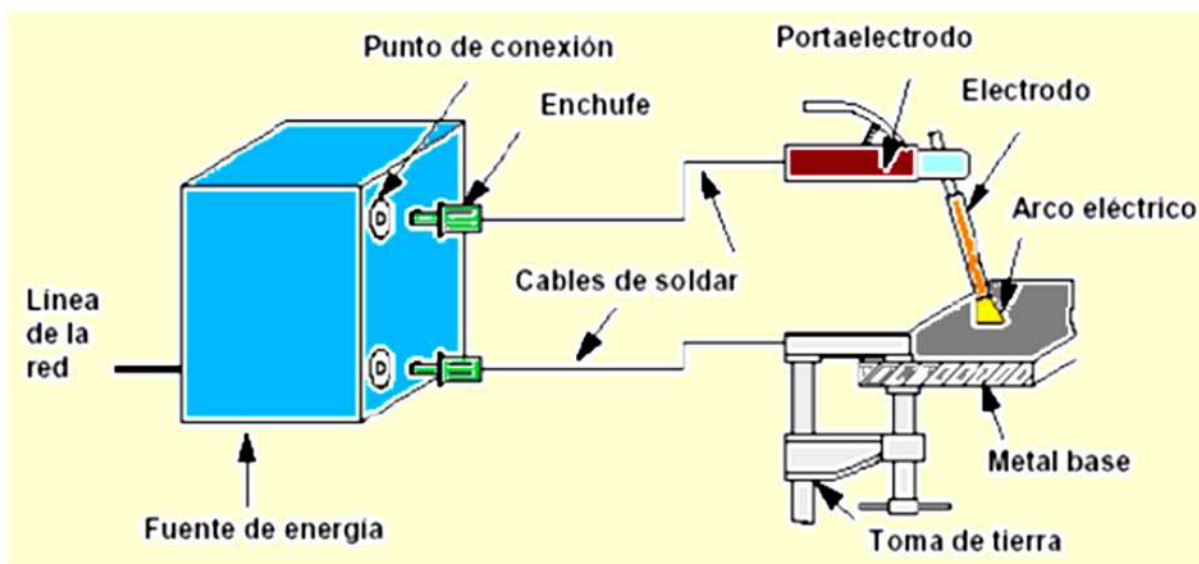
La temperatura alcanzada por éste puede llegar a la de incandescencia, a pesar del corto tiempo de contacto, siendo suficiente para que, una vez separado el extremo del electrodo de la pieza, el metal del extremo libre del mismo produzca una fuerte emisión de electrones que se aceleran por la tensión, chocan con los electrones de otros átomos del medio gaseoso, a los que expulsa de sus órbitas, lo cual genera una atmósfera ionizada en su entorno que permite el paso de corriente a través del aire, con lo que, a los electrones emitidos por el electrodo incandescente se suma el torrente de electrones conducido por ésta, que se proyectan sobre el ánodo, provocando su fusión parcial y produciéndose así el salto del arco.

El arco eleva extraordinariamente la temperatura, muy por encima de la de fusión del metal — temperaturas del orden de 5000°C son normales en cualquier arco — de forma que, tanto el extremo del electrodo como la zona afectada por el arco en el metal base, se funden.

Del extremo del electrodo se desprenden pequeñas gotas de metal fundido, que se proyectan sobre el metal de base también fundido, mezclándose con él y formando lo que se denomina baño de fusión.

**Figura 8**

*Circuito del proceso SMAW.*



*Nota.* Figura recopilada de Fernández Florez, Guillermo; (1996). "Soldadura y Metalurgia"; Ed. Continental; México.

### 2.2.6.2. Ventajas y limitaciones del soldeo.

#### a) Ventajas

- El equipo de soldeo es relativamente sencillo, no muy caro y portátil.
- El metal de aportación y los medios para su protección durante el soldeo proceden del propio electrodo revestido. No es necesaria protección adicional mediante gases auxiliares o fundentes granulares.
- Es menos sensible al viento y a las corrientes de aire que los procesos por arco con protección gaseosa. No obstante, el proceso debe emplearse siempre protegido del viento, lluvia y nieve.
- Se puede emplear en cualquier posición, en locales abiertos y en locales cerrados, incluso con restricciones de espacio. No requiere conducciones de agua de refrigeración, ni tuberías o botellas de gases de protección, por lo que puede emplearse en lugares relativamente alejados.
- Es aplicable para una gran variedad de espesores, en general mayores de 2 mm.



- Es aplicable a la mayoría de los metales y aleaciones de uso normal. (Labrador, 2018)

#### **b) Limitaciones**

- Es un proceso lento, por la baja tasa de deposición y por la necesidad de retirarla escoria, por lo que en determinadas aplicaciones ha sido desplazado por otros procesos.
- Requiere gran habilidad por parte del soldador
- No es aplicable a metales de bajo punto de fusión como plomo, estaño y cinc, debido a que el intenso calor del arco es excesivo para ellos. Tampoco es aplicable a metales de alta sensibilidad a la oxidación como el titanio, zirconio, tántalo y niobio, ya que la protección que proporciona es insuficiente para evitar la contaminación por oxígeno de la soldadura.
- No es aplicable a espesores inferiores a 1.5 – 2 mm.
- La tasa de deposición es inferior a la obtenida por los procesos que utilizan electrodo continuo, como el soldeo con alambre tubular o soldeo MIG / MAG. Esto se debe a que el electrodo solo puede consumirse hasta una longitud mínima (unos 5 cm), cuando se llega a dicha longitud el soldador tiene que retirar la colilla del electrodo no consumida e insertar un nuevo electrodo.
- Aunque en teoría se puede soldar cualquier espesor por encima de 1.5 mm, el proceso no resulta productivo para espesores mayores de 38 mm. (Labrador, 2018)

#### **2.2.6.3. Variables de soldeo del proceso.**

##### **a) Diámetro del electrodo**

Se debe seleccionar el mayor diámetro posible que asegure los requisitos de aporte térmico y que permita su fácil utilización, en función de la posición, el espesor del material y el tipo de unión, que son los parámetros de los que depende la selección del diámetro del electrodo.

Los electrodos de mayor diámetro se seleccionan para el soldeo de materiales de gran espesor y para el soldeo en posición plana, debido a sus altas tasas de deposición. En el soldeo en posición cornisa, vertical y bajo techo el baño de fusión tiende a caer por efecto de la gravedad, este efecto es tanto más acusado, y tanto más difícil de mantener el baño en su sitio, cuanto mayor es el volumen de éste, es decir cuanto mayor es el diámetro del electrodo, por lo que en estas posiciones convendrá utilizar electrodos de menor diámetro. Asimismo, en el soldeo con pasadas múltiples el cordón de raíz conviene efectuarlo con un electrodo de pequeño diámetro, para conseguir el mayor acercamiento posible del arco al fondo de la unión y asegurar una buena penetración, se utilizarán electrodos de mayor diámetro para completar la unión. El aporte térmico depende, directamente de la intensidad, tensión del arco y velocidad de desplazamiento, parámetros dependientes del diámetro del electrodo; siendo mayor cuanto mayor es el diámetro del mismo, en las aplicaciones o materiales donde se requiera que el aporte térmico sea bajo se deberán utilizar electrodos de pequeño diámetro. (Asociación española de soldadura y tecnologías de unión. (BFMéxico. , 2022)

#### **b) Intensidad de corriente eléctrica para el soldeo**

Cada electrodo, en función de su diámetro, posee un rango de intensidades en el que puede utilizarse, en ningún caso se deben utilizar intensidades por encima de ese rango ya que se producirían mordeduras, proyecciones, intensificación de los efectos del sopleo magnético e incluso grietas. (BFMéxico. , 2022)

#### **c) Longitud de arco**

La longitud del arco a utilizar depende del tipo de electrodo, su diámetro, la posición de soldeo y la intensidad. En general, debe ser igual al diámetro del electrodo, excepto cuando se emplee el electrodo de tipo básico, que deberá ser igual a la mitad de su diámetro. Si la velocidad

es excesiva se producen mordeduras, se dificulta la retirada de la escoria y se favorece el atrapamiento de gases (produciéndose poros).

Según se va aumentando la velocidad de soldeo, el cordón se va haciendo más estrecho y va aumentando la penetración hasta un cierto punto a partir del cual aumentos en la velocidad traen como consecuencia una disminución de la penetración, debido a que el calor introducido no es suficiente para conseguir una mayor penetración.

Con una baja velocidad el cordón será ancho y convexo y poca penetración, debido a que el arco reside demasiado tiempo sobre el metal depositado, (efecto “colchón”), en vez de concentrarse sobre el metal base. Esto último también afecta a la dilución, y cuando deseamos que esta sea baja, como por ejemplo durante el recargue por electrodo revestido, la velocidad debe ser baja. Así mismo, recordar que la velocidad de soldeo afecta al calor suministrando a la unión por medio de velocidad de enfriamiento y por lo tanto a su estructura metalúrgica final y como consecuencia directa a sus propiedades mecánicas finales (carga, rotura, impacto y durezas). (BFMéxico. , 2022)

#### **d) Velocidad de desplazamiento**

Durante el proceso de soldadura, es necesario ajustar la velocidad de desplazamiento para que el arco avance ligeramente por delante del baño de fusión. (BFMéxico. , 2022)

#### **e) Tipo de corriente**

El soldeo por arco con electrodos revestidos se realiza con corriente alterna como con corriente continua, la elección dependerá del tipo de energía disponible, del electrodo a utilizar y del material base. En la tabla 7, se muestra una comparación de tipo de corriente.

**Tabla 7**

*Comparación entre corriente continua y corriente alterna.*

Parámetro	Corriente Continua	Corriente Alterna
Soldeo a gran distancia de la energía		Preferible
Soldeo con electrodos de pequeño diámetro que requieren bajas intensidades de soldeo.	La operación resulta más fácil.	Si no se actúa con gran precaución se puede deteriorar el material debido a la dificultad de encendido de arco.
Cebado del arco	Resulta más fácil	Más difícil en especial cuando se emplean electrodos de pequeño diámetro.
Mantenimiento del arco	Más fácil por la mayor estabilidad.	Más difícil, excepto cuando se emplean electrodos de gran rendimiento.
Soplo magnético	Puede resultar un problema en el soldeo de materiales ferromagnéticos.	No se presentan problemas.
Posiciones de soldeo	Se prefiere en el soldeo en posiciones verticales y bajo techo por que deben utilizarse intensidades bajas.	Si se utilizan los electrodos adecuados, se pueden realizar soldaduras en cualquier posición.
Tipo de electrodo	Se puede emplear con cualquier tipo de electrodo.	No se puede utilizar con todos los electrodos. El revestimiento debe contener sustancias que restablezcan el arco.
Espesor de la pinza	Se prefiere para espesores delgados.	Se prefiere espesores gruesos ya que se puede utilizar un electrodo de mayor diámetro y mayor intensidad, con lo que se consiguen mayores rendimientos.

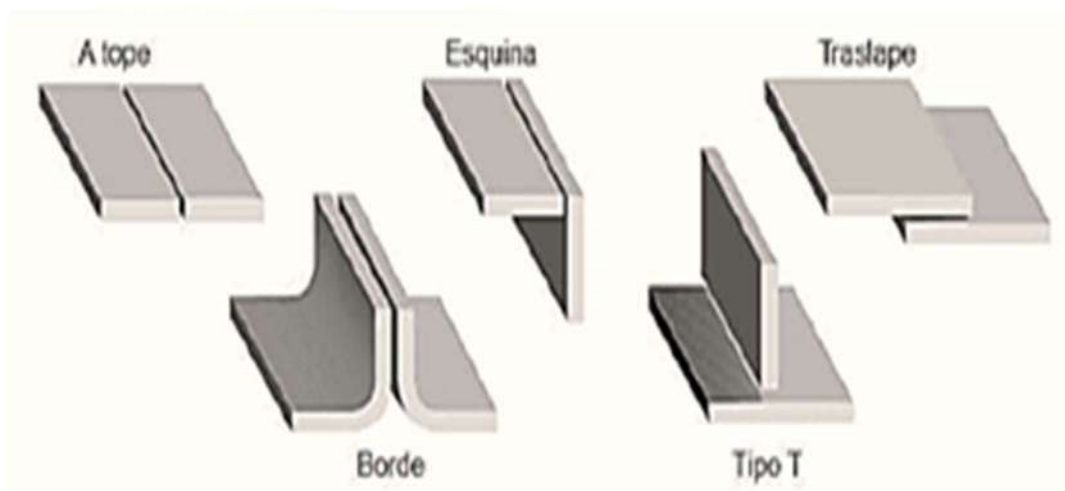
*Nota.* Tabla recopilada de (Asociación Española de Soldadura Tecnologías de unión CESOL, 2020)

### **2.2.7. Tipos de Junta**

Cuando las piezas de acero son llevadas a la forma de junta, ellas pueden asumir una de las cinco configuraciones presentadas en la Figura 9. Los tipos de juntas son las posiciones relativas de los materiales que van a ser unidos y no implica un tipo específico de soldadura.

## Figura 9

*Tipos de junta.*



*Nota.* Adaptado de (ANSI/AWS D11, 2000)

### 2.2.8. Posiciones de Soldadura

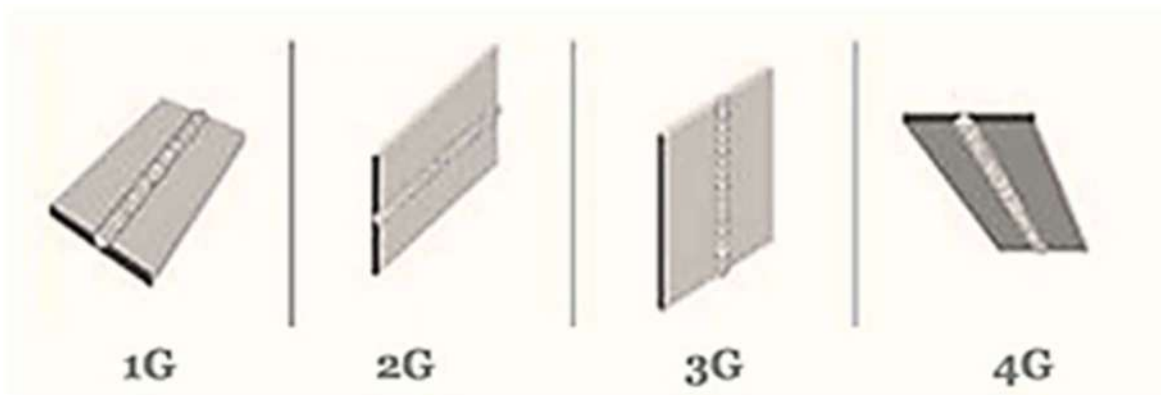
#### 2.2.8.1. Posiciones para pletina.

En la Figura 10 se observa las posiciones para la soldabilidad de pletinas, estas posiciones son:

- Posición Plana, 1G. Pletinas en posición horizontal con el metal de soldadura depositado por arriba.
- Posición Horizontal, 2G. Pletinas en plano vertical con el eje de la soldadura horizontal.
- Posición Vertical, 3G. Pletina en plano vertical con el eje de la soldadura vertical.
- Posición sobre cabeza (de techo), 4G. Pletina en plano horizontal con el metal de soldadura depositado por debajo.

**Figura 10**

*Posiciones de soldadura para pletina.*



*Nota.* Adatado de (ANSI/AWS D11, 2000)

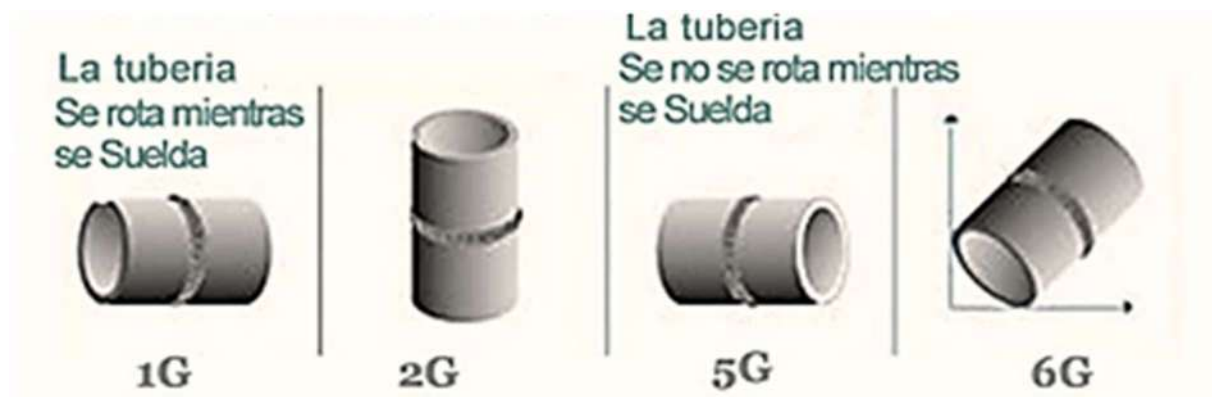
### **2.2.8.2. Posiciones para tubería.**

Las posiciones para la soldadura de tubos se muestran en la Figura 11.

- Posición plana, 1G. Tubos con su eje horizontal y girados durante la soldadura, de tal manera que el metal de soldadura es depositado por encima.
- Posición horizontal, 2G. Tubos con su eje vertical y el eje de la soldadura en un plano horizontal. Los tubos no son rotados durante la soldadura.
- Posición múltiple, 5G. Tubos con su eje horizontal y con la soldadura de ranura en un plano vertical. La soldadura es realizada sin rotar el tubo.
- Posición múltiple, 6G. Tubos con su eje inclinado a 45° con relación a la horizontal. La soldadura es aplicada sin rotar el tubo.

**Figura 11**

*Posiciones de soldadura para tubos.*



*Nota.* Adaptado de (ANSI/AWS D11, 2000)

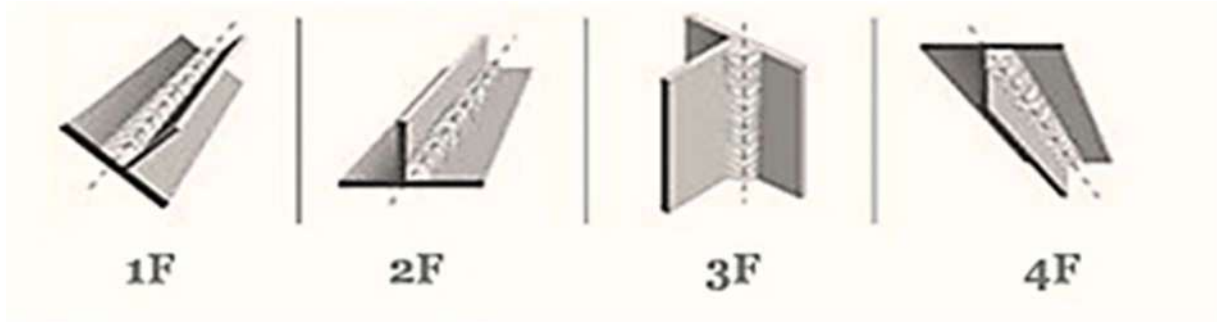
### **2.2.8.3. Posiciones para filete en uniones en T.**

Las posiciones para la soldadura de tubos, se muestran en la Figura 12.

- Posición plana, 1F. Pletinas así ubicadas en donde la soldadura es depositada en su eje horizontal y la garganta de la soldadura es vertical.
- Posición horizontal, 2F. Pletinas así ubicadas en donde la soldadura es depositada en su eje horizontal sobre el lado superior de la superficie horizontal y contra la superficie vertical.
- Posición vertical, 3F. Pletinas así ubicadas en donde la soldadura es depositada en su eje vertical.
- Posición sobre cabeza, 4F. Pletinas así ubicadas, donde la soldadura es depositada en su eje horizontal por debajo de la superficie horizontal.

**Figura 12**

*Posiciones de soldadura para filetes de uniones en T.*



*Nota:* Adaptado de (ANSI/AWS D11, 2000)

### **2.2.9. Cálculo del Aporte de Calor (heat input)**

El aporte de calor es la energía que se genera durante la soldadura. Puede ser de origen químico, eléctrico o mecánico.

“El aporte de calor se expresa normalmente en términos de Joule por milímetro de soldadura” (BFMéxico. , 2022)

Se define como se muestra en la ecuación (1).

$$H_{net} = \frac{V \times I}{v} f \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

$H_{net}$  = Calor neto suministrado (joule/milímetro)

$I$  = Amperaje (amp)

$E$  = Voltios (Volt)

$S$  = Velocidad de la traslación de la Nota de calor en milímetro/segundo.

$f$  = eficiencia térmica



- exposición a elevada temperatura. (BF Mexico, 2022)

### 2.2.10. Cálculo de la Velocidad de Enfriamiento

Para expresar la velocidad de enfriamiento durante un ciclo térmico de soldadura se usó el parámetro conocido como  $t_{8/5}$ . Es el tiempo de enfriamiento de una curva en el intervalo entre 800° y 500°C la cual es el rango de temperatura las que define la posibilidad de tener microestructuras frágiles en el acero a temperatura ambiente. La ecuación con que se calcula se muestra en la ecuación 2. (Fosca, 2003)

$$t_{8/5} = \frac{1}{2\pi k} H_{net} \left[ \frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0} \right] F3 \quad Ec. 2$$

Donde:

$F3 = 0.85$  según el grado de embridamiento.

$K =$  Conductividad Térmica del acero (0.28 J/mm.s.°C)

$K =$  Conductividad térmica del acero (J/s.cm.°C)

La velocidad de enfriamiento también está en función del espesor de la plancha y de las propiedades físicas del material.

Para planchas gruesas:

$$t_{8/5} = \frac{1}{2\pi k} H_{net} \left( \frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0} + \frac{1}{800 - T_0} \right) \quad Ec. (3)$$

Para planchas delgadas:

$$t_{8/5} = \frac{1}{2\pi k \rho \cdot C} H_{net} 2 \frac{1}{t^2} \left( \frac{1}{500 - T_0} \right)^2 - \left( \frac{1}{800 - T_0} \right)^2 \quad Ec. (4)$$

Si  $t > t_c$ , se aplica la fórmula para chapas gruesas.

Si  $t < t_c$ , se aplica la fórmula para chapas delgadas.

### ***2.2.11. Carbono Equivalente***

Según la A.W.S, el calor de soldadura causa cambios en la microestructura y propiedades mecánicas en la región calentada del acero que es definida como la zona afectada por el calor. En la mayoría de los casos, estos cambios están asociados al contenido de carbono presente en los aceros, y a las velocidades de calentamiento y enfriamiento a las que estos son sometidos durante la soldadura. Pues, de estas variables depende esencialmente la formación de martensita en el metal depositado o en la ZAC. Esta transformación martensítica resulta en un incremento de la dureza en las áreas mencionadas, originando en muchos casos agrietamiento si el metal no puede soportar los esfuerzos producidos.

Por otra parte, el carbono es el elemento de aleación con mayor efecto sobre la sensibilidad al agrietamiento por hidrogeno, ya que esta se incrementa con el aumento del contenido de carbono en los aceros.

Por estas razones, la medición del contenido de carbono es una de las consideraciones más importantes a tomar para determinar la soldabilidad de los aceros al carbono. Sin embargo, aunque este es el elemento de aleación que influye en mayor grado la soldabilidad, los efectos de otros elementos pueden ser estimados al compararse el contenido de estos con una cantidad equivalente de carbono. Así, los efectos del contenido de aleación total pueden ser expresados en función de un Carbono Equivalente (CE). Este valor puede ser obtenido usando la siguiente formula recomendada por la American Welding Society: (American Welding Society RI., 2009)

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

Generalmente, los aceros con bajos valores de carbono equivalente (0,2 a 0,3), tienen una excelente soldabilidad. Sin embargo, la susceptibilidad al agrietamiento por hidrogeno se incrementa cuando el Carbono Equivalente excede el valor de 0.40.

José Balbino león (2011), relaciona la sensibilidad del agrietamiento por hidrogeno de los aceros al carbono con su valor de CE, dando en función de esté algunas recomendaciones para su soldadura. Esto se muestra resumido en la tabla 8.

**Tabla 8**

*Relación del carbono equivalente con el agrietamiento por hidrogeno.*

Valor del carbono equivalente	Sensibilidad al agrietamiento por hidrogeno	Procedimiento (Pre calentamiento y temperatura entre pases)
Menor que 0.40	Muy pequeña	Total, soldabilidad (no precalentar)
0.40-0.60	Moderada	Pre calentamiento a 120°C. Se recomienda usar sistemas de bajo hidrógeno
Mayor que 0.60	Alta	Pre calentamiento a 120-220°C. Indispensable usar sistemas de bajo hidrógeno

*Nota.* Tabla adaptada de (José Balbino león, 2011)

Por otro lado, según el código de soldadura estructural ANSI/ AWS D1.1 los aceros también se pueden clasificar de acuerdo a su posicionamiento en el diagrama de Graville.

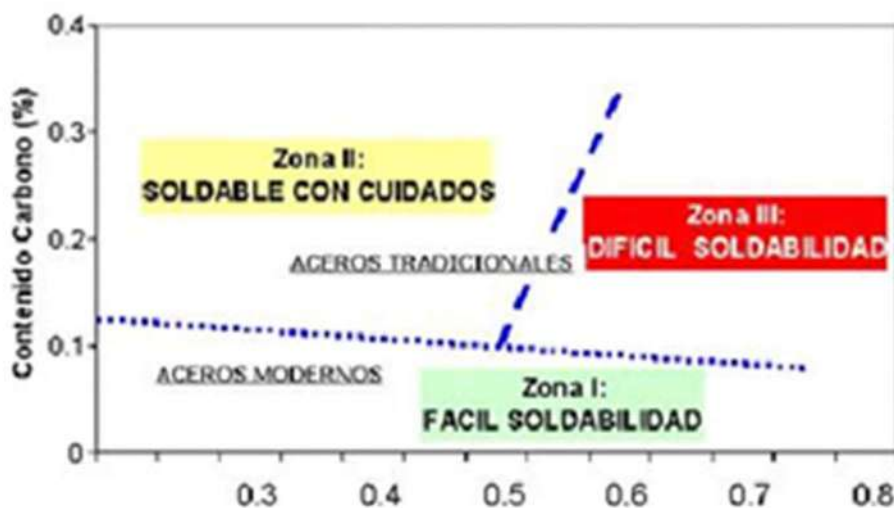
### 2.2.12. Utilización del Diagrama de Graville para Evaluar la Soldabilidad de los Aceros

El diagrama de Graville (ver figura 13), resulta una herramienta útil para evaluar la soldabilidad de los aceros. El valor del CE (%) va a medir la susceptibilidad a la fisuración en frío del metal base en la zona afectada por el calor (ZAC) debido a la soldadura. A mayores %C va a significar un aumento del riesgo que se produzca una fisuración en frío.

Otra información a extraer del diagrama de Graville es la posibilidad de comprobar la necesidad de tener que realizar algún tipo de precalentamiento o tratamiento térmico post-soldadura basada en la composición química (no considera espesor), dado que en la misma gráfica se indica la relación entre %Carbono y el CE% del metal base.

**Figura 13**

*Zonas que indica los grados de soldabilidad.*



*Nota.* Figura adaptada de (ANSI/AWS D11, 2000)

- a. Si el acero cae en la zona 1: El riesgo de fisuración es casi improbable, pudiendo ocurrir solamente en caso de que haya presencia de alto % hidrogeno dentro del cordón de soldadura o que se haya soldado empleando un montaje muy rígido (fuertemente embridado) que impida la deformación y que, por lo tanto, genere tensiones residuales elevadas.

Vemos que esta zona corresponde a aceros con  $\%C < 0,1$  sin restricción del CE. Para estas aleaciones, la dureza de la martensita no es muy elevada y admite cierto nivel de tenacidad. Por ello, el riesgo de fisuración por estructuras frágiles es prácticamente inexistente.

b. Si el acero cae en la zona 2:

Se puede emplear el método de control de la dureza en la ZAC para determinar el calor de aporte mínima en soldaduras de filete de una sola pasada sin precalentamiento.  Si el aporte de calor no resulta de mucha utilidad práctica, se puede emplear el método del hidrogeno para calcular la temperatura de precalentamiento.  Para uniones soldadas a tope, se debe emplear el método de hidrogeno para determinar el precalentamiento. Para aceros con alto  $\%C$ , se debe emplear tanto el método del control de dureza para determinar el aporte de calor mínima con el método de hidrogeno para determinar la temperatura de precalentamiento, ya sean uniones soldadas a tope o en filete.

c. Si el acero cae en la zona 3:

Se debe emplear el método de hidrogeno para calcular la temperatura de precalentamiento, especialmente en situaciones en las que el calor de aporte debe ser restringido para preservar la propiedad mecánica de la ZAC (por ejemplo, en aceros templados y revenidos). Esta zona corresponde a aceros con alto  $\%C$  y alto CE, es decir, son precisamente los aceros con más dificultad para soldar por su elevada tendencia a la fisuración en frio. (ANSI/AWS D1.1. 2000)

### ***2.2.13. Temperatura de Precalentamiento (método de Seferian)***

La velocidad de enfriamiento tiene un efecto sobre la microestructura de la ZAC, esta velocidad depende de varios factores, entre los cuales podemos citar: velocidad de enfriamiento (esta velocidad depende de los espesores del material base), la geometría de la unión, el calor neto aportado y la temperatura de precalentamiento. (Seferian, 1984)

Para el cálculo de la temperatura de precalentamiento se usó el método de SEFERIAN.

Seferian propone la ecuación 6:

$$T_p = 350 \sqrt{Ct - 0.25} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

$$Ct = Cq + Ce \quad (\text{Ec. 7})$$

$$Cq = C + (Mn + Cr)/9 + Ni/18 + Mo/13 \quad (\text{Ec. 8})$$

$$Ce = 0.005 \times e(\text{mm}) \times Ce$$

Donde:

$Ct$  = Equivalente total del carbono

$Cq$  = Equivalente químico

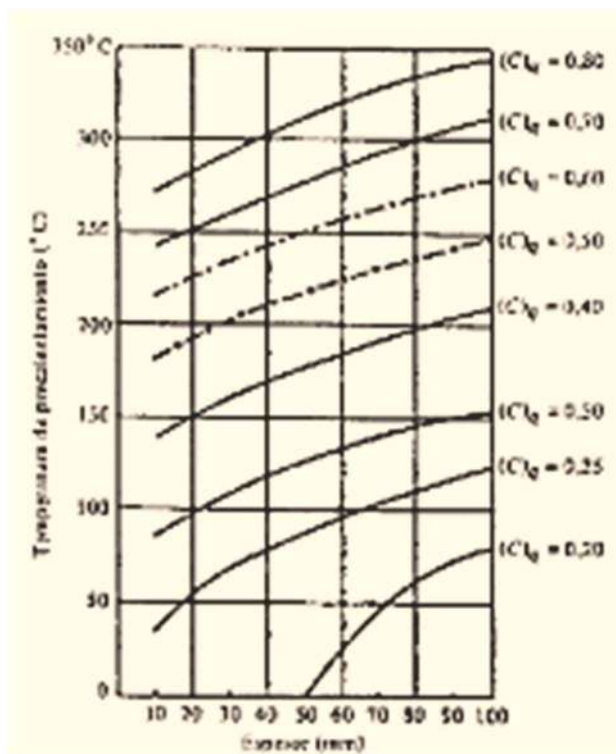
$Ce$  = Equivalente en carbono del espesor.

$e$  = espesor del material.

Seferian, (1984), determina gráficamente la temperatura de precalentamiento como se muestra en la figura 14.

**Figura 14**

*Monograma de temperatura de precalentamiento.*



*Nota.* Como puede observarse Seferian no tiene en cuenta la energía neta aportada en el proceso de soldadura y por esta razón, las temperaturas resultantes son superiores a las realmente necesarias en aproximadamente 25 a 50 °C

Figura adaptada de (ANSI/AWS D11, 2000)

### **2.2.14. Ensayos Destructivos y no Destructivos**

#### **a) Ensayos destructivos**

Este tipo de ensayos se caracteriza porque destruye la pieza soldada. Para examinar la estructura interna del metal base y metal aportado es necesario obtener probetas de la soldadura para determinar las propiedades mecánicas de la junta o de sus diferentes partes. (Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía, 2011)

Ensayos mecánicos, son utilizados principalmente para el control de los materiales de base y de los metales de aportación; mediante estos ensayos se determina los valores de resistencia a la tracción, del límite, elástico y el alargamiento de los metales. Los ensayos mecánicos más usados, son:

- Ensayos de tensión.
- Ensayos de dureza en la soldadura o en sus proximidades.
- Ensayos volumétricos (de doblado o doblez)
- Ensayos de resistencia (energía de rotura por choque, de una probeta entallada).
- Ensayos volumétricos

Este grupo de ensayos es diseñado para ayudar en la determinación de la sanidad de un metal, o si está libre de imperfecciones. Los ensayos volumétricos son usados rutinariamente para la calificación de procedimientos de soldadura y de soldadores. Después de que una chapa de ensayo haya sido soldada, las probetas son removidas y sometidas al ensayo volumétrico para determinar si el metal de soldadura contiene alguna imperfección o defecto.

- **Ensayo de dureza**

La dureza se define como la resistencia que ofrece un material a ser rayado o penetrado por otro. También se valora en función de la altura del rebote de un cuerpo al caer sobre la superficie del material ensayado.

“Los ensayos de dureza tienen carácter estático, son fáciles de efectuar y se realizan con rapidez, sin deteriorar la pieza que se ensaya. En la práctica industrial tiene una gran aplicación los siguientes métodos de medir la dureza”. (ASTM International. , 2017)

Para el caso nuestro, la dureza se calculará con el método Brinell (dureza Brinell)



- *Prueba de dureza brinell*

Se entiende por dureza la propiedad de la capa superficial de un material de resistir la deformación elástica, plástica y destrucción, en presencia de esfuerzos de contacto locales inferidos por otro cuerpo, más duro, el cual no sufre deformaciones residuales (indentador ó penetrador), de determinada forma y dimensiones.

Para la presente investigación se usó el método de dureza Brinell, se define la dureza Brinell como un método de ensayo por indentación por el cual, con el uso de una máquina calibrada, se fuerza una bola endurecida, bajo condiciones específicas, contra la superficie del material a ensayar y se mide el diámetro de la impresión resultante luego de remover la carga. En la figura 15, se puede observar la nomenclatura o los símbolos de la dureza Brinell. (Ingemecánica. , 2022)

**Figura 15**

*Símbolos que describen la dureza Brinell.*



*Nota.* 1° Se muestra que el indentador ejerce una fuerza  $F$  sobre el material que se quiere medir su dureza. 2° Se retira el indentador y se mide la huella dejada sobre el material ensayado. Figura adaptada de (Rodríguez, s. f.)

Para el cálculo de la dureza brinell, se usó como indentador una bola de acero de 10 mm de diámetro.

El cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

D = Diámetro de la bola en mm,

F = Carga aplicada en kgf.

d = diámetro medio de la indentación en mm.

- **Ensayo de doblado**

El ensayo de doblado, puede ser realizado de diferentes formas. Es, probablemente, el ensayo más usado para juzgar la calificación adecuada de un soldador en una probeta de ensayo. Los diferentes tipos de ensayos de doblado son generalmente nombrados de acuerdo al tipo de orientación de la soldadura respecto a la acción de doblado. Hay tres tipos de ensayos de doblado de soldadura transversales: Cara, raíz y lateral. Con estos tres tipos, la soldadura reposa a lo largo del eje longitudinal de la probeta. Esto implica que las superficies de soldadura son estiradas en un doblado de cara, la raíz de la soldadura es estirada en un plegado de raíz y el lateral de una sección transversal de una soldadura es estirado en un plegado lateral.

“Los ensayos de doblado son generalmente realizados usando algún tipo de guía de doblado. Hay tres tipos básicos: doblado guiado, doblado guiado con equipo de rolado y doblado guiado por enrollado”. (Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía, 2011)

- **Ensayo nick-breck**

Este ensayo también denominado como ensayo de rotura por entalla o ensayo de entalladura, es usado exclusivamente por el código API 1104, que se utiliza principalmente en la industria petrolera para la calificación de los procedimientos y soldadura de tuberías de conducción. Este método evalúa la sanidad de la soldadura, mediante la posible presencia de

discontinuidades en la superficie de fractura del espécimen ensayado. Esta prueba revela defectos internos (si está presente), tales como inclusiones de escorias, bolsas de gas, falta de fusión. (Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía, 2011)

- **Ensayo de desgarre de filete**

Este ensayo se utiliza principalmente en la calificación de soldaduras. Con la aplicación de este ensayo se verifica que la soldadura muestre una apariencia superficial satisfactoria. Con este ensayo se asegura que la soldadura presenta fusión en la raíz. (Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía, 2011)

- b) Ensayos no destructivos**

Los ensayos no destructivos (END) generalmente son empleados para detectar y/o localizar defectos superficiales o de volumen en los materiales o productos. Se aplican antes, durante o después del proceso de fabricación y no dañan ni dejan ninguna huella sobre el material ensayado. Los métodos de END más utilizados para detección de fallas en soldadura son:

- Inspección Visual
- Líquidos Penetrantes
- Partículas magnéticas
- Radiografía
- Ultrasonido

Para el presente trabajo se ha aplicado la inspección visual y líquidos penetrantes.

- **Inspección Visual**

Es el primer ensayo no destructivo que se debe realizar. Es el método más empleado dentro de los END para detectar discontinuidades en la superficie debido a que es el más fácil de aplicar, es rápido y de costo relativamente

- **Líquidos Penetrantes (LP)**

Es un ensayo que se realiza sobre piezas para detectar discontinuidades superficiales, básicamente en materiales no porosos. Los LP ingresan por pequeñas aberturas, tales como fisuras o porosidades por una fuerte acción capilar, pudiéndose emplearse en superficies verticales y en posición de sobrecabeza. La aplicación de este tipo de ensayo normalmente se realiza en aceros y en materiales no magnéticos como aluminio, magnesio, aceros inoxidable (austeníticos), cobres, bronces, latones, etc.

- *Descripción de los líquidos penetrantes*

1. Líquidos Penetrantes: Compuestos químicos con alta capacidad de fluir y penetrar en pequeñas fisuras, grietas o porosidades en la superficie de los materiales. Pueden ser penetrantes fluorescentes o visibles, dependiendo de si requieren una inspección con luz ultravioleta para resaltar los defectos.
2. Limpiador o Desengrasante: Un agente de limpieza para eliminar cualquier contaminante superficial, como aceites, grasa, pintura u óxido, que podría interferir con la detección precisa de defectos.
3. Revelador: Un polvo o aerosol que se aplica después del líquido penetrante. Su función es absorber el líquido que ha penetrado en las grietas, haciéndolas visibles y creando contrastes para resaltar los defectos.
4. Removedor o Limpiador Final: Un agente para eliminar el exceso de revelador y residuos del líquido penetrante, dejando la superficie lista para su evaluación final o para ser utilizada.

- *Procedimiento de ensayo por líquidos penetrantes*

- a. Primero se limpia la superficie que se quiere inspeccionar retirando óxidos, pinturas, grasas, etc., con ayuda de una escobilla de acero (preferentemente acero inoxidable) y aplicación de solventes.
- b. Luego se aplica el líquido penetrante (LP) y se espera unos 10 minutos para que el LP penetre en las discontinuidades.
- c. Se retira el LP sobrante de la superficie que no ha penetrado en las discontinuidades.
- d. Luego se aplica el revelador, que es una especie de talco en suspensión y actúa como si fuera una esponja.
- e. La inspección se realiza mediante el ojo humano con luz visible (LP rojo) o con ayuda de una lámpara de luz ultravioleta, conocida también como lámpara de luz negra, en el caso de emplear LP fluorescentes (de color verde).
- f. Finalmente se realiza la limpieza.

- *Características del Líquidos penetrantes*

La principal característica del LP es el de poder penetrar en el interior de las discontinuidades fácilmente, para ello debe presentar máximo poder humectante (puede quedar reducido en presencia de grasa) y mínima tensión superficial, ambos determinan la capacidad de penetración de un LP. Por otro lado, debe presentar mínima viscosidad, pues influye decisivamente sobre la velocidad (tiempo) de entrada del LP en las discontinuidades. Esto puede ser un poco negativo en superficies verticales. Las superficies verticales requieren mayor viscosidad que las horizontales.

### **2.2.15. Las Discontinuidades en Soldadura**

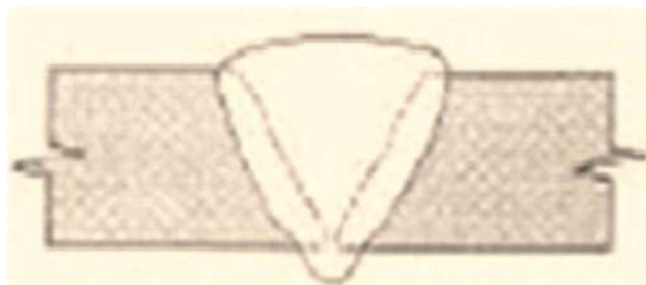
“En soldadura, las discontinuidades se clasifican en: superficiales e internas” (Bravo Calvo, 2022)

### 2.2.15.1. Discontinuidades superficiales.

- a) **Exceso de penetración:** Se produce por efecto de un movimiento que causa la penetración del electrodo dentro de los biseles, los cuales son distribuidos en esas áreas. Causa que el material chorree al interior y puede retener escoria o no en su interior. Este defecto puede producir en soldadura de gaseoductos, desgaste por erosión. figura 16. (Bravo Calvo, 2022)

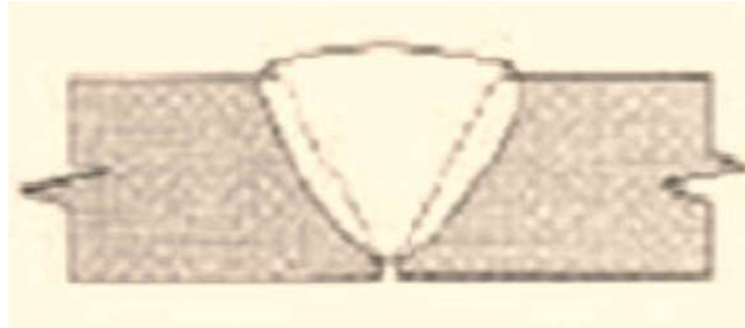
#### Figura 16

*Exceso de penetración.*



*Nota.* La imagen radiográfica da una densidad más clara en el centro del ancho de la imagen, ya sea extendida a lo largo de la soldadura o en gotas circulares aisladas, pudiendo presentar en su interior una mancha deforme negra

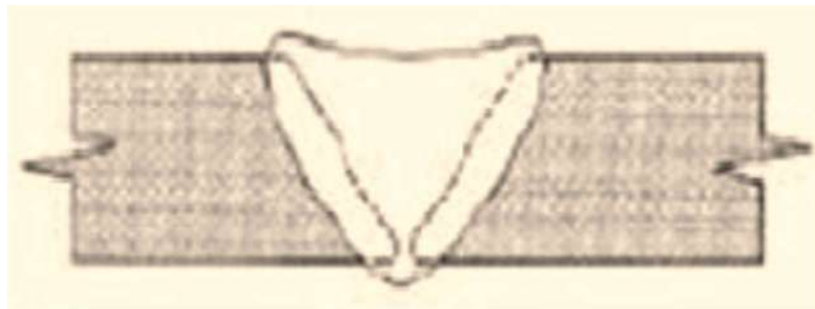
- b) **Falta de penetración:** Como en las uniones en U o en V son visibles por la cara posterior, esta imperfección puede considerarse superficial. A menudo la raíz de la soldadura no quedará adecuadamente rellena con metal dejando un vacío que aparecerá en la radiografía como una línea negra oscura firmemente marcada, gruesa y negra, continua o intermitente reemplazando el cordón de la primera pasada. Puede ser debida a una separación excesivamente pequeña de la raíz, a un electrodo demasiado grueso, a una corriente de soldadura insuficiente, a una velocidad excesiva de pasada, penetración incorrecta en la ranura. Ver figura 17. (Bravo Calvo, 2022)

**Figura 17***Falta de penetración.*

*Nota.* Este defecto por lo general no es aceptable y requiere la eliminación del cordón de soldadura anterior y repetición del proceso

c) **Concavidades.** Estas discontinuidades se presentan de dos tipos:

**Concavidad externa o falta de relleno:** presenta una disminución de refuerzo externo, por poco depósito de material de aporte en el relleno del cordón. Ver figura 18. (Bravo Calvo, 2022)

**Figura 18***Concavidad externa.*

*Nota.* La imagen radiográfica muestra una densidad de la soldadura más oscura que la densidad de las piezas a soldarse, la cual se extiende a través del ancho completo de la imagen.

**Concavidad interna:** Insuficiente refuerzo interno de la soldadura en su cordón de primera pasada el cual al enfriarse disminuye su espesor pasando a ser menor que el del material base.

d) **Socavaduras o mordeduras de borde:**

Causas y corrección

1. Exceso de calor - Corrija el amperaje de su maquina
2. Electrodo inadecuado - Cambie el electrodo
3. Manipulación incorrecta - Mejore el movimiento manual
4. Arco muy intenso - Corrija el arco
5. Velocidad inadecuada - Mejore la velocidad y corrija el movimiento del electrodo

### Figura 19

*Socavaduras o mordeduras de borde.*

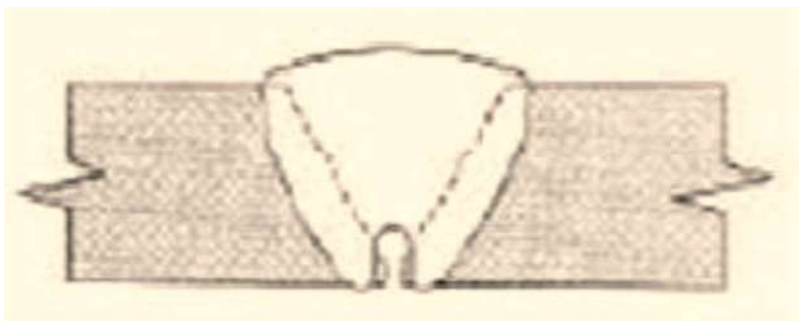


*Nota.* La socavadura es una ranura fundida en el metal base, adyacente a la raíz de una soldadura o a la sobre monta, que no ha sido llenada por el metal de soldadura figura 19. (Echevarria, 2002)

- e) **Quemado:** Es una zona de la pasada de raíz donde la penetración excesiva ha causado que el aporte de la soldadura penetre dentro de la misma sopládose. Ver figura 20. (Echevarria, 2002)

### Figura 20

*Quemado.*



*Nota.* Resulta de factores que producen excesivo calor en un área determinada, tales como: excesiva corriente, velocidad lenta del electrodo, manejo incorrecto del electrodo. Hay destrucción completa de los biseles. Esta discontinuidad. Figura adaptada de (Echevarria, 2002)



- f) Salpicaduras:** Son imperfecciones consistentes en esferuelas de metal fundido depositadas aleatoriamente sobre el cordón y su vecindad. Ver figura 21 se observa esta discontinuidad. (Echevarria, 2002)

**Figura 21**

*Salpicaduras de metal.*

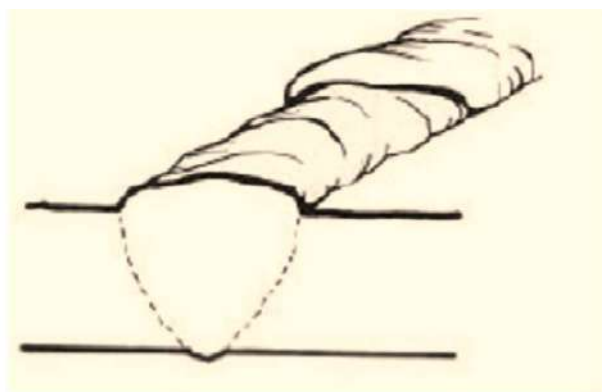


*Nota.* Pueden ser provocadas por humedad en el revestimiento del electrodo. Figura adaptada de (Echevarria, 2002)

- g) Falta de continuidad del cordón:** Se origina al interrumpir el soldador el cordón y no empalmar bien la reanudación del trabajo. Su severidad es muy variable ya que, en los casos más severos, pueden considerarse auténticas faltas de fusión transversales, en tanto que, en otras ocasiones, son simples surcos normales al eje del cordón. ver figura 22. (Echevarria, 2002)

**Figura 22**

*Falta de continuidad del cordón.*



*Nota.* Su aspecto radiográfico es el de una línea oscura u oblicua, relativamente nítida. Figura adaptada de (Echevarria, 2002)

### 2.2.15.2. Discontinuidades internas.

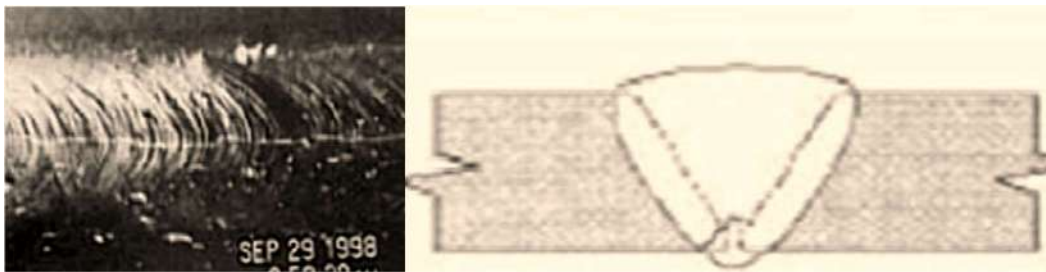
Pueden clasificarse en:

#### a) Fisuras longitudinales

Esta discontinuidad se observa en la figura 23. (Echevarria, 2002)

### Figura 23

*Fisuras longitudinales.*



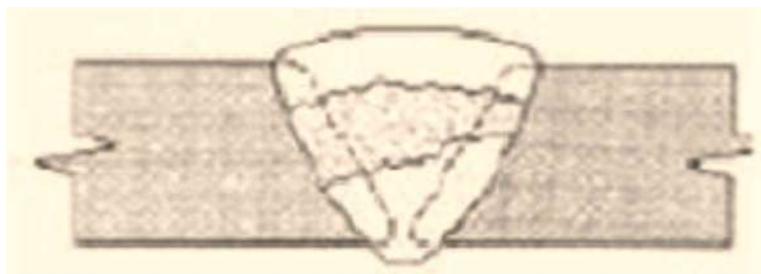
*Nota.* Pueden producirse en el centro del cordón (generalmente por movimientos durante o posteriores a la soldadura) o en la interfase del material base con el de aporte (por causa de un enfriamiento brusco o falta de un correcto precalentamiento en grandes espesores). Figura adaptada de (Echevarria, 2002)

#### b) Fisuras transversales

Producidas generalmente en aceros duros, por combinación de elementos que al enfriarse a la temperatura normal producen la fisura que puede o no prolongarse al metal base figura 24. (Echevarria, 2002)

### Figura 24

*Fisuras transversales.*



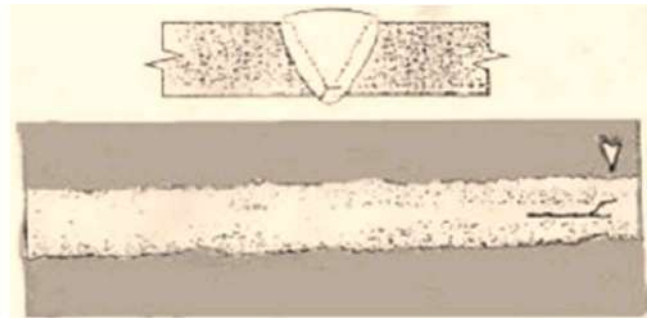
*Nota.* Pueden producirse por combinación de elementos que al enfriarse a la temperatura normal producen la fisura. Figura adaptada de (Echevarria, 2002)

**c) Fisura de interrupción o arranque (o de cráter)**

Ver figura 25.

**Figura 25**

*Fisura de interrupción*



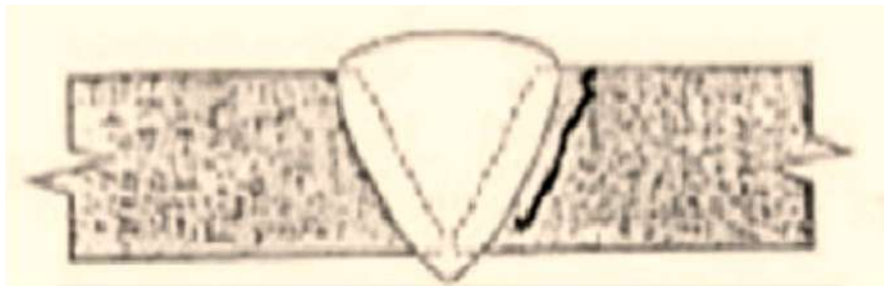
*Nota.* En el arranque de la soldadura por cambio de electrodo pueden producirse fisuras en forma de estrella por efecto del brusco enfriamiento y recalentamiento del material (son fisuras en caliente). Figura adaptada de (Echevarria, 2002)

**d) Fisuras alrededor del cordón (ZAC)**

Ver figura 26.

**Figura 26**

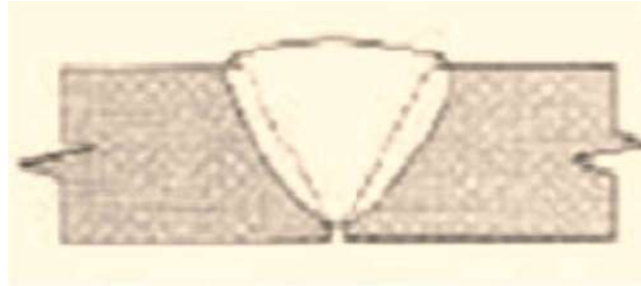
*Fisuras en la zona afectada por el calor.*



*Nota.* Fisuras en frío: Se produce por la falta de precalentamiento (crítica para ciertos tipos de aceros), en aceros duros (estructura martensítica en ZAC como resultado del ciclo térmico de soldadura) o de mucho espesor, figura 26 (Echevarria, 2002)

**e) Falta de penetración**

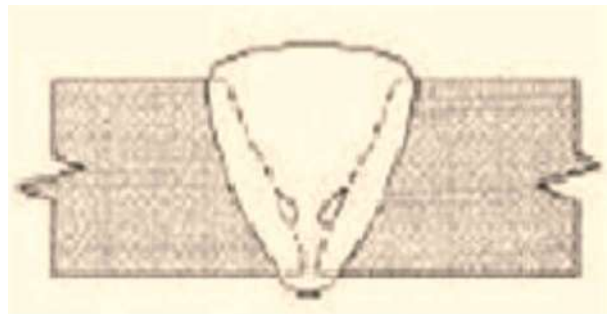
Ver figura 27.

**Figura 27***Falta de penetración.*

*Nota.* Se da en la zona de raíz cuando no ha penetrado el metal fundido. Si la unión es en X o en K, la raíz queda en corazón mismo del cordón, siendo la falta del metal de aporte en dicha zona rigurosamente interna, figura 27. (Echevarria, 2002)

**f) Falta de fusión**

Ver figura 28.

**Figura 28***Falta de fusión.*

*Nota.* Generalmente ocasionada por falta de temperatura suficiente para fundir el metal base o el cordón anterior ya sólido, figura 28. (Bravo Calvo, 2022)

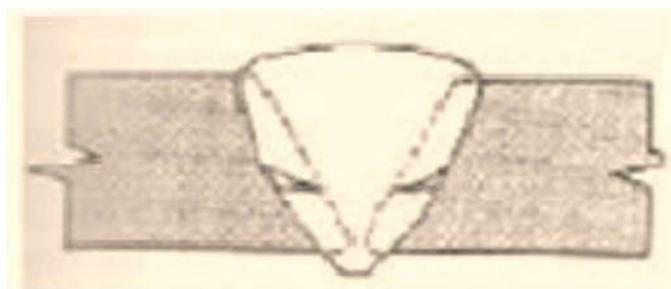
**g) Falta de fusión entre pasadas.**

Se produce en las interfases de la soldadura, donde las capas adyacentes del metal, o el metal base y el metal de soldadura no se fusionan debidamente, por lo general debido a una capa muy fina de óxido que se forma en las superficies. Esta capa de óxido puede deberse a una falta de calentamiento del metal base o al depósito previo del metal de soldadura en volumen

suficientemente alto que impide que cualquier capa de óxido, escoria, impurezas, etc. migre a la superficie.

### Figura 29

*Falta de fusión.*



*Nota.* También puede deberse a la falta de corriente suficiente o la mala ubicación del arco eléctrico dentro de los biseles, el cual, al producirse más sobre uno, deja al otro sin fundir, figura 29. (Bravo Calvo, 2022)

#### 2.2.15.3. Discontinuidades como inclusiones.

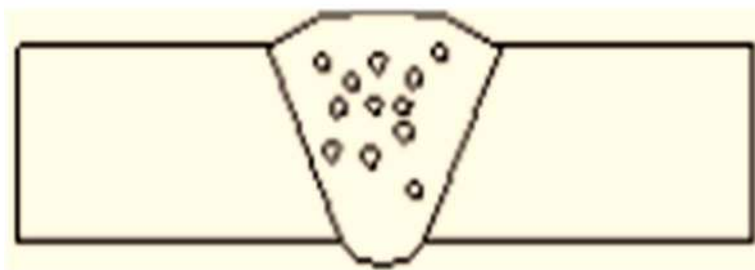
##### a) Inclusiones gaseosas

Por diversas razones, en el metal de soldadura fundido se forman gases que pueden quedar atrapados si no hay tiempo suficiente para que escapen antes de la solidificación de la soldadura.

Ver figura 30. (Bravo Calvo, 2022)

### Figura 30

*Inclusiones gaseosas.*



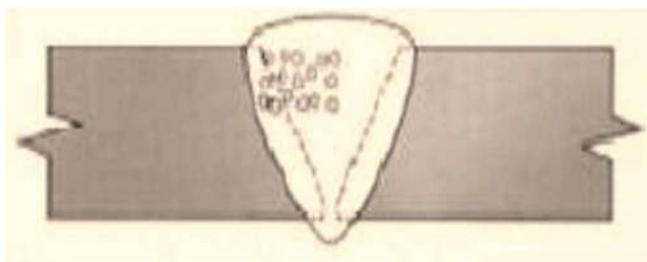
*Nota.* El gas así atrapado, por lo general tiene la forma de agujeros redondos denominados porosidades esféricas, o de forma alargada llamados porosidad tubular o vermicular, figura 30. (Bravo Calvo, 2022)

### b) Porosidad agrupada (nido de poros)

Producida generalmente por un agente oxidante o excesiva humedad del revestimiento. Ver figura 31.

#### Figura 31

*Porosidad agrupada.*



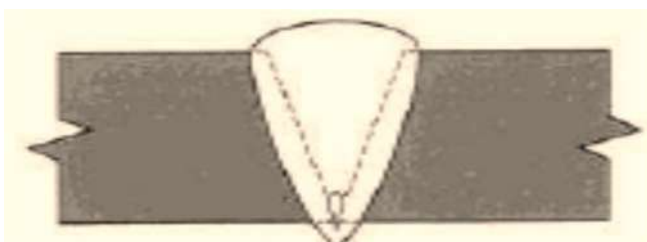
*Nota.* Pueden también encontrarse capas de óxido sobre los biselados, las que al fundirse desprenden gas. El tamaño de estos poros es igual en toda la zona. (Bravo Calvo, 2022)

### c) Porosidad alineada

Generalmente surge en la pasada de base del cordón soldado, por efecto de la dificultad de penetrar con el electrodo. Ver figura 32 (Bravo Calvo, 2022)

#### Figura 32

*Porosidad alineada.*



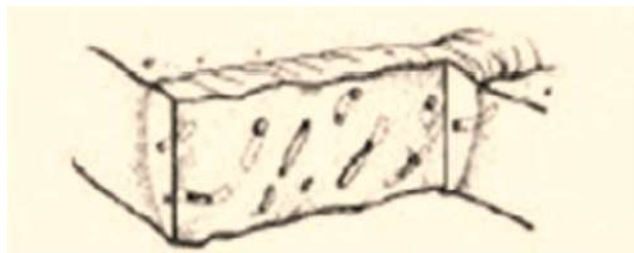
*Nota.* Por mala regulación eléctrica en correspondencia con el fundente utilizado por máquinas automáticas y por acumulación de algunos de los elementos de este. Figura adaptada de (Bravo Calvo, 2022)

### d) Inclusiones no metálicas

Proviene de agentes extraños como pueden ser del material de aporte. Esta discontinuidad se observa en la figura 33.

### Figura 33

*Inclusiones no metálicas.*



#### e) Inclusiones de escoria aisladas

La mayoría de las soldaduras contienen escorias que han sido atrapadas en el metal depositado durante la solidificación. Ver figura 34. (Bravo Calvo, 2022)

### Figura 34

*Inclusión de escoria aisladas.*



*Nota.* Son depósitos de carbón, óxidos metálicos y silicatos principalmente. (Bravo Calvo, 2022)

Las escorias pueden provenir del revestimiento del electrodo o del fundente empleado. Las inclusiones de escoria se asocian frecuentemente a la falta de penetración, fusión deficiente, talón de raíz suficientemente grande, soldadura en V muy estrecha y deficiente habilidad del soldador. (Bravo Calvo, 2022)

#### f) Escorias alineadas

Se producen por movimientos inadecuados del electrodo por parte del soldador. Quedan alineadas sobre el costado del cordón soldado. Ver figura 35. (Bravo Calvo, 2022)

### Figura 35

*Escorias alineadas.*



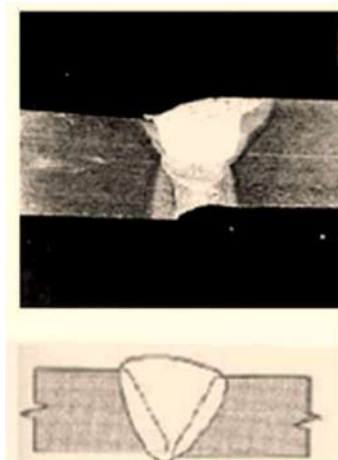
*Nota.* En el caso de la soldadura automática, el fundente suele quedar atrapado por una mala regulación de la máquina o por falta de limpieza, pero en este caso estará en el centro del cordón. Este tipo de defecto es muy agresivo. Figura adaptada (Bravo Calvo, 2022)

#### **g) Desalineado (high low).**

Desalineamiento de las partes a ser soldadas, figura 36.

### Figura 36

*Desalineado.*



#### **2.2.16. Calificación de Procedimiento de Soldadura**

Antes de aplicar un proceso de soldadura en taller o en campo, se debe realizar una calificación del mismo. El objeto fundamental es determinar los parámetros y secuencia de



soldadura que se sabe dan un resultado satisfactorio para luego aplicarlos en forma idéntica en sitio. Igualmente, permite dejar un registro en el tiempo de cómo se realizó una determinada soldadura.

Las normas y códigos establecen el procedimiento de calificación de las uniones. Para todos los casos de calificación de soldaduras, se debe elaborar unas “Especificaciones del Procedimiento de Soldadura” (EPS) o, mejor conocido con sus siglas en inglés como WPS, “Welding Procedure Specifications”. Este documento recoge todas las condiciones, características, parámetros y demás información sobre el proceso de soldadura a calificar. El resultado de los ensayos requeridos se registra en el “Procedure Qualification Record” o PQR. Un procedimiento quedará aprobado cuando los resultados reflejados en el PQR sean satisfactorios.

#### **2.2.16.1. Especificación del procedimiento de soldadura (WPS).**

WPS es la abreviatura de Welding Procedure Specification, que traducido al español significa “Especificación del Procedimiento de Soldadura”, que es básicamente el documento escrito donde nos indica de forma completa de cómo realizar una exitosa unión soldada (variables como material base, material de aporte, posición, diseño de junta, temperaturas de pre y post calentamiento, progresión, técnica, etc), este WPS puede ser pre-calificado o calificado por ensayos, esto va a depender de la forma de realizar el WPS y el tipo de Código o Norma a utilizar. Los Inspectores de Soldadura deben revisar los WPS, estos mismos deben garantizar su completa aplicación a través de su difusión y control hacia las personas que lo aplican, que son directamente los Soldadores Calificados.

### **2.2.16.2. Registro de calificación del procedimiento (PQR).**

PQR es la abreviatura de Procedure Qualification Record, que traducido al español significa “Registro de Calificación del Procedimiento”, para indicar que significa este documento, primero vamos a indicar que solo se utiliza cuando se realizan WPS que son calificados por ensayos, entonces iniciamos con lo que significa, como su nombre lo dice es un registro de calificación, es la etapa previa antes de desarrollar el procedimiento final WPS, aquí es donde proponemos las diferentes variables que se utilizan en la soldadura (material base, material de aporte, posición, diseño de junta, temperaturas de pre y post calentamiento, progresión, técnica, etc), todas estas propuestas salen del conocimiento y experiencia de o las personas que están elaborando el PQR, una vez que se tiene una exitosa soldadura visual es que se extraen probetas para que sean ensayadas en un laboratorio, el tipo y cantidad de ensayos lo define el código o norma que están utilizando, después de obtener un resultado satisfactorio de estos ensayos, es que se procede a plasmar en un documento escrito estas variables utilizadas que inicialmente eran propuestas, ahora ya se vuelven las variables de soldadura calificadas que dicho de otro manera es el Registro de Calificación del Procedimiento PQR las cuales han generado una unión de soldadura exitosa. Entonces es que con este PQR se puede proseguir a elaborar uno o varios WPSs según nuestro requerimiento.

### **2.2.16.3. Registro de las pruebas de calificación de soldador (WPQ).**

Es un documento que se usa para calificar a soldador, trabajador en el trabajo de soldeo que realiza. Cada soldador debe ser calificado mediante exámenes específicos de soldadura las cuales fueron diseñadas y determina la capacidad para soldar.

## CAPÍTULO III

### HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

##### 3.1.1. *Hipótesis General*

Es posible la soldadura del acero CHRONIT T1-500 con el acero ASTM A128 E-1 por el proceso SMAW.

##### 3.1.2. *Hipótesis Específicas*

- Se espera que la variación en la polaridad de la corriente eléctrica afecte significativamente la calidad de la soldadura del acero Chronit T1-500 con ASTM A128 E-1, evidenciándose diferencias en la resistencia y en la formación de discontinuidades.
- Se plantea que existe una relación directa entre la intensidad de la corriente eléctrica utilizada durante el proceso de soldadura y el ancho de la zona afectada por el calor (ZAC) al unir el acero Chronit T1-500 con ASTM A128 E-1 mediante SMAW en los chutes de descarga del Sistema Conveyor de Shougang Hierro Perú S.A.A. Se predice que mayores intensidades de corriente producirán una ZAC más extensa, lo que posiblemente alterará las propiedades metalúrgicas y mecánicas de la soldadura.
- Se plantea que las variaciones en la composición química del acero Chronit T1-500, ASTM A128 E-1 y del material de aporte generarán cambios significativos en la formación de la unión disimilar durante el proceso de soldadura, impactando la integridad de la unión.

- Se postula que la dilución durante el proceso de soldadura del acero disímil Chronit T1-500 con ASTM A128 E-1 mediante SMAW en los chutes de descarga del Sistema Conveyor de Shougang Hierro Perú S.A.A. influirá directamente en la microestructura y las propiedades mecánicas de la unión soldada. Se predice que niveles variables de dilución provocarán cambios significativos en la resistencia, la dureza y la integridad estructural de la unión, siendo estos cambios proporcionales a la cantidad de material base que se incorpora al cordón de soldadura

## **3.2. Variables**

### **3.2.1. Identificación de Variables**

#### **3.2.1.1. Variables Independientes**

- Intensidad de corriente
- Temperatura de precalentamiento
- Composición química del material de aporte
- Composición química del acero CHRONIT T1-500, ASTM A128 E-1

#### **3.2.1.2. Variables Dependientes**

- Soldabilidad del acero CHRONIT T1-500 con el acero ASTM A128 E-1

#### **3.2.1.3. Intervenientes o Externas**

- Humedad ambiental
- Temperatura ambiental

## CAPÍTULO IV

### MÉTODOLOGIA

#### 4.1.Ámbito de Estudio

Geográficamente, la investigación se realizará en la región Ica, provincia de Nasca, Distrito de San Juan de Marcona, Unidad Minera Shougang Hierro Perú, área San Nicolas.

#### 4.2.Diseño de la Investigación

##### 4.2.1. Nivel y Tipo de Investigación

- El tipo de investigación del estudio es experimental tecnológico aplicado, debido a que es de interés la aplicación de los conocimientos teóricos de la metalurgia de soldadura para poder determinar el nivel de soldabilidad del acero CHRONIT T1-500 y ASTM A128 E-1.
- El nivel de la investigación es de tipo descriptivo y explicativo. La investigación se centra en aplicar conocimientos y técnicas existentes para resolver problemas específicos. La soldabilidad de dos tipos de acero en un entorno industrial para encontrar soluciones prácticas a desafíos específicos en la empresa Shougang Hierro.

**Nivel descriptivo:** Busca describir y analizar las variables involucradas en la soldabilidad de esta unión disímil. Estás identificando cómo factores como la corriente eléctrica, la composición química y la dilución afectan la soldabilidad de estos aceros.

**Nivel explicativo:** También está tratando de explicar las relaciones causales entre estas variables y los resultados obtenidos en los procesos de soldadura. Esto entender por qué ciertos fenómenos ocurren durante la soldadura de estos aceros disímiles.

### **4.3. Población y Muestra**

#### **4.3.1. Población**

Se tiene 18 chutes de descarga de mineral del Sistema Conveyor de la unidad minera Shougang Hierro Perú S.A.A., alojados en las torres de transferencia NSCHT (ver anexo 01).

#### **4.3.2. Muestra**

Se tiene las siguientes muestras:

- 05 probetas de acero CHRONIT T1-500, cuyas medidas son las siguientes: ancho de 130 mm, longitud de 370 mm y 3/8" in de espesor.
- 05 probetas de acero ASTM A128 E-1, cuyas medidas son las siguientes: ancho de 2" in, altura de 3" in y longitud de 370 mm.

### **4.4. Técnicas e Instrumentos de Toma de Datos**

#### **4.4.1. Instrumentos**

Durante el desarrollo del trabajo se usarán los siguientes equipos: máquina de soldar por arco eléctrico, equipo de ensayo de doblez, kit de líquidos penetrantes, durómetro, vernier.

#### **4.4.2. Técnica**

Para la realización del presente trabajo de investigación se recurrirá a la técnica de la "Observación directa".

#### **4.4.3. Viabilidad**

La parte experimental se realizó en taller mecánico de la empresa Shougang Hierro Perú S.A., se dispone de los materiales y equipos necesarios.

#### ***4.4.4. Análisis y procedimiento de recolección de datos.***

La población total consiste en todos los chutes de descarga del Sistema Conveyor de Shougang Hierro que presentan la unión disímil de los aceros Chronit T1-500 y ASTM A128 E-1 soldados por el proceso SMAW como revestimiento metálico.

Para determinar la muestra, se seleccionó criterios que puedan afectar la soldabilidad, como niveles de desgaste, ubicación dentro del sistema, variaciones en la composición química o condiciones de operación.

Para determinar la muestra, se seleccionó la representatividad: una muestra que represente la diversidad de estas condiciones. Se tiene chutes con diferentes niveles de desgaste, ubicaciones diversas en el sistema y variaciones en la composición o condiciones de operación.

## CAPÍTULO V

### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

#### 5.1. Equipos y Materiales Utilizados en la Investigación

##### 5.1.1. Equipos para la Investigación

###### a) Fuente de poder

Para la soldabilidad de las probetas, se hizo uso de la fuente de poder mostrada en la figura 37, cuyas características son:

- Marca: Miller
- Modelo: XMT 425 VS
- Fases: 03
- Potencia de entrada: Auto-Line, 208-575 V.
- Rango de salida: 10-38 V, 15-425 A

#### Figura 37

*Fuente de poder.*



*Nota.* Máquina de soldar del taller de la empresa Beijing Shougang Mine Construction Sucursal Perú Ltd.



### 5.1.2. Calibrador de Soldadura Única V-WAC

Es una herramienta que sirve para medir: la profundidad de socavación, altura de la corona, comparación de porosidad y verifica la cantidad de porosidad por pulgada lineal. En la figura 38, se muestra esta herramienta.

#### Figura 38

*Calibrador de soldadura.*



*Nota.* Calibrador de Soldadura Única V-WAC de la empresa Beijing Shougang Mine Construction Sucursal Perú Ltd.

Las características de este instrumento se detallan en la tabla 9:

#### Tabla 9

*Características de este instrumento.*

Exactitud	La profundidad de altura de la corona puede ser leída hasta 1/32 de pulgada
Porosidad	La porosidad de comparación de 1/8 de pulgada y 1/16 de pulgada
Incrementos	Medición lineal con incrementos de 1/16 de pulgada
Uso fácil	El puntero se posiciona fácilmente y un tornillo de seguridad lo fija en su posición para una referencia posterior
Durable	Las graduaciones e incrementos están grabadas en la superficie son fáciles de leer y no se borran. Todas y cada una de las cuatro medidas se hacen con el mismo calibre fabricado con acero inoxidable.
Dimensiones	31 x 101 mm (1.25" x 4") y puede ser llevado fácilmente a cualquier lugar ya que está diseñado para ser guardado dentro de un bolsillo.

### 5.1.3. *Kit de Tintes Penetrantes Spray*

- Marca: Ambro-sol
- Procedencia: Italia.

El kit contiene:

- Revelador Detector Blanco X 400ML
- Penetrante Rojo X 400ML
- Limpiador Cleaner X 400ML

Figura 39, se observa el kit de tintas penetrantes utilizadas en la investigación.

### **Figura 39**

*Kit de tintas penetrantes.*



*Nota.* Son productos de pulverización que permiten detectar defectos tales como grietas causadas por deformación, picaduras, áreas porosas y ranuras de soldadura.

### 5.1.4. *Durómetro de Banco*

Posee una pantalla digital, que indica una lectura directa. Da lectura en las normas Rockwell como en Brinell. Ver figura 40.

Sus características son:

- Marca: Innovatest
- Modelo: Fenix 200DCL
- Tipo: Rockwell, Brinell.
- Montaje: De mesa
- Carga: Max.: 187.5 kgf. Min.: 10kgf
- Objetivos intercambiables de 2.5x, 5x y 10x

Figura 40, se observa el kit de tintas penetrantes utilizadas en la investigación.

## Figura 40

*Durómetro de banco*



*Nota.* Durómetro de banco utilizadas en la investigación.

## 5.2. Materiales de Estudio

### 5.2.1. Acero Chronit T1-500

Son planchas de 15cm x 25cm x ¼” (6.175 mm). Estas barras se utilizan en trabajos de mantenimiento y reparación en los que la abrasión por impacto o el desgaste de metal a metal son un problema. En la figura 41, se observa las planchas descritas anteriormente.

### Figura 41

*Planchas de Acero Chronit T1-500*



*Nota.* Se utilizan en trabajos de mantenimiento y reparación en los que la abrasión por impacto o el desgaste de metal a metal son un problema gracias a sus propiedades de alta resistencia.

Para su identificación en la investigación, fueron codificados con la letra “X”, como se muestra en la figura 42.

### Figura 42

*Probetas de Acero Chronit T1-500*



*Nota.* Se tiene 05 probetas Acero Chronit T1-500

#### **5.2.2. Acero Hadfield 128 E-1**

En el anexo 2, se muestra la ficha técnica. Las probetas para la investigación tienen las siguientes características:

- Forma del producto: Barra de sección rectangular.
- Dimensiones de la probeta:
  - ✓ Sección de 2" x 3".
  - ✓ Longitud: 250 mm

En la figura 43 se observa el Acero Hadfield 128 E-1, objeto de estudio. Para su identificación en la investigación, fueron codificados con la letra "Y".

### Figura 43

*Barras de Acero Hadfield 128 E-1, de sección cuadrada.*



*Nota.* Se tiene 05 probetas Acero Hadfield 128 E-1

Las probetas se codificaron según se muestra en la tabla 10

### Tabla 10

*Codificación de probetas*

Acero Hadfield 128	Chronit T1-500		Probeta
Y <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub> X <sub>1</sub>	1
Y <sub>2</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub> X <sub>2</sub>	2
Y <sub>3</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub> X <sub>3</sub>	3
Y <sub>4</sub>	X <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub> X <sub>4</sub>	4
Y <sub>5</sub>	X <sub>5</sub>	Y <sub>5</sub> X <sub>5</sub>	5

*Nota.* Codificación Y (Acero Hadfield 128) y X (Chronit T1-500)

### 5.3. Consumible

#### 5.3.1. Electrodo E312-16

Es un electrodo austenítico – ferrítico para la soldadura de aceros disímiles y aceros de difícil soldabilidad, con un contenido aproximado de 30% de ferrita. El metal depositado es resistente a la fisuración, corrosión, impacto, calor. Fricción metal-metal, es muy dúctil y tenaz, de fácil encendido del arco, forma cordones planos libres de salpicadura y con ausencia de mordeduras.

- **Aplicaciones**

- ✓ Para la soldadura de unión y recargue en aceros de mediano y alto carbono, aceros de baja aleación, aceros herramientas, aceros bonificados, aceros al manganeso, aceros rápidos, aceros de cementación y aceros fundidos.
- ✓ Ideal para la unión de aceros disímiles, aceros de difícil soldabilidad y como cama cojín para recubrimientos protectores.
- ✓ Recomendado para uniones de alta responsabilidad: fabricación o reparación de cucharas de equipos mineros, rellenos de ejes, reconstrucción de dientes de engranaje, soldaduras de muelles, resortes, moldes de inyección, tornillos extrusores, etc.

En la tabla 11 se muestra su composición química.

**Tabla 11**

*Composición química.*

C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr
0.10	1.00	0.90	0.025 max.	0.020 max.	9.00	29.00

*Nota.* Soldexa (2015). "Manual de soldadura y catálogo de productos". MEXICO: Séptima. Edición

Sus propiedades mecánicas se detallan en la tabla 12

**Tabla 12**

*Propiedades mecánicas.*

Tratamiento térmico	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Elongación en 2" (%)
Sin tratamiento	760-840	588-683	22

*Nota.* (Soldexa, 2015)

En el anexo 1, se muestra su ficha técnica.

En la figura 44, se observa el material de aporte.

**Figura 44**

*Material de aporte.*



*Nota.* Electrodo E312-16 utilizado en la investigación

## 5.4. Soldadura de las Probetas

### 5.4.1. Preparación de las Probetas

Previo al soldeo de las probetas, se realizaron las siguientes operaciones:

#### a) Limpieza de las probetas.

Las probetas deben estar exento de grasas, pinturas, para lo cual se uso disolventes no clorados.

**b) Tipo de junta**

Se seleccionó la junta a tope (soldadura exterior – figura 45a) y de ángulo interior (soldadura interior- figura 45b).

**Figura 45**

*Soldadura exterior a tope (1G).*

**Figura 46**

*Soldadura interior de ángulo (1F).*

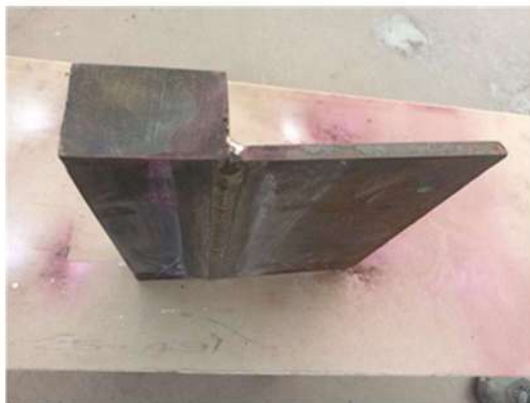


En la figura 46, se observa la sección de las probetas de investigación.



## Figura 47

Sección de las probetas de investigación.



### 5.4.2. Cálculo de Carbono Equivalente

#### a) Cálculo del Carbono equivalente para el acero Hadfield 128 E-1

En la tabla 13, se observa una imagen del cálculo del carbono equivalente para el acero Hadfield 128 E-1

**Tabla 13**

*Cálculo de CE del acero Hadfield 128 E-1.*

TABLA DE CÁLCULO CARBONO EQUIVALENTE			
ACEROS AL CARBONO			
Elemento químico	introducir los porcentajes de cada uno % de los elementos indicados		
( C ) Carbono	1		
( Mn ) Manganeso	11.05		
( Cu ) Cobre	0.1621		
( Ni ) Niquel			
( Cr ) Cromo			
( Mo ) Molibdeno	0.9		
( V ) Vanadio			
( Si ) Silicio			
Carbono equivalente (Ceq) - AWS	3.032%	$Ceq = C + [(Mn+Si)/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15]$	(fórmula larga incluye Si)
Carbono equivalente (Ceq) - O' Neill	3.032%	$Ceq = C + [(Mn)/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15]$	(fórmula larga)
Carbono equivalente (Ceq) - f.corta	3.763%	$Ceq = C + [(Mn)/4]$	(fórmula corta)
Para más información sobre nuestros productos y gamas dimensionales consulte en nuestra web <a href="http://www.protubsa.com">www.protubsa.com</a> (descarga gratuita de catálogos)			

*Nota.* Hoja Excel para calculo de carbono equivalente del CE del acero Hadfield 128 E-1.

## b) Cálculo de Carbono equivalente del acero Chronit T1

**Tabla 14**

*Imagen de cálculo de CE del acero Chronit T1.*

TABLA DE CÁLCULO CARBONO EQUIVALENTE			
ACEROS AL CARBONO			
		<i>introducir los porcentajes de cada uno</i>	
Elemento químico		<i>% de los elementos indicados</i>	
( C )	Carbono	0.2	
( Mn )	Manganeso	1	
( Cu )	Cobre		
( Ni )	Niquel		
( Cr )	Cromo	0.6	
( Mo )	Molibdeno	0.25	
( V )	Vanadio	0.05	
( Si )	Silicio		
Carbono equivalente (Ceq) - AWS		0.547%	$C_{eq} = C + [(Mn+Si)/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15]$ (fórmula larga incluye Si)
Carbono equivalente (Ceq) - O' Neill		0.547%	$C_{eq} = C + [(Mn)/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15]$ (fórmula larga)
Carbono equivalente (Ceq) - f.corta		0.450%	$C_{eq} = C + [(Mn)/4]$ (fórmula corta)
Para más información sobre nuestros productos y gamas dimensionales consulte en nuestra web <a href="http://www.protubsa.com">www.protubsa.com</a> (descarga gratuita de catálogos)			

*Nota.* Hoja Excel para calculo de carbono equivalente del CE del acero Chronit T1

### 5.4.3. Cálculo de la Temperatura de Pre calentamiento para el Acero Chronit T1 (Método de Seferian).

Para el cálculo de la temperatura de pre calentamiento se usó el método de SEFERIAN.

Aplicando las ecuaciones 6,7 y 8 se tiene:

- **Método de Seferian:**

$$T_p = 350 \sqrt{ct - 0.25}$$

$$ct = C_q + C_e$$

$$C_q = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{Mo}{13}$$

$$C_e = 0.005 \times e \text{ (mm)} \times C_q$$

Donde:

$ct$  = Equivalente total del carbono

$C_q$  = Equivalente químico

$C_e$  = Equivalente en carbono del espesor.

$e$  = espesor del material.

Reemplazando valores tenemos:

$$C_q = 0.20 + \frac{1.0 + 0.60}{9} + \frac{0.25}{13} = 0.40$$

$$C_e = 0.005 \times 9.525 \text{ mm} \times 0.40 = 0.05 \text{ mm}$$

$$C_t = 0.40 + 0.05 = 0.45$$

Por lo tanto, la temperatura de precalentamiento del acero objeto de investigación es:

$$T_p = 350\sqrt{0.45 - 0.25} = 156 \text{ }^\circ\text{C}$$

#### ***5.4.4. Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS) Para las Probetas de Experimentación***

En los WPS, se detallan las variables y parámetros de soldadura de las probetas, para calificar la especificación de procedimiento de soldadura.

## FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA



## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA

ESPECIFICACIONES PARA LA SOLDADURA PROBETAS						WPS		
Institución:			UNSAAC		Identificación N°:		PROBETA 1 (X <sub>1</sub> -Y <sub>1</sub> )	
Proceso de soldadura:			SMAW		Soporte PQR N°:		PQR - 01	
Tipo:	Manual:	X	Automático:	Semiautomático:	Maquina:			
Revisión:		00	Fecha:		02/04/2023	Revisado por:		Daniel A. Luna M.
DISEÑO DE LA JUNTA.				POSICIÓN				
Tipo de junta:			Junta en T con borde en V		Ranura:	Filete:	1F	
Tipo de soldadura:					Plancha:	1G	Tubería:	
Abertura de raíz:			2 mm		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS			
Longitud de raíz:			2 mm					
Angulo de ranura:			30°					
Soporte:			NO		Corriente: Proceso SMAW			
Material de aporte:			E 312-16		DC:	DCEP	X	
Limpieza de la raíz:					Pulso:	DCEN		
METAL BASE			TÉCNICA					
DATOS	M.B.1	M.B.2	Aportación		Oscilación	Recta	X	
Grupo:	1	1	Pase:		Múltiple	Simple		
Especificación	HADFIELD 128 E-1	CHRONIT T1 500	Limpieza en pases		N/A			
Grado:			PRECALENTAMIENTO					
Espesor:	200 mm	9.525 mm	Temperatura de precalentamiento:			156 °C		
Diámetro:			Temperatura interpase:			N/A		
			POSTCALENTAMIENTO					
			Temperatura:	N/A	Tiempo:	N/A		
METAL DE APORTE			PROTECCIÓN					
Especificación:	A5.4		Fundente:		Gas:			
Calificación AWS:	A5.4		Composición		Composición			
Marca:	SOLDEXA				Vel. flujo			
Tamaño de alambre:								
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
N.- De pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Vel. de desplazamiento (mm/seg)	
		Clase	Diámetro	Tipode polaridad	Amperaje			
1	SMAW	E 312-16	3/16" (4.76 mm)	DC+	140 A	24.5 V	1.5	
DETALLES DE LA JUNTA SOLDADA								
				<p>Donde:  <math>t = 2 \text{ mm}</math>  <math>e_1 = 9.525 \text{ mm}</math>  <math>e_2 = 200 \text{ mm}</math></p>				
Elaborado por:		Daniel A. Luna M.		Fecha:		02/04/2023		
Revisado por:		Ing. Mg. Elias Peña.P.		Institución:		UNSAAC		

## FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA



## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA

ESPECIFICACIONES PARA LA SOLDADURA PROBETAS						WPS		
Institución:			UNSAAC		Identificación N°:		PROBETA 2 (X <sub>2</sub> -Y <sub>2</sub> )	
Proceso de soldadura:			SMAW		Soporte PQR N°:		PQR - 01	
Tipo:	Manual:	X	Automático:	Semiautomático:	Maquina:			
Revisión:		00	Fecha:		02/04/2023	Revisado por:		Daniel A. Luna M.
DISEÑO DE LA JUNTA.				POSICIÓN				
Tipo de junta:			Junta en T con borde en V		Ranura:		Filete:	1F
Tipo de soldadura:					Plancha:		1G	Tubería:
Abertura de raíz:			2 mm		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS			
Longitud de raíz:			2 mm					
Angulo de ranura:			30°					
Soporte:			NO		Corriente: Proceso SMAW			
Material de aporte:			E 312-16		DC:		DCEP	X
Limpieza de la raíz:					Pulso:		DCEN	
METAL BASE				TÉCNICA				
DATOS		M.B.1	M.B.2	Aportación		Oscilación	Recta	X
Grupo:		1	1	Pase:		Múltiple	Simple	
Especificación		HADFIELD 128 E-1	CHRONIT T1 500	Limpieza en pases		N/A		
Grado:				PRECALENTAMIENTO				
Espesor:		200 mm	9.525 mm	Temperatura de precalentamiento:		156 °C		
Diámetro:				Temperatura interpase:		N/A		
				POSTCALENTAMIENTO				
				Temperatura:		N/A	Tiempo:	N/A
METAL DE APORTE				PROTECCIÓN				
Especificación:		A5.4		Fundente:		Gas:		
Calificación AWS:		A5.4		Composición:		Composición:		
Marca:		SOLDEXA				Vel. flujo:		
Tamaño de alambre:								
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
N.- De pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje(V)	Vel. de desplazamiento. (mm/seg)	
		Clase	Diámetro	Tipo de polaridad	Amperaje			
1	SMAW	E 312-16	3/16" (4.76 mm)	DC+	150 A	24.5 V	1.5	
DETALLES DE LA JUNTA SOLDADA								
				<p>Donde:  <math>t=2\text{mm}</math>  <math>e_1=9.525\text{mm}</math>  <math>e_2=200\text{mm}</math></p>				
Elaborado por:		Daniel A. Luna M.		Fecha:		02/04/2023		
Revisado por:		Ing. Mg. Elias Peña.P.		Institución:		UNSAAC		

## FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA



## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA

ESPECIFICACIONES PARA LA SOLDADURA PROBETAS						WPS	
Institución:			UNSAAC		Identificación N°:		PROBETA 3 (X <sub>3</sub> -Y <sub>3</sub> )
Proceso de soldadura:			SMAW		Soporte PQR N°:		PQR - 01
Tipo:	Manual:	X	Automático:	Semiautomático:	Maquina:		
Revisión:		00	Fecha:		02/04/2023	Revisado por:	Daniel A. Luna M.
DISEÑO DE LA JUNTA.				POSICIÓN			
Tipo de junta:		Junta en T con borde en V		Ranura:		Filete:	1F
Tipo de soldadura:				Plancha:	1G	Tubería:	
Abertura de raíz:		2 mm		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS			
Longitud de raíz:		2 mm					
Angulo de ranura:		30°					
Soporte:		NO		Corriente: Proceso SMAW			
Material de aporte:		E 312-16		DC:		DCEP	140 A
Limpieza de la raíz:				Pulso:		DCEN	
METAL BASE			TÉCNICA				
DATOS	M.B.1	M.B.2	Aportación		Oscilación	Recta	X
Grupo:	1	1	Pase:		Múltiple	Simple	
Especificación	HADFIELD 128 E-1	CHRONIT T1 500	Limpieza en pases		N/A		
Grado:			PRECALENTAMIENTO				
Espesor:	200 mm	9.525 mm	Temperatura de precalentamiento:			156 °C	
Diámetro:			Temperatura interpase:			N/A	
				POSTCALENTAMIENTO			
				Temperatura:	N/A	Tiempo:	N/A
METAL DE APORTE			PROTECCIÓN				
Especificación:	A5.4		Fundente:			Gas:	
Calificación AWS:	A5.4		Composición			Composición	
Marca:	SOLDEXA					Vel. flujo	
Tamaño de alambre:							
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA							
N.- De pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje(V)	Vel. de desplazamiento. (mm/seg)
		Clase	Diámetro	Tipo de polaridad	Amperaje		
1	SMAW	E 312-16	3/16" (4.76 mm)	DC+	160	25 V	1.5
DETALLES DE LA JUNTA SOLDADA							
				<p>Donde:  <math>t=2\text{mm}</math>  <math>e_1=9.525\text{mm}</math>  <math>e_2=200\text{mm}</math></p>			
Elaborado por:		Daniel A. Luna M.		Fecha:		02/04/2023	
Revisado por:		Ing. Mg. Elias Peña.P.		Institución:		UNSAAC	

## FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA



## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA

ESPECIFICACIONES PARA LA SOLDADURA PROBETAS						WPS		
Institución:			UNSAAC		Identificación N°:		PROBETA 4 (X4-Y4)	
Proceso de soldadura:			SMAW		Soporte PQR N°:		PQR – 01	
Tipo:	Manual:	X	Automático:	Semiautomático:	Maquina:			
Revisión:		00	Fecha:		02/04/2023	Revisado por:		Daniel A. Luna M.
DISEÑO DE LA JUNTA.				POSICIÓN				
Tipo de junta:			Junta en T con borde en V		Ranura:	Filete:	1F	
Tipo de soldadura:					Plancha:	1G	Tubería:	
Abertura de raíz:			2 mm		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS			
Longitud de raíz:			2 mm					
Angulo de ranura:			30°					
Soporte:			NO		Corriente: Proceso SMAW			
Material de aporte:			E 312-16		DC:	DCEP	140 A	
Limpieza de la raíz:					Pulso:	DCEN		
METAL BASE				TÉCNICA				
DATOS		M.B.1	M.B.2	Aportación		Oscilación	Recta	X
Grupo:		1	1	Pase:		Múltiple	Simple	
Especificación		HADFIELD 128 E-1	CHRONIT T1 500	Limpieza en pases		N/A		
Grado:				PRECALENTAMIENTO				
Espesor:		200 mm	9.525 mm	Temperatura de precalentamiento:			156 °C	
Diámetro:				Temperatura interpase:			N/A	
				POSTCALENTAMIENTO				
				Temperatura:	N/A	Tiempo:	N/A	
METAL DE APORTE				PROTECCIÓN				
Especificación:		A5.4		Fundente:		Gas:		
Calificación AWS:		A5.4		Composición		Composición		
Marca:		SOLDEXA				Vel. flujo		
Tamaño de alambre:								
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
N.- De pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		oltaje(V)	Vel. de desplazamiento. (mm/seg)	
		Clase	Diámetro	Tipo de polaridad	Amperaje			
1	SMAW	E 312-16	3/16" (4.76 mm)	DC+	170	26 V	1.5	
DETALLES DE LA JUNTA SOLDADA								
				<p>Donde:  <math>t=2\text{mm}</math>  <math>e_1=9.525\text{mm}</math>  <math>e_2=200\text{mm}</math></p>				
Elaborado por:		Daniel A. Luna M.		Fecha:		02/04/2023		
Revisado por:		Ing. Mg. Elias Peña.P.		Institución:		UNSAAC		

## FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA



## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA

ESPECIFICACIONES PARA LA SOLDADURA PROBETAS						WPS		
Institución:			UNSAAC		Identificación N°:		PROBETA 5 (X <sub>5</sub> -Y <sub>5</sub> )	
Proceso de soldadura:			SMAW		Soporte PQR N°:		PQR - 01	
Tipo:	Manual:	X	Automático:		Semiautomático:		Maquina:	
Revisión:	00	Fecha:	02/04/2023		Revisado por:	Daniel A. Luna M.		
DISEÑO DE LA JUNTA.				POSICIÓN				
Tipo de junta:		Junta en T con borde en V		Ranura:		Filete:	1F	
Tipo de soldadura:				Plancha:	1G	Tubería:		
Abertura de raíz:		2 mm		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS				
Longitud de raíz:		2 mm						
Angulo de ranura:		30°						
Soporte:		NO		Corriente: Proceso SMAW				
Material de aporte:		E 312-16		DC:		DCEP	140 A	
Limpieza de la raíz:				Pulso:		DCEN		
METAL BASE			TÉCNICA					
DATOS	M.B.1	M.B.2	Aportación		Oscilación		Recta	X
Grupo:	1	1	Pase:		Múltiple		Simple	
Especificación	HADFIELD 128 E-1	CHRONIT T1 500	Limpieza en pases		N/A			
Grado:				PRECALENTAMIENTO				
Esesor:	200 mm	9.525 mm	Temperatura de precalentamiento:			156 °C		
Diámetro:			Temperatura interpase:			N/A		
				POSTCALENTAMIENTO				
				Temperatura:	N/A	Tiempo:	N/A	
METAL DE APORTE			PROTECCIÓN					
Especificación:	A5.4		Fundente:			Gas:		
Calificación AWS:	A5.4		Composición			Composición		
Marca:	SOLDEXA					Vel. flujo		
Tamaño de alambre:								
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
N.- De pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Vel. de desplazamiento. (mm/seg)	
		Clase	Diámetro	Tipo de polaridad	Amperaje			
1	SMAW	E 312-16	3/16" (4.76 mm)	DC+	180 A	27 V	1.5	
DETALLES DE LA JUNTA SOLDADA								
				<p>Donde:  <math>t=2\text{mm}</math>  <math>e_1=9.525\text{mm}</math>  <math>e_2=200\text{mm}</math></p>				
Elaborado por:		Daniel A. Luna M.		Fecha:		02/04/2023		
Revisado por:		Ing. Mg. Elias Peña.P.		Institución:		UNSAAC		



En la figura 48 Se observa las probetas soldadas y su sección.

### Figura 48

*Probetas soldadas.*



Nota. Unión disimilar de los aceros

## 5.5. Cálculos Realizados de la Soldadura de las Probetas

### 5.5.1. Cálculo del Calor Aportado para el Acero Chronit T1 500 y Acero Hadfield 128 E-1

El cálculo del aporte de calor, se realizó haciendo uso de la ecuación 2.1, del capítulo II.

$$H_{net} = \frac{V \times I}{v} \times f$$

En la tabla 14, se muestra la eficiencia de los diferentes procesos de soldadura, para el caso nuestro se tomó el promedio, que corresponde a 75%.

El cálculo del calor neto aportado para cada una de las probetas es:

- **Probeta 1:**

$$H_{net} = \frac{140 \times 24.5}{1.5} \times 0.75 = 1715.0 \text{ J/mm}$$

- **Probeta 2:**

$$H_{net} = \frac{150 \times 24.5}{1.5} \times 0.75 = 1837.5 \text{ J/mm}$$

- **Probeta 3:**

$$H_{net} = \frac{160 \times 25}{1.5} \times 0.75 = 2000.0 \frac{J}{mm}$$

- **Probeta 4:**

$$H_{net} = \frac{170 \times 26}{1.5} \times 0.75 = 2210.0 \text{ J/mm}$$

- **Probeta 5:**

$$H_{net} = \frac{180 \times 27}{1.5} \times 0.75 = 2430.0 \text{ J/mm}$$

En la tabla 15 se resume los resultados del cálculo de calor neto aportado.

**Tabla 15**

*Resultados del calor neto aportado para el acero Chronit T1 500*

Probeta	Intensidad de corriente (A)	Tensión de arco (V)	Veloc.de desplazamiento (mm/seg)	Calor neto aportado (J/mm)
1	140	24.5	1.5	1715.0
2	150	24.5	1.5	1837.5
3	160	25.0	1.5	2000.0
4	170	26.0	1.5	2210.0
5	180	27.0	1.5	2430.0

*Nota.* Se muestra incremento de Calor aportado cada vez que se incrementa la intensidad de corriente.

### 5.5.2. *Cálculo del Ancho de la Zona Afectada por el Calor Para el Acero Hadfield ASTM 128 E-1*

Para saber la influencia del calor aportado en la microestructura del metal base, se calcula el ancho de la zona afectada por el calor (ZAC) con la ecuación siguiente:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{T_{max} - T_o} \right) - \left( \frac{1}{T_{fusion} - T_o} \right) \right] \times \left[ \frac{H_{neto}}{4,13 \cdot \rho \cdot C \cdot t} \right]$$

Donde:

$Y$  = Ancho de la zona afectada térmicamente (mm)

$T_{max}$  = Temperatura máxima (°C)

$T_o$  = Temperatura inicial del material (°C)

$T_{fusión}$  = Temperatura de fusión (°C)

$\rho$  = Densidad del material (g/mm<sup>3</sup>)

$C$  = Calor específico del metal sólido (J/gr-°C)

$t$  = Espesor del material en mm

$\rho \cdot C$  = Calor específico volumétrico (j/mm<sup>3</sup>-°C)

Las condiciones para nuestra investigación son:

- $T_{ambiente} = 15^{\circ}C$
- $T_{fusión} = 1345^{\circ}C$
- $\rho = 0.0785 \text{ gr/mm}^3$

- $C = 0.056050 \text{ J/gr-}^\circ\text{C}$
- $\rho.C = 0.0044 \text{ j/mm}^3\text{-}^\circ\text{C}$ . (Fosca. C. 2007)
- $t$  (espesor) = 6.175 mm
- $T_{\max} = 723 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Probeta N° 1:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1345 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{1715}{4,13 \times 0.0044 \times 200} \right] = 0.31 \text{ mm}$$

PROBETA N° 2:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1345 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{1837.5}{4,13 \times 0.0044 \times 200} \right] = 0.333 \text{ mm}$$

PROBETA N° 3:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1345 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{2000}{4,13 \times 0.0044 \times 200} \right] = 0.36 \text{ mm}$$

Probeta N° 4

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1345 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{2210}{4,13 \times 0.0044 \times 200} \right] = 0.40 \text{ mm}$$

Probeta N° 5

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1345 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{2430}{4,13 \times 0.0044 \times 200} \right] = 0.44 \text{ mm}$$

Probeta N° 6:

En la tabla 16 se resume los resultados del cálculo del ancho de la zona afectada por el calor:

**Tabla 16**

*Resultados del cálculo del ancho de la ZAC.*

Probeta	Intensidad de corriente (A)	Tensión de arco (V)	Veloc.de desplazamiento (mm/seg)	Calor neto aportado (J/mm)	Ancho de la ZAC
1	140	24.5	1.5	1715.0	0.31
2	150	24.5	1.5	1837.5	0.33
3	160	25.0	1.5	2000.0	0.36
4	170	26.0	1.5	2210.0	0.40
5	180	27.0	1.5	2430.0	0.44

*Nota.* Se muestra incremento de en ancho de la ZAC cada vez que se incrementa Calor aportado

### **5.5.3. Cálculo del Ancho de la Zona Afectada por el Calor Para el Acero Chronit T1 500**

Para saber la influencia del calor aportado se calcula el ancho de la zona afectada por el calor (ZAC) con la ecuación siguiente:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{T_{max} - T_o} \right) - \left( \frac{1}{T_{fusion} - T_o} \right) \right] \times \left[ \frac{H_{neto}}{4,13 \cdot \rho \cdot C \cdot t} \right]$$

Donde:

$Y$  = Ancho de la zona afectada térmicamente (mm)

$T_{max}$  = Temperatura máxima (°C)

$T_o$  = Temperatura inicial del material (°C)

$T_{fusión}$  = Temperatura de fusión (°C)

$\rho$  = Densidad del material (g/mm<sup>3</sup>)

$C$  = Calor específico del metal solido (J/gr-°C)

$t$  = Espesor del material en mm

$\rho.C.$  = Calor específico volumétrico ( $\text{j/mm}^3\text{-}^\circ\text{C}$ )

Las condiciones para nuestra investigación son:

✓  $T_{\text{ambiente}} = 156\text{ }^\circ\text{C}$

✓  $T_{\text{fusión}} = 1510\text{ }^\circ\text{C}$

✓  $\rho = 0.079\text{ gr/mm}^3$

✓  $C = 0.056050\text{ J/gr-}^\circ\text{C}$

✓  $\rho.C = 0.0042\text{ j/mm}^3\text{-}^\circ\text{C}$ . (Fosca. C. 2007)

✓  $t$  (espesor) = 9.525 mm

✓  $T_{\text{max}} = 723\text{ }^\circ\text{C}$ .

Probeta N° 1:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 156} \right) - \left( \frac{1}{1510 - 156} \right) \right] \times \left[ \frac{1715}{4,13 \times 0.0042 \times 9.525} \right] = 10.6\text{ mm}$$

Probeta N° 2:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 156} \right) - \left( \frac{1}{1510 - 156} \right) \right] \times \left[ \frac{1837.5}{4,13 \times 0.0042 \times 9.525} \right] = 11.4\text{ mm}$$

Probeta N° 3:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 156} \right) - \left( \frac{1}{1510 - 156} \right) \right] \times \left[ \frac{2000}{4,13 \times 0.0044 \times 9.525} \right] = 12.4\text{ mm}$$

Probeta N° 4

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 156} \right) - \left( \frac{1}{1510 - 156} \right) \right] \times \left[ \frac{2210}{4,13 \times 0.0042 \times 9.525} \right] = 13.7 \text{ mm}$$

Probeta N° 5

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 156} \right) - \left( \frac{1}{1510 - 156} \right) \right] \times \left[ \frac{2430}{4,13 \times 0.0042 \times 9.525} \right] = 15.0 \text{ mm}$$

En la tabla 17 se resume los resultados del cálculo del ancho de la zona afectada por el calor:

**Tabla 17**

*Resultados del cálculo del ancho de la ZAC.*

Probeta	Intensidad de corriente (A)	Tensión de arco (V)	Veloc.de desplazamiento (mm/seg)	Calor neto aportado (J/mm)	Ancho de la ZAC
1	140	24.5	1.5	1715.0	10.6
2	150	24.5	1.5	1837.5	11.4
3	160	25.0	1.5	2000.0	12.4
4	170	26.0	1.5	2210.0	13.7
5	180	27.0	1.5	2430.0	15.0

*Nota.* Se muestra incremento de en ancho de la ZAC cada vez que se incrementa Calor aportado

#### 5.5.4. Cálculo de la Velocidad de Enfriamiento $t_{8/5}$

Para calcular la velocidad de enfriamiento durante un ciclo térmico soldadura se usó la ecuación...

$$t_{8/5} = \frac{1}{2\pi K} H_{net} \left[ \frac{1}{500 - T_o} - \frac{1}{800 - T_o} \right] F^3$$

Donde:

K= Conductividad térmica del acero (0.28 J/mm\*s\*°C)

$F3 = 0,85$ , según el grado de embridamiento

En la tabla 18 se observa los valores de velocidad de enfriamiento.

**Tabla 18**

*Velocidad de enfriamiento de las probetas.*

Probeta	Temperatura de precalentamiento (°C)	Hnet (J/mm)	$t_{8/5}$ (°C/seg)
1	156	1715.0	26.5
2	156	1837.5	30.4
3	156	2000.0	32.4
4	156	2210.0	35.6
5	156	2430.0	36.8

*Nota.* Se muestra incremento la Velocidad de enfriamiento cada vez que se incrementa Calor neto.

## 5.6. Calificación del Proceso

### 5.6.1. Inspección Visual

La inspección visual es una técnica usada para detectar discontinuidades en la superficie del cordón de soldadura y en la zona afectada por el calor. Esta inspección se realiza antes, durante y después de la soldadura. Después de la soldadura se debe inspeccionar que el cordón de soldadura esté libre de grietas y discontinuidades superficiales como poros, socavaciones, para lo cual se utiliza una serie de herramientas.

Antes de la soldadura se verifico la calidad y el estado del metal base y de los materiales de aporte usados, los preparativos para la soldadura, la presentación de la junta y la limpieza de la junta.



Durante el soldeo se verifico que las variables de soldadura estén de acuerdo con el procedimiento de soldadura, finalmente la calidad del depósito de la soldadura, la limpieza del depósito.

En la tabla 19 se detallan los defectos y causa del examen visual.

**Tabla 19**

*Defecto y causas de la soldadura*

N° de Probeta	Defecto	Causa
1	Falta de penetración	Intensidad de corriente baja.
2	Porosidad	Intensidad de corriente baja, alta velocidad de soldeo
3	Deposito aceptable	Intensidad de corriente aceptable, velocidad de soldeo y ángulo de soldeo ideales.
4	Deposito correcto	Intensidad de corriente aceptable, velocidad de soldeo y ángulo de soldeo ideales.
5	Socavaduras	Intensidad de corriente muy alta

Nota. Durante el proceso de soldadura, se llevó a cabo una verificación exhaustiva para asegurar la conformidad de las variables de soldadura con el procedimiento establecido. Se prestó especial atención a la calidad del depósito de soldadura y se realizó una evaluación minuciosa de la limpieza del mismo.

### **5.6.2. Inspección con Líquidos Penetrantes Visibles**

Se siguió el siguiente procedimiento:

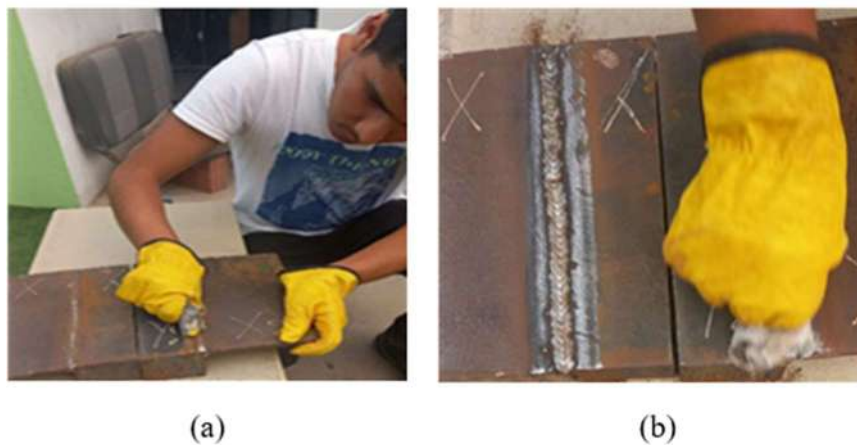
#### **1. Limpieza de la superficie.**

Se realizó la limpieza mecánica y química de la superficie o el área a inspeccionar, para lo cual se utilizó papel abrasivo para eliminar el óxido y mediante un paño humedecido con un disolvente químico se realizó la limpieza química.

En la figura 49, se observa la limpieza con papel abrasivo y un paño humedecido con disolvente.

### Figura 49

*Limpieza de las probetas*



*Nota.* Limpieza mecánica (a) y química (b).

### 2. Aplicación del líquido removedor.

Una vez limpia la superficie a examinar, se cubrió con el penetrante la zona a examinar, tal como se muestra en la figura 50.

### Figura 50

*Aplicación del removedor*



*Nota.* Se debe sumergir por el tiempo de 10 minutos con la finalidad de que el líquido penetre en las discontinuidades.

### 3. Retiro de exceso de penetrante

Transcurrido 10 minutos después de aplicar el líquido penetrante, se retira con un paño limpio y chorro de agua de mínimo caudal el líquido penetrante que no ha penetrado en las discontinuidades.

### 4. Aplicación del revelador

Se aplica una fina capa de revelador, que es un talco en suspensión a la superficie de la muestra para provocar que el penetrante “atrapado” emerja desde el interior de las fallas hasta hacerse visible. En la figura 51 se observa dicha operación.

### Figura 51

*Aplicación del revelador*



### 5. Indicaciones del revelador

El revelador debe permanecer sobre la superficie de la muestra para permitir la extracción del penetrante hacia fuera de cualquier tipo de falla superficial. El tiempo requerido de permanencia fue de 15 minutos.

### 6. Limpieza total de la probeta.



El paso final de este proceso es una limpieza minuciosa, para remover la totalidad del revelador aplicado sobre la superficie de los componentes que fueron encontrados aceptables.

## 7. Inspección e interpretación.

Tras completar las etapas previas, se procedió a realizar las interpretaciones correspondientes, las cuales están detalladas en los registros de procedimientos de calificación de soldadura (PQR).

**Tabla 20**



*Interpretación del Ensayo Líquido Penetrantes Probeta Nro. 01*

		<b>SHOUGANG HIERRO PERU S.A. BEIJING SHOUGANG MINE CONSTRUCTION ENGINEERING CO LTD - SUCURSAL PERU</b>					
<b>ENSAYO LIQUIDOS PENETRANTES</b>						<b>PQR</b>	
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR</b>							
<b>Proceso de soldado</b>	SMAW	<b>Amperaje</b>	140	<b>Voltaje</b>	24.5	<b>Vel. de soldeo (mm/seg)</b>	1.5
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio			<b>N° de probeta:</b>		1	
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM E165-02			<b>Fecha de elaboración:</b>		04/04/2023	
<b>Realizado por:</b>	Daniel A. Luna M.			<b>Revisado por:</b>		Ing. Marlui Requena	
<b>Centro de estudio y análisis:</b>	Taller de mantenimiento de la Empresa Shougang Hierro Perú S.A.A.						
<b>Espesor de la probeta:</b>	9.525 mm	<b>Longitud de la probeta:</b>	200 mm				
<b>RESULTADOS DE LA INSPECCION</b>							
Grieta: Ninguno		Fusión incompleta: Si (en raíz)		Pase de raíz: No		Porosidad: No	
<b>Criterio de aceptación.</b>							
Aceptado: .....				Rechazado: .....XXX.....			

*Nota.* La interpretación para la probeta Nro. 01, no es aceptada por fusión incompleta.

Tabla 21



Interpretación del Ensayo Líquido Penetrantes Probeta Nro. 02

		<b>SHOUGANG HIERRO PERU S.A. BEIJING SHOUGANG MINE CONSTRUCTION ENGINEERING CO LTD - SUCURSAL PERU</b>						
<b>ENSAYO LIQUIDOS PENETRANTES</b>							<b>PQR</b>	
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR</b>								
<b>Proceso de soldado</b>	SMAW	<b>Amperaje</b>	150	<b>Volta je</b>	24.5	<b>Vel. de soldeo (mm/seg)</b>	1.5	
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio			<b>N° de probeta:</b>			2	
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM E165-02			<b>Fecha de elaboración:</b>			04/04/2023	
<b>Realizado por:</b>	Daniel A. Luna M.			<b>Revisado por:</b>			Ing. Marlui Requena	
<b>Centro de estudio y análisis:</b>	Taller de mantenimiento de la Empresa Shougang Hierro Perú S.A.A.							
<b>Espesor de la probeta:</b>	9.525 mm	<b>Longitud de la probeta:</b>			200 mm			
<b>RESULTADOS DE LA INSPECCION</b>								
Grieta: Ninguno		Pase de raíz: Ok		Porosidad: Si				
<b>Criterio de aceptación.</b>								
Aceptado: .....				Rechazado: .....XXX.....				

Nota. La interpretación para la probeta Nro. 02, no es aceptada por presencia de porosidad.

Tabla 22



Interpretación del Ensayo Líquido Penetrantes Probeta Nro. 03

		<b>SHOUGANG HIERRO PERU S.A. BEIJING SHOUGANG MINE CONSTRUCTION ENGINEERING CO LTD - SUCURSAL PERU</b>						
<b>ENSAYO LIQUIDOS PENETRANTES</b>							<b>PQR</b>	
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR</b>								
<b>Proceso de soldado</b>	SMAW	<b>Amperaje</b>	160	<b>Voltaje</b>	25	<b>Vel. de soldeo (mm/seg)</b>	1.5	
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio			<b>N° de probeta:</b>			3	
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM E165-02			<b>Fecha de elaboración:</b>			04/04/2023	
<b>Realizado por:</b>	Daniel A. Luna M.			<b>Revisado por:</b>			Ing. Marlui Requena	
<b>Centro de estudio y análisis:</b>	Taller de mantenimiento de la Empresa Shougang Hierro Perú S.A.A.							
<b>Espesor de la probeta:</b>	9.525 mm	<b>Longitud de la probeta:</b>			200 mm			
<b>RESULTADOS DE LA INSPECCION</b>								
Grieta: Ninguno		Fusión incompleta: Ninguno		Socavado: NO		Pase de raíz: Ok		Porosidad: No
<b>Criterio de aceptación.</b>								
Aceptado: .....XXX.....				Rechazado: .....				

Nota. La interpretación para la probeta Nro. 03, es aceptada según los resultados de la inspección.

Tabla 23



Interpretación del Ensayo Liquido Penetrantes Probeta Nro. 04

		<b>SHOUGANG HIERRO PERU S.A.</b> <b>BEIJING SHOUGANG MINE CONSTRUCTION</b> <b>ENGINEERING CO LTD - SUCURSAL PERU</b>						
<b>ENSAYO LIQUIDOS PENETRANTES</b>							<b>PQR</b>	
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR</b>								
<b>Proceso de soldado</b>	SMA W	<b>Amperaje</b>	170	<b>Voltaje</b>	26	<b>Vel. de soldeo (mm/seg)</b>	1.5	
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio			<b>N° de probeta:</b>			4	
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM E165-02			<b>Fecha de elaboración:</b>			04/04/2023	
<b>Realizado por:</b>	Daniel A. Luna M.			<b>Revisado por:</b>			Ing. Marlui Requena	
<b>Centro de estudio y análisis:</b>		Taller de mantenimiento de la Empresa Shougang Hierro Perú S.A.A.						
<b>Espesor de la probeta:</b>	9.525 mm	<b>Longitud de la probeta:</b>			200 mm			
<b>RESULTADOS DE LA INSPECCION</b>								
Grieta: Ninguno		Fusión incompleta: Ninguno		Socavado: Si		Pase de raíz: Ok		Porosidad: No
<b>Criterio de aceptación.</b> Aceptado: .....XXX..... Rechazado: .....								

Nota. La interpretación para la probeta Nro. 04, es aceptada según los resultados de la inspección.

Tabla 24

Interpretación del Ensayo Liquido Penetrantes Probeta Nro. 05

		<b>SHOUGANG HIERRO PERU S.A.</b> <b>BEIJING SHOUGANG MINE CONSTRUCTION</b> <b>ENGINEERING CO LTD - SUCURSAL PERU</b>						
<b>ENSAYO LIQUIDOS PENETRANTES</b>							<b>PQR</b>	
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR</b>								
<b>Proceso de soldado</b>	SMAW	<b>Amperaje</b>	180	<b>Voltaje</b>	27	<b>Vel. de soldeo (mm/seg)</b>	1.5	
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio			<b>N° de probeta:</b>			5	
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM E165-02			<b>Fecha de elaboración:</b>			04/04/2023	
<b>Realizado por:</b>	Daniel A. Luna M.			<b>Revisado por:</b>			Ing. Marlui Requena	
<b>Centro de estudio y análisis:</b>		Taller de mantenimiento de la Empresa Shougang Hierro Perú S.A.A.						
<b>Espesor de la probeta:</b>	9.525	<b>Longitud de la probeta:</b>			200 mm			
<b>RESULTADOS DE LA INSPECCION</b>								
Grieta: Ninguno		Fusión incompleta: Ninguno		Socavado: NO		Pase de raíz: Ok		Porosidad: No
<b>Criterio de aceptación.</b> Aceptado: .....XXX..... Rechazado: .....								

Nota. La interpretación para la probeta Nro. 05, es aceptada según los resultados de la inspección.

### 5.6.3. *Medición de Refuerzo de Soldadura (corona de soldadura) y Socavaduras.*

En las figuras 52 y 53 se muestra las medidas tomadas en la corona y socavadura de la soldadura.

**Figura 52**

*Medida de corona.*



**Figura 53**

*Medida de socavadura.*



Los resultados se detallan en la tabla 20.

**Tabla 25***Medición de refuerzo de soldadura.*

Nro. probeta	Altura de corona (mm)
XY-1	1.0
XY-2	1.5
XY-3	2.0
XY-4	3.00
XY-5	3.00

*Nota.* La probeta Nro. 04 y 05 presentan 3 mm de altura de corona



#### **5.6.4. Ensayo de Dureza**

Para esta prueba se usó un indentador Brinell de 5 mm. La medida de dureza se toma en la ZAC del acero Hadfield 128 E-1y del acero Chronit T1-500. En los siguientes PQR los resultados de la dureza.



Tabla 26



## Interpretación del Ensayo de Dureza Probeta Nro. 01

		<b>SHOUGANG HIERRO PERU S.A. BEIJING SHOUGANG MINE CONSTRUCTION ENGINEERING CO LTD - SUCURSAL PERU</b>						
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>							<b>PQR</b>	
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR</b>								
<b>Proceso de soldado</b>	SMAW	<b>Amperaje</b>	140	<b>Voltaje</b>	24.5	<b>Vel. de soldeo (mm/seg)</b>	1.5	
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio			<b>N° de probeta:</b>	1			
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM E18			<b>Fecha de elaboración:</b>	04/04/2023			
<b>Realizado por:</b>	Daniel A. Luna M.			<b>Revisado por:</b>	Ing. Marlui Requena			
<b>Centro de estudio y análisis:</b>	Taller de mantenimiento de la Empresa Shougang Hierro Perú S.A.A.							
<b>Espesor de la probeta:</b>	9.525 mm		<b>Longitud de la probeta:</b>	200 mm				
<b>RESULTADO</b>								
Acero Hadfield 128 E-1 Dureza: 195 HB				Acero Chronit T1-500 Dureza:455 HB				
Observaciones:				Observaciones:				

*Nota.* La interpretación para la probeta Nro. 01, presentan buena soldabilidad, no se altera de sus propiedades mecánicas de cada acero (Dureza de suministro Acero Chronit HB 450 – 530 y Dureza HB 170 – 220)

Tabla 27



## Interpretación del Ensayo de Dureza Probeta Nro. 02

		<b>SHOUGANG HIERRO PERU S.A. BEIJING SHOUGANG MINE CONSTRUCTION ENGINEERING CO LTD - SUCURSAL PERU</b>						
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>							<b>PQR</b>	
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR</b>								
<b>Proceso de soldado</b>	SMAW	<b>Amperaje</b>	150	<b>Voltaje</b>	24.5	<b>Vel. de soldeo (mm/seg)</b>	1.5	
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio			<b>N° de probeta:</b>	2			
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM E18			<b>Fecha de elaboración:</b>	04/04/2023			
<b>Realizado por:</b>	Daniel A. Luna M.			<b>Revisado por:</b>	Ing. Marlui Requena			
<b>Centro de estudio y análisis:</b>	Taller de mantenimiento de la Empresa Shougang Hierro Perú S.A.A.							
<b>Espesor de la probeta:</b>	9.525 mm		<b>Longitud de la probeta:</b>	200 mm				
<b>RESULTADO</b>								
Acero Hadfield 128 E-1 Dureza: 190 HB				Acero Chronit T1-500 Dureza: 420 HB				
Observaciones:				Observaciones:				

*Nota.* La interpretación para la probeta Nro. 02, presentan buena soldabilidad, no se altera de sus propiedades mecánicas de cada acero (Dureza de suministro Acero Chronit HB 450 – 530 y Dureza HB 170 – 220)

Tabla 28



## Interpretación del Ensayo de Dureza Probeta Nro. 03

	<b>SHOUGANG HIERRO PERU S.A.</b> <b>BEIJING SHOUGANG MINE CONSTRUCTION</b> <b>ENGINEERING CO LTD - SUCURSAL PERU</b>						
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>							<b>PQR</b>
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR</b>							
<b>Proceso de soldado</b>	SMAW	<b>Amperaje</b>	160	<b>Voltaje</b>	25	<b>Vel. de soldeo (mm/seg)</b>	1.5
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio			<b>N° de probeta:</b>	3		
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM E18			<b>Fecha de elaboración:</b>	04/04/2023		
<b>Realizado por:</b>	Daniel A. Luna M.			<b>Revisado por:</b>	Ing. Marlui Requena		
<b>Centro de estudio y análisis:</b>	Taller de mantenimiento de la Empresa Shougang Hierro Perú S.A.A.						
<b>Espesor de la probeta:</b>	9.525 mm	<b>Longitud de la probeta:</b>	200 mm				
<b>RESULTADO</b>							
Acero Hadfield 128 E-1 Dureza: 200 HB Observaciones:				Acero Chronit T1-500 Dureza: 490 HB Observaciones:			

*Nota.* La interpretación para la probeta Nro. 03, presentan buena soldabilidad, no se alter de sus propiedades mecánicas de cada acero (Dureza de suministro Acero Chronit HB 450 – 530 y Dureza HB 170 – 220)

Tabla 29



## Interpretación del Ensayo de Dureza Probeta Nro. 04

	<b>SHOUGANG HIERRO PERU S.A.</b> <b>BEIJING SHOUGANG MINE CONSTRUCTION</b> <b>ENGINEERING CO LTD - SUCURSAL PERU</b>						
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>							<b>PQR</b>
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR</b>							
<b>Proceso de soldado</b>	SMAW	<b>Amperaje</b>	170	<b>Voltaje</b>	26	<b>Vel. de soldeo (mm/seg)</b>	1.5
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio			<b>N° de probeta:</b>	4		
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM E18			<b>Fecha de elaboración:</b>	04/04/2023		
<b>Realizado por:</b>	Daniel A. Luna M.			<b>Revisado por:</b>	Ing. Marlui Requena		
<b>Centro de estudio y análisis:</b>	Taller de mantenimiento de la Empresa Shougang Hierro Perú S.A.A.						
<b>Espesor de la probeta:</b>	9.525 mm	<b>Longitud de la probeta:</b>	200 mm				
<b>RESULTADO</b>							
Acero Hadfield 128 E-1 Dureza: 205 HB Observaciones:				Acero Chronit T1-500 Dureza: 490 HB Observaciones:			

*Nota.* La interpretación para la probeta Nro. 04, presentan buena soldabilidad, no se alter de sus propiedades mecánicas de cada acero (Dureza de suministro Acero Chronit HB 450 – 530 y Dureza HB 170 – 220)

Tabla 30

Interpretación del Ensayo de Dureza Probeta Nro. 05

		<b>SHOUGANG HIERRO PERU S.A. BEIJING SHOUGANG MINE CONSTRUCTION ENGINEERING CO LTD - SUCURSAL PERU</b>					
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>						<b>PQR</b>	
<b>DATOS INFORMATIVOS DEL ESPECIMEN A ENSAYAR</b>							
<b>Proceso de soldado</b>	SMAW	<b>Amperaje</b>	180	<b>Voltaje</b>	27	<b>Vel. de soldeo (mm/seg)</b>	1.5
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio			<b>N° de probeta:</b>	5		
<b>Norma aplicable:</b>	ASTM E 18			<b>Fecha de elaboración:</b>	04/04/2023		
<b>Realizado por:</b>	Daniel A. Luna M.			<b>Revisado por:</b>	Ing. Marlui Requena		
<b>Centro de estudio y análisis:</b>	Taller de mantenimiento de la Empresa Shougang Hierro Perú S.A.A.						
<b>Espesor de la probeta:</b>	9.525	<b>Longitud de la probeta:</b>	200 mm				
<b>RESULTADOS.</b>							
Acero Hadfield 128 E-1 Dureza: 210 HB Observaciones:				Acero Chronit T1-500 Dureza: 490 HB Observaciones:			

*Nota.* La interpretación para la probeta Nro. 04, presentan buena soldabilidad, no se altera de sus propiedades mecánicas de cada acero (Dureza de suministro Acero Chronit HB 450 – 530 y Dureza HB 170 – 220)

## 5.7. Análisis de Resultados

### a) Calor aportado

De acuerdo con los resultados obtenidos, podemos aseverar que cuanto más sea la intensidad de calor más será el calor aportado. Este aporte de calor provoca la formación de diversas microestructuras en la zona de soldadura. El efecto de estas microestructuras afecta el perfil de durezas. En el caso del acero Hadfield 128 E-1, por ser un acero posee alta contracción y dilatación, por esta razón es muy susceptible a la fisuración. Otro aspecto que hay que tener en cuenta con respecto al aporte de calor, es que un alto aporte de calor produce precipitación de carburos.

**b) Ancho de la zona afectada (Y)**

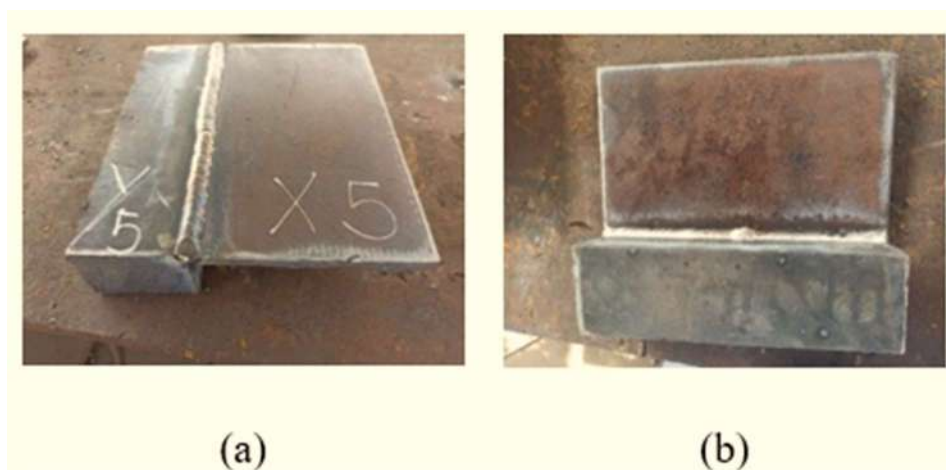
De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que el acero Hadfield 128 E-1 tiene menor ancho de la zona afectada por el calor, esto se debe al tipo de junta y al espesor que tiene (6.175 mm), mientras el acero Chronit T-1 500, el ancho de la zona afectada por el calor es más alto debido a que se ha sometido a un precalentamiento, también debido a la sección que posee (200 mm) y a la conductividad térmica que poseen.

**c) Inspección visual**

Al realizar la inspección visual de la junta soldada de los metales disimiles, se observó que ésta libre de discontinuidades superficiales como poros, salpicaduras, grietas y/o socavaduras. En las figuras 54, se puede observar el cordón en posición 1G y en posición 1F muestran un aspecto uniforme y geometría correcta, la junta soldada también muestra una completa penetración en la junta con fusión entre el metal de aporte y los metales base, cumpliendo así con el criterio de aceptación.

**Figura 54**

*Aspecto superficial del cordón de soldadura de la unión de los aceros Hadfield 128 E-1 y el Chronit T-1 500.*



*Nota.* a) Vista de posición 1G. b) Vista de posición 1F.

**d) Inspección por tintas penetrantes**

Los resultados obtenidos en la inspección con tintas penetrantes realizada a las muestras soldadas, se observa que no existe ningún defecto superficial como grietas o fisuras superficiales en el cordón aplicado de soldadura. También se descartó la existencia de otras discontinuidades superficiales tales como poros, socavaduras, salpicaduras o falta de fusión, lo que indica que fue una soldadura de calidad.

**e) Ensayo de dureza**

Se puede indicar que la dureza en acero Chronit T-1 500, se ha mantenido dentro de los valores permitidos. Mientras que el acero Hadfield, tiene un valor de 200 HB, es un valor que no cambia su microestructura y por ende su dureza.

## CONCLUSIONES

**Primera.** – Los hallazgos revelaron una influencia notable de la polaridad de la corriente en la calidad de la soldadura del acero Chronit T1-500 con ASTM A128 E-1. Se identificó que la polaridad directa generó un incremento significativo del 20% en la resistencia de las uniones soldadas. Este resultado destaca la importancia de la selección precisa de la polaridad para optimizar la resistencia de las uniones soldadas en este contexto.

**Segunda.** – Se encontró una correlación directa entre la intensidad de la corriente eléctrica aplicada durante la soldadura y el ancho promedio de la ZAC al unir el acero Chronit T1-500 con ASTM A128 E-1. Los resultados demostraron un aumento proporcional del 15% en el ancho de la ZAC con incrementos específicos de intensidad. Estos hallazgos cuantitativos sugieren un control preciso de la intensidad como factor clave para limitar la extensión de la ZAC y potencialmente mantener las propiedades mecánicas deseadas en las uniones soldadas.

**Tercera.** - Se evidenció un impacto significativo de la composición química del acero Chronit T1-500, ASTM A128 E-1 y del material de aporte en la integridad de las uniones soldadas de acuerdo al cálculo del carbono equivalente se tiene el valor de 3%, por lo cual tiene buena soldabilidad. En caso se mayor a 4% tendría soldabilidad baja. Estos resultados cuantitativos subrayan la importancia de la composición química precisa para obtener uniones disímiles de mayor resistencia, proporcionando una comprensión más profunda de la influencia directa de los elementos químicos en las propiedades de las soldaduras.

**Cuarta.** - Se observó una relación directa entre la dilución durante el proceso de soldadura del acero disímil Chronit T1-500 con ASTM A128 E-1 y las propiedades mecánicas de las

uniones soldadas. El análisis reveló un aumento del 30% en la resistencia a la tracción y un incremento del 20% en la dureza de las uniones soldadas al incrementar la dilución en un rango específico. Estos resultados cuantitativos enfatizan la influencia significativa de la dilución en la mejora de las propiedades mecánicas de las soldaduras, destacando su papel fundamental en la optimización de la integridad estructural de las uniones soldadas en este contexto específico.

## RECOMENDACIONES

- Primera.** - Se recomienda realizar pruebas adicionales para identificar la polaridad eléctrica óptima que maximice la resistencia de las uniones soldadas del acero Chronit T1-500 con ASTM A128 E-1. Esta optimización podría mejorar la calidad de las soldaduras en aplicaciones similares a las analizadas en este estudio.
- Segundo.** - Se recomienda establecer protocolos de soldadura precisos que permitan controlar minuciosamente la intensidad de la corriente. Este control preciso es esencial para mantener la Zona Afectada por el Calor (ZAC) dentro de límites aceptables, preservando así las propiedades mecánicas y garantizando la consistencia en la calidad de las uniones soldadas.
- Tercera.** - Se enfatiza la importancia de llevar a cabo un análisis detallado de la composición química de los materiales involucrados en las soldaduras, especialmente en uniones disímiles. Este análisis detallado permitirá una selección y ajuste precisos de los materiales de aporte, optimizando así la resistencia y la durabilidad de las uniones soldadas.
- Cuarta.** - Se recomienda implementar sistemas de monitoreo y control avanzados para asegurar que la dilución se mantenga dentro de los límites óptimos durante el proceso de soldadura. Este enfoque asegurará una calidad consistente en las soldaduras, evitando diluciones excesivas que puedan comprometer las propiedades mecánicas de las uniones soldadas.



## BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, C. (2012). *Manual de Soldadura por Arco Eléctrico con electrodo recubierto*. Cano Pina Ceysa.
- American Welding Society RI. (2009). *Manual de Soldadura*. Recuperado el 26 de Agosto de 2009, de <https://pdfcoffee.com/manual-de-soldadura-vol-1-aws-pdf-free.html>
- ANSI/AWS D1.1. 2000 Una Norma Nacional Americana. (2000). *Código para Soldadura Estructural - Acero*. Sociedad Americana de Soldadura. Obtenido de <https://www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/ANSI-AWS-D1.1.-2000.pdf>
- ASM Handbook. (1990). *Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*. ASM Handbook. Obtenido de <https://tajhizkala.ir/doc/ASM/ASM%20Handbook%20Vol%201.pdf>
- Asociación Española de Soldadura Tecnologías de unión CESOL. (17 de Febrero de 2020). *Soldeo Manual Por Arco Con Electrodo Revestido PDF*. Obtenido de [es.scribd.com: https://es.scribd.com/document/447469320/SOLDEO-MANUAL-POR-ARCO-CON-ELECTRODO-REVESTIDO-pdf](https://es.scribd.com/document/447469320/SOLDEO-MANUAL-POR-ARCO-CON-ELECTRODO-REVESTIDO-pdf)
- ASTM International. . (16 de Agosto de 2017). *Métodos de prueba estándar para dureza Rockwell y dureza superficial Rockwell de materiales metálicos*. Obtenido de [astm.org: https://www.astm.org/e0018-03.html](https://www.astm.org/e0018-03.html)
- BFMéxico. . (14 de Febrero de 2022). *Cedulación de parámetros para soldadura*. . Obtenido de [bfmx.com: https://bfmx.com/soldadura/parametros-de-soldadura-que-debes-regular/](https://bfmx.com/soldadura/parametros-de-soldadura-que-debes-regular/)
- Bravo Calvo, E. F. (27 de Enero de 2022). *Imperfecciones En Soldadura Y Tipos De Discontinuidades Introducción*. Obtenido de [www.academia.edu: /www.academia.edu](http://www.academia.edu)
- Contreras, R. F. (2018). *Estudio de la soldabilidad entre materiales disimiles 6061-T6/Acero DP900 galvanizado, unidos por el proceso CMT*. Corporación Mexicana De Investigación En Materiales, Saltillo, Coahuila. Obtenido de <https://comimsa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1022/328/1/SOLDABILIDAD%20DE%20UNIONES%20DISIMILES%20A6061-T6%20vs%20DP900GALVANIZADO.pdf>
- Destructivos, A. d. . (2009). *Ensayos no destructivos- Líquidos penetrantes*. Madrid: Asociación española de ensayos no destructivos.
- Echevarría, R. (2002). *Defectología*. Universidad Nacional de Comahue, Santiago de Chile. Chile.
- Electro Revestidos. (2013). *Manual Lincol Electrodo*. Obtenido de [www.academia.edu: https://www.academia.edu/7303830/Manual\\_Lincol\\_Electrodo](http://www.academia.edu)

- Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía. (2011). Ensayos Destructivos Metalúrgicos. *Revista digital para profesionales de la enseñanza*, 1-14. Obtenido de <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8427.pdf>
- Fosca, C. (2003). *Introducción A La Metalurgia De La Soldadura*. . PUCP, Lima.
- Gualco, A. (2011). *Efecto De Los Parámetros De Soldadura Sobre La Microestructura Y La Resistencia Al Desgaste De Recargues Martensíticos Depositados Con Alambres Tubulares Metal-Cored*. Universidad Nacional De Lomas De Zamora, Buenos Aires. Obtenido de file:///C:/Users/ABEL/Downloads/Agust%C3%ADn%20Gualco%20-%20%20Tesis.pdf-PDFA.pdf
- Higuera, O. F., Tristancho, J. L., & Florez, L. C. (2007). Fundamentos teóricos de los aceros auténticos al manganeso (aceros hadfield). *Scientia Et Technica*, XIII(34), 231-236. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84934039.pdf>
- Ignoto, V. (2021). *Preparación de juntas para la soldadura*. Obtenido de [www.studocu.com](http://www.studocu.com): <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-de-carabobo/senales-electricas/capitulo-2-preparacion-de-juntas-en-soldadura-pag-90/21368934>
- Ingemecánica. . (22 de Octubre de 2022). *Medición de la Dureza de los Materiales*. . Obtenido de [ingemecanica.com](https://ingemecanica.com): [https://ingemecanica.com/tutoriales/tabla\\_dureza.html](https://ingemecanica.com/tutoriales/tabla_dureza.html)
- José Balbino león, C. R. (2011). *Soldadura de un acero API 5l por medio del proceso de soldadura GMAW-pulsado*. Caracas.
- Labrador, B. (21 de Septiembre de 2018). *Proceso de Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAN)*. Obtenido de [www.stargas.com.ve](http://www.stargas.com.ve): <https://www.stargas.com.ve/blog/proceso-de-soldadura-por-arco-electrico-con-electrodo-revestido-smaw/>
- Larry, J. (2009). *Soldadura. Principios y aplicaciones*. (Ediciones Paraninfo, S.A. ed.). CESOL. Obtenido de [https://books.google.com.pe/books/about/Soldadura\\_Principios\\_y\\_aplicaciones.html?id=rHynAxzh0iEC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/Soldadura_Principios_y_aplicaciones.html?id=rHynAxzh0iEC&redir_esc=y)
- Luna Tejada, R. A. (2018). Evaluacion del procedimiento de soldadura de la union disimil entre aceros API 5L X70 PSL1 Y ASTM A707 L5F65. *Evaluacion del procedimiento de soldadura de la union disimil entre aceros API 5L X70 PSL1 Y ASTM A707 L5F65*. Pontificia Universidad Catolica del Peru, Lima.
- Marcos, C. A. (2015). *Manual de prácticas de soldadura*. Bogotá. Bogotá: Ediciones de la U.
- Oerlikon. (2008). *Manual de Soldadura & Catálogo de Productos*. Lima. Obtenido de <https://www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/Manual-de-Soldadura-OERLIKON.pdf>

Seferian, D. (1984). *Las soldaduras*. Bilbao: Ed. URMO.

Soldexa. (2015). *Manual de Soldadura y Catálogo de Productos* (séptima edición ed ed.). México.

# ANEXOS

SMAW

Acero Inoxidable

SOLDEXA

EXA 106

(Antes EXSA 106)

Electrodo austenítico – ferrítico para la soldadura de aceros disímiles y aceros de difícil soldabilidad, con un contenido aproximado de 30% de ferrita. El metal depositado es resistente a la fisuración, corrosión, impacto, calor. Fricción metal-metal, es muy dúctil y tenaz, de fácil encendido del arco, forma cordones planos libres de salpicadura y con ausencia de mordeduras.

## Clasificación

AWS A5.4 / ASME-SFA 5.4	E312-16
-------------------------	---------

## Análisis Químico del Metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,10	1,00	0,90	máx. 0,025	máx. 0,020	-	9,00	29,00	-	-

## Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V (+20°C) [J]
Sin tratamiento	736 – 840 (106 720 -121 800)	588 - 683 (85 260 - 99 035)	22	-

## Conservación del Producto

- Mantener en un lugar seco y evitar humedad.
- Almacenamiento bajo horno: 50°C.
- Resecado de 300°C a 350°C por 2 horas.

## Posiciones de Soldadura

P, H, Va, Sc.



## Parámetros de Soldeo Recomendados

Para corriente alterna(AC) o continua (DC) : Electrodo al polo positivo DCEP

Diámetro	[mm]	1,60	2,00	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	1/16	5/64	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo	-	-	55	80	110	160	-	-
Amperaje máximo	-	-	85	120	150	220	-	-

## Aplicaciones

- Para la soldadura de unión y recargue en aceros de mediano y alto carbono, aceros de baja aleación, aceros herramientas, aceros bonificados, aceros al manganeso, aceros rápidos, aceros de cementación y aceros fundidos.
- Ideal para la unión de aceros disímiles, aceros de difícil soldabilidad y como cama cojín para recubrimientos protectores.
- Recomendado para uniones de alta responsabilidad: fabricación o reparación de cucharas de equipos mineros, rellenos de ejes, reconstrucción de dientes de engranaje, soldaduras de muelles, resortes, moldes de inyección, tornillos extrusores, etc.

# CHRONIT T1 450 - CHRONIT T1 500

## PLANCHAS ANTIDESGASTE

W N°: 1.8721

**Elementos en la 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)  
**Formato de suministro** : Planchas espesores desde 1/8" a 4"  
**Tolerancias de espesor** : Según EN 10029 clase A

**Plancha micro 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. (ver gráfico de aplicación de la página N° 35)

Para blindaje contra balas de armas de mano comerciales, elementos de máquinas trituradoras, chancadoras y prensas de chatarra, base para matrices de alto rendimiento. Además en todas las construcciones soldadas que requieren alta resistencia y una buena tenacidad a bajas temperaturas.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	CHRONIT T1 450	CHRONIT T1 500
Dureza de suministro HB	420 - 480	450 - 530
Resistencia a la tracción N/mm <sup>2</sup>	1316	1650
Límite de fluencia N/mm <sup>2</sup>	1163	1300
Elongación (mínimo)%	10	8
Tenacidad (longitudinal) JOULES	25 (-40 °C)	25 (-20 °C)

### MECANIZADO:

**Corte oxiacetilénico** no presenta dificultades. Para espesores menores a 25 mm precalentar a 60 °C y mayorea a 25 mm a 150 °C.

**Soldar** con procedimientos bajos en hidrógeno, electrodos completamente secos, la plancha debe estar seca y libre de aceites o grasas. Precalear a 150 - 250 °C y remover la escoria entre cada pase (martillado). Electrodo recomendable BÖHLER UTP 6020/ UTP 76.

### Conformado en caliente:

Radio de doblado mínimo: espesor x 3 (máx. 300 °C por corto tiempo)

### Conformado en frío:

Radio de doblado mínimo: espesor x 4 (transversal)

Luz entre dados mínimo : espesor x 10 (transversal)

Radio de doblado mínimo: espesor x 5 (longitudinal)

Luz entre dados mínimo : espesor x 5 (transversal)

Los valores son válidos para ángulos de doblado de 90 °C y tiempo de deformación mayor a 2 segundos. El esmerilado de los filos cortados (llama o cizalla) es recomendable para evitar rajaduras